UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE LAS ESPECIES ACUÁTICAS UTILIZADAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS POR HUMEDALES ARTIFICIALES.

AUTOR(ES):

Arévalo Atiencia Carlos Moises

Johnny Darío Romero Peña

DOCENTE - TUTOR:

Msc. Karem Yael Cazares Carrión

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	El título se encuentra acorde a una problemática real.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	El resumen se encuentra acorde a lo que se espera del trabajo.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	17/20	Describe las temáticas pertinentes al Título.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	13/15	Marco teórico concordante con el tema a ser desarrollado.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Describe la metodología a aplicarse en el trabajo.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	20/25	Se encuentran de acuerdo a lo que se ha investigado.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	8/10	Se encuentran acorde al trabajo propuesto.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	4/5	Cuentan con las diferentes fuentes de consulta e investigación
VALORACIÓN TOTAL	87/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	87

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
CARLOS ALEJANDRO BENALCAZAR BOADA

Carlos Benalcázar B.

Dado en la ciudad de Puyo, a los12 días del mes de agosto de 2022.

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	El título es claro y representa la idea principal del escrito.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	3/5	Información clara y precisa fácil de identificar de qué se trata la investigación y su relevancia.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	17/20	Describe correctamente la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Sin embargo, falta aumentar un poco más.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	13/15	Entrega correctamente conceptos de términos que son empleados en el estudio.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	12/15	Describe el tipo de investigación a desarrollar, sin embargo, falta aumentar criterios de análisis con que se abordó la información.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	23/25	resultados de manera organizada a partir del problema planteado.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	7/10	Conclusiones muy cortas, debería aumentar, sobre los resultados obtenidos.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Correcta aplicación de las normas APA en las citas, fuentes y referencias.
VALORACIÓN TOTAL	85	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	85

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
LUIS ALBERTO UVIDIA

Ing. Luis Alberto Uvidia Armijo

Dado en la ciudad de Puyo, a los 11 días del mes de agosto de 2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 02 de agosto del 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: **Carlos Moises Arévalo Atiencia**, con C.I. **1401088958**, con el Tema: **"Análisis bibliográfico de las especies acuáticas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales urbanas por humedales artificiales"**, de la carrera de **Ingeniería Ambiental**, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del **0%,** Informe generado con fecha **02-08-2022** por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
KAREM YAEL CAZARES CARRION

Ing. Karem Yael Cazares Carrión MSc.

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	Análisis bibliográfico de las especies acuáticas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales urbanas por humedales artificiales.docx (D142612514)
Submitted	8/2/2022 8:46:00 PM
Submitted by	CAZARES CARRIÓN KAREM YAEL
Submitter email	kcazares@uea.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	kcazares.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W URL: https://core.ac.uk/download/pdf/71396135.pdf
Fetched: 10/28/2019 3:45:12 AM 1

Entire Document

Análisis bibliográfico de las especies acuáticas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales urbanas por humedales artificiales

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida Carrera de Ingeniería Ambiental (1)

Resumen

Actualmente la búsqueda de nuevas fuentes de agua debido al desabastecimiento por contaminación o por la alta demanda; han puesto en la mira tratamientos como el de los humedales artificiales que imitan fenómenos de la naturaleza debido al alto costo de inversión en tratamientos tradicionales. En si la implementación de un humedal artificial no es difícil mientras se seleccione correctamente la especie y el tipo de humedal a utilizar; en caso de no hacerlo afectaría a su desempeño como efectividad. Debido a esta cuestión el presente trabajo tiene como finalidad, realizar una investigación bibliográfica sobre el potencial de remoción de diferentes tipos de especies usadas en humedales artificiales. Para encontrar dicha información se hizo uso del motor de búsqueda “Google Scholar”; el cual nos arrojó resultados de diferentes bases de datos especializadas como " Scielo", “Redalyc” y “ResearchGate”. Con estas referencias se procedió a la selección de ciertas especies macrófitas para posteriormente detallar las limitaciones y capacidades fitorremediadoras de cada una. En segunda instancia se demostró el potencial de las especies para remover metales pesados en el agua, detallando la cantidad de metales pesados que remueve cada especie. Finalmente se realizó una comparación de las especies para evaluar sus eficiencias en la remoción de diferentes contaminantes. Se concluyó que la especie Eichhornia crassipes es la más eficiente en la remoción de varios contaminantes como DQO, CF, SST, Fe; obteniendo un valor promedio de 69.44%, seguramente debido a su mayor capacidad de transpiración y alto contenido de celulosa en su biomasa total; además se evidencio que para una correcta selección se debe tener en cuenta las características del agua a tratar, la capacidad de remover contaminantes de las especies, entre otros. Este trabajo aportara información relevante para futuras investigaciones interesadas en la implementación y selección de especies macrófitas en humedales artificiales.

Palabras Clave: humedales artificiales, macrófitas, metales pesados, DQO.

Abstract

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 02 de agosto del 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: **Johnny Darío Romero Peña**, con C.I. **1600560377**, con el Tema: **"Análisis bibliográfico de las especies acuáticas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales urbanas por humedales artificiales"**, de la carrera de **Ingeniería Ambiental**, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del **0%,** Informe generado con fecha **02-08-2022** por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
KAREM YAEL CAZARES CARRION

Ing. Karem Yael Cazares Carrión MSc.

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	Análisis bibliográfico de las especies acuáticas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales urbanas por humedales artificiales.docx (D142612514)
Submitted	8/2/2022 8:46:00 PM
Submitted by	CAZARES CARRIÓN KAREM YAEL
Submitter email	kcazares@uea.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	kcazares.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W URL: https://core.ac.uk/download/pdf/71396135.pdf
Fetched: 10/28/2019 3:45:12 AM 1

Entire Document

Análisis bibliográfico de las especies acuáticas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales urbanas por humedales artificiales

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida Carrera de Ingeniería Ambiental (1)

Resumen

Actualmente la búsqueda de nuevas fuentes de agua debido al desabastecimiento por contaminación o por la alta demanda; han puesto en la mira tratamientos como el de los humedales artificiales que imitan fenómenos de la naturaleza debido al alto costo de inversión en tratamientos tradicionales. En si la implementación de un humedal artificial no es difícil mientras se seleccione correctamente la especie y el tipo de humedal a utilizar; en caso de no hacerlo afectaría a su desempeño como efectividad. Debido a esta cuestión el presente trabajo tiene como finalidad, realizar una investigación bibliográfica sobre el potencial de remoción de diferentes tipos de especies usadas en humedales artificiales. Para encontrar dicha información se hizo uso del motor de búsqueda “Google Scholar”; el cual nos arrojó resultados de diferentes bases de datos especializadas como " Scielo", “Redalyc” y “ResearchGate”. Con estas referencias se procedió a la selección de ciertas especies macrófitas para posteriormente detallar las limitaciones y capacidades fitorremediadoras de cada una. En segunda instancia se demostró el potencial de las especies para remover metales pesados en el agua, detallando la cantidad de metales pesados que remueve cada especie. Finalmente se realizó una comparación de las especies para evaluar sus eficiencias en la remoción de diferentes contaminantes. Se concluyó que la especie Eichhornia crassipes es la más eficiente en la remoción de varios contaminantes como DQO, CF, SST, Fe; obteniendo un valor promedio de 69.44%, seguramente debido a su mayor capacidad de transpiración y alto contenido de celulosa en su biomasa total; además se evidencio que para una correcta selección se debe tener en cuenta las características del agua a tratar, la capacidad de remover contaminantes de las especies, entre otros. Este trabajo aportara información relevante para futuras investigaciones interesadas en la implementación y selección de especies macrófitas en humedales artificiales.

Palabras Clave: humedales artificiales, macrófitas, metales pesados, DQO.

Abstract

Análisis bibliográfico de las especies acuáticas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales urbanas por humedales artificiales

Arévalo Atiencia Carlos Moises[1]
amb2017233@uea.edu.ec

Romero Peña Johnny Dario[1]
amb2017243@uea.edu.ec

Cazares Carrion Karem Yael, M.Sc[2]
kcazares@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida
Carrera de Ingeniería Ambiental (1)

Resumen

Actualmente la búsqueda de nuevas fuentes de agua debido al desabastecimiento por contaminación o por la alta demanda; han puesto en la mira tratamientos como el de los humedales artificiales que imitan fenómenos de la naturaleza debido al alto costo de inversión en tratamientos tradicionales. En si la implementación de un humedal artificial no es difícil mientras se seleccione correctamente la especie y el tipo de humedal a utilizar; en caso de no hacerlo afectaría a su desempeño como efectividad. Debido a esta cuestión el presente trabajo tiene como finalidad, realizar una investigación bibliográfica sobre el potencial de remoción de diferentes tipos de especies usadas en humedales artificiales. Para encontrar dicha información se hizo uso del motor de búsqueda "Google Scholar"; el cual nos arrojó resultados de diferentes bases de datos especializadas como " Scielo", "Redalyc" y "ResearchGate". Con estas referencias se procedió a la selección de ciertas especies macrófitas para posteriormente detallar las limitaciones y capacidades fitorremediadoras de cada una. En segunda instancia se demostró el potencial de las especies para remover metales pesados en el agua, detallando la cantidad de metales pesados que remueve cada especie. Finalmente se realizó una comparación de las especies para evaluar sus eficiencias en la remoción de diferentes contaminantes. Se concluyó que la especie *Eichhornia crassipes* es la más eficiente en la remoción de varios contaminantes como DQO, CF, SST, Fe; obteniendo un valor promedio de 69.44%, seguramente debido a su mayor capacidad de transpiración y alto contenido de celulosa en su biomasa total; además se evidencio que para una correcta selección se debe tener en cuenta las características del agua a tratar, la capacidad de remover contaminantes de las especies, entre otros. Este trabajo aportara información relevante para futuras investigaciones interesadas en la implementación y selección de especies macrófitas en humedales artificiales.

***Palabras Clave**:* humedales artificiales, macrófitas, metales pesados, DQO.

Abstract

Currently the search for new water sources due to shortages due to contamination or high demand; They have targeted treatments such as artificial wetlands that mimic natural phenomena due to the high cost of investment in traditional treatments. In itself, the implementation of an artificial wetland is not difficult as long as the species and type of wetland

to be used are correctly selected; in case of not doing so, it would affect its performance as effectiveness. Due to this issue, the purpose of this paper is to carry out bibliographical research on the removal potential of different types of species used in artificial wetlands. To find this information, the search engine "Google Scholar" was used; which gave us results from different specialized databases such as "Scielo", "Redalyc" and "ResearchGate". With these references, we proceeded to the selection of certain macrophyte species to later detail the limitations and phytoremediation capacities of each one. In the second instance, the potential of the species to remove heavy metals in the water was demonstrated, detailing the amount of heavy metals that each species removes. Finally, a comparison of the species was made to evaluate their efficiencies in the removal of different contaminants. It was concluded that the Eichhornia crassipes species is the most efficient in the removal of various contaminants such as COD, CF, TSS, Fe; obtaining an average value of 69.44%, surely due to its greater transpiration capacity and high cellulose content in its total biomass; In addition, it was evidenced that for a correct selection, the characteristics of the water to be treated, the capacity to remove contaminants from the species, among others, must be taken into account. This work will provide relevant information for future research interested in the implementation and selection of macrophyte species in artificial wetlands.

***Keywords**:* Artificial wetlands, Macrophytes, Heavy metals, DQO

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio ambiente actualmente ha sido un tema de gran impacto a nivel mundial, como consecuencia los gobiernos alrededor del mundo se han enfocado en buscar alternativas para legislar y controlar de cerca el cumplimiento de las diversas leyes sobre el cuidado y protección al medio ambiente (Sierra y López, 2018). Especialmente en países en desarrollo como el nuestro, en los que enfrentamos un mayor desinterés por el cuidado de los recursos vitales como es el caso del agua en los últimos tiempos (Jouravlev et al., 2015).

El mayor consumo de agua dulce en el mundo se debe a la agricultura, utilizando más de las dos tercias de la misma. Sin embargo, la urbanización, el crecimiento de la población, la deforestación, la expansión agrícola, la agricultura deficiente y la contaminación del agua han hecho que en general el agua dulce, y en particular el agua agrícola sea un bien cada vez más escaso y demandado para la población (Villalobos et al., 2017).

En este contexto, la búsqueda de nuevas fuentes de agua para el riego de los cultivos, acuicultura o usos industriales es de gran importancia paramaximizar los recursos disponibles y evitar su deterioro (Melgarejo Moreno, 2019); Delgadillo et al., (2010) nos menciona que para resolver esta cuestión se plantea un importante dilema, ya que por un lado las aguas tratadas adecuadamente provenientes del sector agropecuario y doméstico pueden convertirse en una fuente alternativa de agua; pero por otro lado, si se utilizan sin un adecuado manejo

pueden convertirse en un problema significativo; debido al alto contenido de metales pesados, sales y la presencia de microorganismos patógenos perjudiciales para el hombre y ecosistema (Zamora et al., 2008).

Ante esta situación surge la importancia de la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales en lugares donde exista actividad antropogénica, la cual puede parecer factible pero su limitante es que presenta un elevado costo tanto en construcción como operación (Rivera et al., 2018). Según fuentes especializadas en el tema mencionan que, para determinar el precio final de operación anual, depende de varios factores como la ubicación, población, entre otros (Muñoz y Vasquez, 2020).

Entre las alternativas más importantes se encuentran los tratamientos que imitan los fenómenos que ocurren naturalmente (Sierra y López, 2018). Arias (2005), nos habla de que dichos sistemas se denominan tratamientos naturales de aguas residuales y cada día es más frecuente el uso de lagunajes, sistemas de infiltración y de los diferentes tipos de humedales artificiales. Estos producen efluentes de buena calidad al mismo tiempo que para su empleo no se requiere el uso de energía eléctrica, tampoco trabajadores con gran experiencia y los equipos que la componen no tienen costos elevados ya que como se conoce su funcionamiento es principalmente natural, por lo que el costo es bajo en comparación a las diversas tecnologías convencionales (Sierra, 2018).

El uso de humedales para el tratamiento de agua ha aumentado en las últimas dos décadas y ahora es una opción bastante reconocida y recomendada para el tratamiento de aguas residuales (Alarcón y Zurita, 2018).

El primer uso de la palabra humedal artificial se dio en la Convención sobre los Humedales Ramsar, que se dio cita en Irán 1971, a partir de aquí se han desarrollado estudios sobre el tema en varios países (Pastrana Buelvas y Pacheco Restrepo, 2010).

Los primeros conceptos científicos relacionados con el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, se da al año 1946 en el que Max Plank Institute System (MPIS) evaluó el tratamiento mediante humedales de flujo horizontal en aguas municipales como industriales entre otras, provocando un incremento en la utilización de los humedales artificiales para diferentes tipos de aguas residuales (Suárez et al., 2014).

Los humedales artificiales han demostrado mediante procesos físicos, químicos y biológicos ser efectivos en la descomposición de la materia orgánica, la conversión y absorción de nutrientes, y la retención o remoción de sustancias tóxicas liberadas al medio ambiente, evitando la eutrofización de las aguas (Arteaga-Cortez et al., 2019). Esta tecnología actúa como un ecosistema complejo formado por agua a tratar que circula a través del sustrato filtrante y/o vegetación; sustrato, que sirve de apoyo a la vegetación y permite la inmovilización de la población microbiana, la cual estará involucrada en la mayoría de los procesos de depuración (Carvajal Rowan et al., 2018).

En si la implementación de un humedal artificial no es complicado, pero se debe tener en cuenta la selección adecuada de la especie a utilizar y del tipo de humedal que se desea implementar; si no puede resultar un gran problema en su funcionamiento como efectividad (Carillo Garcia, 2020).

Por su parte, Jethwa y Bajpai (2016), elaboraron el artículo "Role of plants in constructed wetlands (CWS): a review" con el objetivo de estudiar los tipos de plantas, incluidas las herbáceas emergentes y las características utilizadas para los humedales construidos, su fitología, nutrición de las plantas y ciclos de crecimiento, siendo estos factores importantes para la selección de especies. Obteniendo como resultados las ventajas de cada tipo de plantas utilizadas en los humedales artificiales, lo cual direcciona a una mejor comprensión y uso en el proceso de tratamientos. Esta investigación trajo consigo el aumento del uso de plantas en humedales artificiales, sumando varios factores a tener en cuenta en la selección de vegetación y en las prácticas de manejo de humedales artificiales.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como función realizar una investigación bibliográfica sobre los diferentes tipos de especies que se emplean en humedales artificiales y poder con esto evidenciar criterios que se deben tener en cuenta para la elección de una especie. Planteándonos como objetivo detallar los rangos de tolerancia a la temperatura y pH de diferentes especies utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales, comparar el potencial de las especies seleccionadas para la remoción de metales pesados y por último constatar la eficiencia de cada especie para remover diferentes tipos de contaminantes. Así mediante un análisis bibliográfico con enfoque cualitativo se recolectó la información necesaria sobre especies implementadas en humedales artificiales y poder cumplir dichos objetivos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

Al tratarse de un artículo de revisión bibliográfica, la investigación tuvo un enfoque cualitativo; el cual es utilizado principalmente en la generación de palabras debido a que se basa en la recopilación de información de donde se obtienen datos importantes que nos ayudan a comprender el tema mediante las conclusiones de otros autores. Así mismo el método de investigación empleado fue el analítico, debido a que se realizó un análisis de datos para el respectivo diagnóstico de los problemas como de la construcción de hipótesis que permitan resolverlos. Con todo esto se logró una búsqueda información en bases de datos especializadas que contenían artículos de revistas indexadas y publicaciones de investigación.

Para encontrar dicha información se hizo uso del motor de búsqueda “Google Scholar”; el cual arrojó resultados en inglés y castellano de diferentes bases de datos especializadas como "SciELO", “Redalyc”, “Repositorio de la Universidad Peruana Unión”, “Science direct”, “Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante”, “Repositorio Institucional UPN”, “Repositorio Institucional Universidad EAFIT”, “ResearchGate”, entre otras aplicando sus respectivas traducciones. El número de artículos encontrados con ayuda de los motores de búsqueda de información científica, se exponen a continuación.

Tabla 1. Artículos referenciados en la presente investigación

Base de datos científica	Número de artículos
Taylor & Francis Online	2
Redalyc	3
Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana	1
Scielo	4
Sciencedirect	5
Dialnet	1
Repositorio de la Universidad Peruana Unión	2
Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València	1
Plataforma POLI-RED	1
Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca	1
Researchgate	2
Repositorio Digital Univalle	1
Repositorio Institucional CONICET Digital	1
Repositorio Institucional UMSS	1
Universidad Santo Tomas	1
Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte	1

Depósito institucional de la UPC	1
Pakistan Journal of Biological Sciences	1
Repositorio Digital de la CEPAL	1
Repositorio Institucional UPN	2
Applied Ecology and Environmental Research	1
Vadose Zone Journal	1
Repositorio Institucional Universidad EAFIT	2
Repositorio Institucional RIMTA	1
Repositorio Institucional Universidad de Sonora	1
Portal del Instituto Geológico y Minero de España	1
Repositorio Institucional Digital UCSS	1
Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil	2
Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante	1
Repositorio Institucional de la UJAT	1
Repositorio Institucional UFPS Seccional Ocaña	1
Repositorio Institucional Universidad Jorge Tadeo Lozano	1
Repositorio Universidad Nacional de San Martín	1
Repositorio IICA	1
TOTAL	49

Fuente: Elaboración propia

Los descriptores utilizados para la búsqueda de información fueron los siguientes: en castellano se utilizaron los términos “humedales artificiales”, “especies”, “aguas residuales”, “fitorremediación”, “sistema”, “tratamiento”, y en inglés “constructed wetlands”, “plants”, “artificial wetlands” y “selection”.

Para la formulación de las ecuaciones de búsqueda se utilizaron operadores booleanos como AND y OR, que permitieron acceder a más fuentes bibliográficas. Además, se estableció como criterio que no tengan una antigüedad mayor a 30 años y se seleccionaron únicamente artículos de revistas científicas; obteniendo con esto artículos desde el año 2002 al 2021.

Los resultados obtenidos se evaluaron en base a un resumen de cada estudio encontrado, pudiendo analizar los objetivos, la metodología y los resultados obtenidos de cada estudio y verificando que esta información sea relevante para alcanzar los objetivos del trabajo.

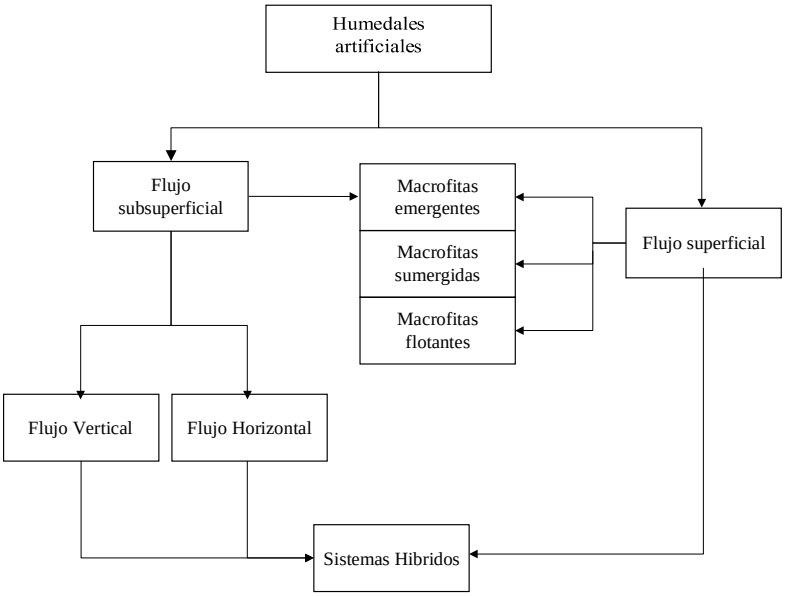
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez analizado el conjunto de artículos científicos, se enfocó en el objetivo principal de este trabajo, cuyo propósito fue analizar las diferentes especies de plantas implementadas en

humedales artificiales. Por lo tanto, con la información recopilada, se escogieron las especies más conocidas según el tipo de humedal artificial al que pertenecen, debido a la limitada cantidad de información que se tiene sobre otras especies.

Según Delgadillo et al. (2010), clasificó a los humedales para el tratamiento de aguas residuales de acuerdo a su régimen de flujo de agua y también por el tipo de plantas macrófitas implementadas. Según el flujo de agua se dividió en humedales artificiales de flujo superficial y flujo subsuperficial, además al último se lo separó en flujo horizontal y flujo vertical. Esta información fue sintetizada de una forma más clara en la Figura 1.

Figura 1. Clasificación de los humedales artificiales según el flujo de agua

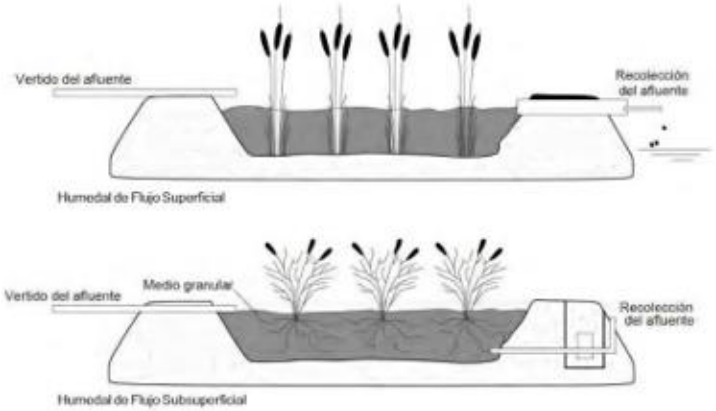


Fuente: Elaboración propia

Los sistemas de flujo horizontal fueron los más utilizados, ya que demostraron mayor efectividad en la remoción de contaminantes, aunque en los últimos años se han desarrollado numerosas pruebas con sistemas de flujo vertical en varios humedales pertenecientes a Europa, como Francia y Austria (Langergraber, 2008).

Así mismo Rabat (2019), dividió los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes en dos tipos; de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: humedales de flujo superficial y subsuperficial, tal y como se observa en la Figura 2. Además, al realizar combinaciones entre estos se desarrollarán sistemas híbridos.

Figura 2. Funcionamiento de un humedal artificial según el flujo de agua



Fuente: (Sierra y López, 2018)

Este trabajo se basó en la clasificación según las características de la planta predominante en los lechos; con esto se obtuvo 3 grupos de especies que son las macrófitas flotantes (*Eichhornia crassipes, Lemna minor, Azolla spp*), macrófitas sumergidas (*Ceratophyllum demersum, Potamogeton crispus*) y las macrófitas emergentes (*Juncus efflusus, Thypa latifolia, Phragmites australis*); las mismas que se detallan en la Tabla 2.

Mediante la información recolectada se encontró presente una variedad de contaminantes que las plantas estudiadas fueron capaces de remover; entre estos se encuentran los siguientes: Arsénico (As), Nitrógeno (N), Bario (Ba), Potasio (K), Hierro (Fe), Cromo (Cr), Boro (B), Selenio (Se), Plomo (Pb), Zn (Zinc), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Aluminio (Al), Fósforo (P), Platino (Pt), Paladio (Pd), Osmio (Os), Rubidio (Ru), Iridio (Ir), Rodio (Rh), Sólidos suspendidos totales (SST), Coliformes fecales (CF) y Demanda química de oxígeno (DQO).

Tabla 2. Remoción de contaminantes por especies implementadas en humedales artificiales

Clasificación según el tipo de macrófita	Nombre científico	Metales Pesados	Parámetros de calidad del agua	Limitaciones	Referencias
Macrófitas flotantes	*Eichhornia crassipes*	As, Fe, Cr, Pb, Zn, Ni, Cu, Hg, Cd, Co, Al, P, Pt, Pd, Os, Ru, Ir, Rh	SST, CF, DQO	Temperatura del agua: 10 - 33 °C pH: 6 - 8 optimo y extremo 4.5 - 10	(Garcia Trujillo, 2012)

	Lemna minor	N, P, K, Mn, Pb, Ba, B, Cd, Cu, Cr, Ni, Se, Zn, Fe, As, Hg, Cd,	SST, CF, DQO	Temperatura del agua: 6 - 33 °C pH: 5 - 9	(Castillo, 2017)
	Azolla spp	N, Cd, Cr, Zn, Ni, Pb, Cu, As, Fe, Hg, Mn	SST, CF, DQO	Temperatura del agua: 5 - 28 °C pH: 6.5 - 7.5	(Garcia Trujillo, 2012)
	Salvinia molesta	Hg, As, Fe, Cr, Pb, Zn, Ni, Cu	SST, CF, DQO	Temperatura del agua: 20 – 30 °C pH: 6.0	(Chocobar, 2019) (Caviedes Rubio et al., 2016)
Macrófitas sumergidas	*Ceratophyllum demersum*	Zn, Pb, Fe, Cr, Cu, Cd, Mn, Hg, Co, Ni	SST, CF	Temperatura del agua: 10 - 30 °C pH: 6 - 9	(Saleh et al., 2020) (Chocobar, 2019)
	Potamogeton crispus	Cu, Pb, Mn, Fe, Cd Zn, Cu	SST, DQO	Temperatura: 18ºC - 29 ºC pH: 6.7 - 9.8	(Zhou et al., 2017) (Chocobar, 2019)
	Alternanthera sessilis	Fe, Cr, Pb, Cu, Cd, Mn	SST, CF	Temperatura: 20 - 26 ºC pH: 5.8 - 7.2	(Chocobar, 2019)
Macrófitas emergentes	*Juncus efflusus*	Pb, Se, Cd, Zn, Cu	CF, DQO	Temperatura: > -15 ºC pH: 3.5 - 8.5	(Krzciuk y Gałuszka, 2019)
	Typha latifolia	N, P, As, Fe, Cr, Pb, Zn, Ni, Cu, Cd, Mn	SST, CF, DQO	Temperatura: 15 - 25 ºC pH: 5.5 - 8	(Socarrás Muñoz y Sánchez Meneses, 2012) (Caviedes Rubio et al., 2016)
	Phragmites australis	N, P, B, Cr, As, Fe, Pb, Zn, Ni, Cu, Hg, Cd, Mn,	SST, CF	Temperatura: > -7ºC pH: 4.5 - 7.5	(Caviedes Rubio et al., 2016)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se detalló la capacidad de cada especie para la remoción de contaminantes y los parámetros del agua en las que se desarrollan óptimamente. En cuanto a los parámetros que afectan el desarrollo de las especies, la investigación se enfocó a la temperatura y pH del agua (Chocobar, 2019).

Cuando hablamos de temperatura se observó que esta influyó en el crecimiento y reproducción de la especie, debido a que cada una es tolerante a ciertas temperaturas. Si bien la temperatura solo afectó generalmente al crecimiento y la reproducción, en ocasiones extremas pueden causar su muerte como es en el caso de *Salvinia molesta* a temperaturas mayores a 43°C y menores de 3°C por más de dos horas, tal y como lo expone Martínez Jiménez (2005). El motivo de por qué cada especie soportó diferentes rangos de temperatura, es un tema neto de adaptación en su proceso de evolución a lo largo de los años a condiciones ambientales según su distribución geográfica. Esta adaptación fue fijada genéticamente y se transmite de generación en generación, asegurando la supervivencia de las especies que conforman un grupo más resistente (González et al., 2002).

En el caso del pH, también se evidenció que al igual que la temperatura esta afectó al desarrollo de la planta; cómo es el caso de la *Azolla spp,* la cual requirió para su normal desarrollo y producción de biomasa un pH entre 6.5 y 7.5; si bien los valores fuera del rango no la afectan gravemente, la variación de pH afecta a su reproducción debido a que la especie necesita de fósforo para su multiplicación y este disminuye a bajos niveles de pH (Méndez et al., 2017). Así mismo la especie que mejor soporto variaciones extremas de pH fue la *Eichhornia crassipes* cuyos rangos de tolerancia fueron de 4.5 a 10, por consecuencia de que sus raíces le permitieron absorber algunos nutrientes como nitrógeno, fósforo, zinc y manganeso aun cuando estos son ausentes en ciertos niveles de pH; valores fuera de este rango provoca cambios en las tonalidades de sus hojas llevándolas al marchitamiento y acaban muriendo poco después (Zúñiga López, 2020).

Con respecto a la remoción de contaminantes se pudo deducir el por qué algunas especies son capaces de remover más o menos contaminantes del agua; según Bernal (2014) esto es debido a que las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante distintos procesos como la rizofiltración, fitoextracción, fitoestabilización, fitoestimulación, fitovolatilización y fitodegradación; los cuales cambiaron en cada especie, por lo general debido a su proceso de adaptación como también por su morfología fisiológica, ya sea por sus raíces finas o gruesas o por su cantidad de biomasa en hojas. Además, se pudo evidenciar que

las macrófitas flotantes removieron un mayor número de contaminantes seguidas de las emergentes y con un menor número de contaminantes las sumergidas; seguramente por la morfofisiología de las plantas antes mencionadas.

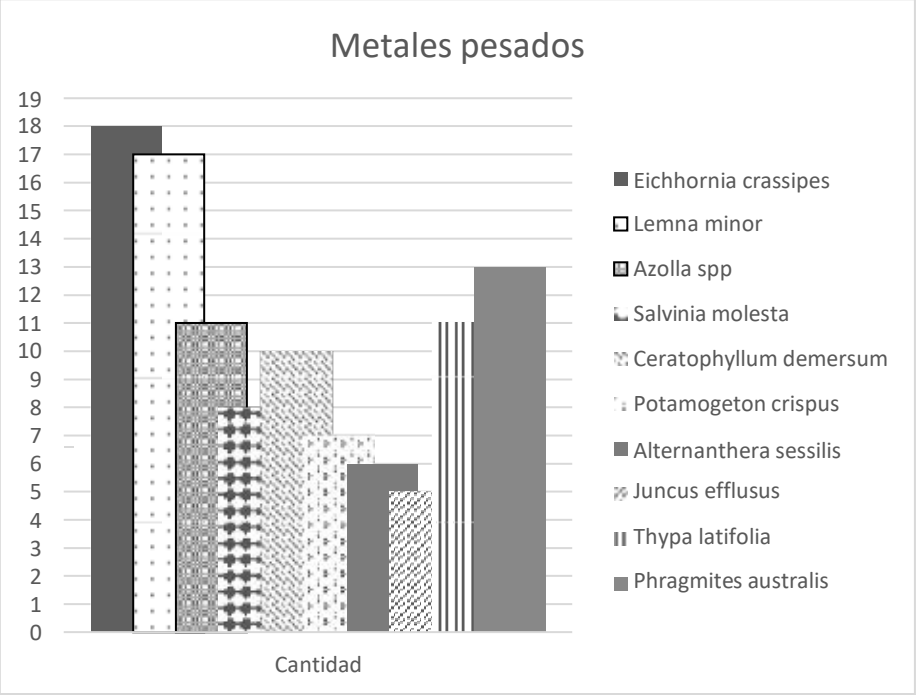
Por otro lado, se demostró el potencial de las especies para remover contaminantes en el agua específicamente los metales pesados; basándose en la recopilación elaborada por Chocobar (2019), el cual describió los metales pesados removidos por diferentes especies usadas en humedales artificiales. Con esta información se desarrolló la Figura 3, la cual contiene las especies antes seleccionadas con el respectivo número de metales pesados que logran acumular. Evidenciando con esto el potencial de las especies descritas anteriormente para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados.

En la figura se comparó la cantidad de metales que cada especie tiene la capacidad de remover, dónde se logró evidenciar que la especie con mayor cantidad de remoción de metales pesados es la *Eichhornia crassipes*, mientras que la especie con menor número es la *Juncus efflusus*.

Para lograr entender el por qué cada especie removió cierta cantidad de metales, primero se comprendió que todas las plantas son capaces de absorber metales de su entorno, pero en diferente medida; ya que su adsorción dependió del tipo de planta y sus características morfológicas. Las plantas adoptaron diferentes estrategias para combatir la presencia de minerales en su entorno. Algunas basaron su resistencia al contaminante con una estrategia de exclusión del metal restringiendo su paso a las raíces, y otras absorbieron el contaminante en la parte superior de la planta, de forma inofensiva para ellas (Gallegos Parra, 2017).

Se determinó que la exclusión es una característica de algunas especies que las hacen tolerantes y sensibles a los metales pesados, restringiendo con esto su acumulación y transporte a la parte aérea, mientras que la acumulación es más común en especies que crecieron en zonas contaminadas o metalíferas, de acuerdo con esta última, las plantas hiperacumuladoras superaron en 100 o más veces los valores normales de metales acumulados. Estas plantas fueron especies tolerantes a más de un metal pesado siendo a menudo su distribución restringida a zonas con una gran concentración de metales debido a esta adaptación (Núñez-López et al., 2008).

Figura 3. Potencial de las especies para la acumulación de metales pesados.



Fuente: Elaboración propia

Barceló y Poschenrieder (2002), concluyó que, la hiperacumulación es el resultado evolutivo en más de 400 especies de plantas repartidas en 45 familias botánicas. Esta capacidad ayudó a las especies a adaptarse y desarrollarse en zonas contaminadas acumulando concentraciones de metales convirtiendo a las hiperacumuladoras en organismos candidatos para la rizofiltración.

Tabla 3. Porcentajes de remoción de las especies seleccionadas en humedales artificiales

	% de remoción de contaminantes									
Nombre científico	**As**	**Fe**	**N**	**Cr**	**Pb**	**Cu**	**DQO**	**CF**	**SST**	**Referencias**

Eichhornia crassipes	80	75	61	80	84	90	90.20	99	56	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Castillo, 2017) (Leon et al., 2018) (Neira, 2020)
Lemna minor	70	93	13.55	60	98.50	80	56.10	99	30	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Leon et al., 2018) (Vargas, 2017)
Azolla spp	40	95	16	78	55	93	52.50	91.70	75	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Oswaldo y Barreno, 2017) (Chaux et al., 2011)
Salvinia molesta	19	70	42.70	69	80	21	39	97.40	30.70	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Koutika y Rainey, 2015) (Bustamante y Pèrez, 2019) (Oswaldo y Barreno, 2017) (Carrillo A, 2017)
Ceratophyllum demersum	-	-	62.86	90	80	90	-	78	64.90	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Gómez, 2017) (Haroon et al., 2020)
Potamogeton crispus	95	-	57	-	79	95	68	-	62.60	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Yan et al., 2021)

Alternanthera sessilis	-	40	-	25	20	37	-	99	46.90	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Abbasi et al., 2019)
Juncus spp	92	99	94	-	34	-	83	78	-	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Gómez, 2017)
Thypa latifolia	12	95	90.70	82	94	83	37.84	100	93.50	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Gómez, 2017) (Nelver y Amir, 2020)
Phragmites australis	74	82	46	69	72	-	-	99.70	87.80	(Caviedes Rubio et al., 2016) (Leon et al., 2018)

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 se detalló la eficiencia de remoción de las especies analizadas a diferentes contaminantes, los mismos que fueron estudiados por varios autores; obteniendo como resultados que la *Eichhornia crassipes* resultó la especie con mayor eficiencia en remoción de contaminantes con un valor de 69.44% como promedio general, mientras que la especie *Alternanthera sessilis* fue la más baja para remover dichos contaminantes con un promedio general de 24.55%.

No obstante, se dedujo que estos porcentajes de eficiencia no deben ser tomados como valores fijos debido a que estos varían conforme cambien los factores que afecten al medio de desarrollo de la especie, como por ejemplo la concentración de los contaminantes que contenga el agua residual como también el tiempo de exposición de la planta al medio. Así mismo, en algunos casos no se colocaron los respectivos porcentajes; por un lado, por la falta de estudios sobre la especie y el contaminante o porque la especie no tiene la capacidad de remoción del mismo.

Si bien aún no se han publicado investigaciones sobre qué morfologías o rasgos de crecimiento promueven la eliminación eficiente de metales pesados por parte de las especies; la reciente investigación de Schück y Greger (2020), ayudó a deducir el porqué de la

variabilidad en la eficiencia de cada planta; pues con su trabajo se concluyó que los rasgos específicos de la especie se pueden utilizar para predecir cuales tienen una alta probabilidad de ser eficientes en la eliminación de metales pesados; pues los datos arrojaron que la eliminación de metales pesados por humedales artificiales podría ser más eficiente seleccionando plantas con alta transpiración y alta biomasa total, especialmente si tienen una alta biomasa de raíces finas y una alta biomasa de hojas.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se evidenció que la especie con mejor tolerancia a diferentes rangos de temperatura es la *Lemna minor* siendo capaz de soportar temperaturas bajas de 6°C y altas de 33°C; debido a su adaptación a lo largo de los años a varias regiones del mundo con distintas condiciones ambientales. Esta adaptación fue fijada genéticamente y se transmitió de generación en generación asegurando su supervivencia. Mientras que la especie que mejor soportó variaciones de pH extremos fue la *Eichhornia crassipes* sobreviviendo a niveles ácidos de 4,5 y alcalinos de 10; a causa de su morfología, sobre todo las raíces que le permiten absorber nutrientes como fósforo, nitrógeno, manganeso y zinc aun cuando se encuentren menos disponibles a ciertos niveles de pH. Valores más extremos presentan en la planta tendencia al marchitamiento y acaba muriendo poco después.

Por otro lado, se pudo contrastar que la especie con mayor potencial de remoción de metales pesados fue la *Eichhornia crassipes* con número total de 18 metales pesados, mientras que la especie con menor capacidad de remover diferentes metales pesados del agua fue la *Juncus efflusus* con un total de 5 metales pesados. Estos valores no pueden ser tomados como fijos pues la cantidad de metales removidos por cada especie puede variar conforme se realicen nuevas investigaciones.

Así mismo, se determinó que la *Eichhornia crassipes* es la especie con mayor eficiencia en remoción de contaminantes con un valor de 69.44% como promedio general, mientras que la especie *Alternanthera sessilis* fue la especie más baja para remover dichos contaminantes con un promedio general de 24.55%. Al igual que en la cantidad de metales pesados, estos datos no deben ser tomados como definitivos, debido a que estos valores varían conforme al entorno en donde se realice el estudio. Sin embargo, estos resultados dan un enfoque más claro de la capacidad de remoción de cada especie y del potencial de los humedales artificiales.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbasi, S. A. y Tabassum-Abbasi y Ponni, G. y Tauseef, S. M. (2019). Potential of joyweed Alternanthera sessilis for rapid treatment of domestic sewage in SHEFROL® bioreactor. *International Journal of Phytoremediation*, *21*(2), 160–169. https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1488814

Alarcón, M. T. y Zurita, F. (2018). Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en américa latina. *Pontificia Universidad Javeriana*, 1–271. http://hdl.handle.net/10554/34519

Arias, C. (2005). Humedales Artificiales Para el Tratamiento de Aguas Residuales. *Revista Cientifica José María Cordova*, *3*, 40–44. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476259066011

Arteaga-Cortez, V. M. y Quevedo-Nolasco, A. y Del Valle-Paniagua, D. H. y Castro-Popoca, M. y Bravo-Vinaja, Á. y Ramírez-Zierold, J. A. (2019). State of art: A current review of the mechanisms that make the artificial wetlands for the removal of nitrogen and phosphorus. *Tecnologia y Ciencias del Agua*, *10*(5), 319–342. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12

Barceló, J. y Poschenrieder, C. (2002). Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: A review. *Environmental and Experimental Botany*, *48*(1), 75–92. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00013-8

Bernal, A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *Revista de investigación agraria y Ambiental*, *volumen 5*(ISSN2145-6097), 245–258. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5590911

Bustamante, E. y Pèrez, W. (2019). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco typha sp y vetiver chrysopogon zizanioides en el distrito de Saposoa*. Universidad Peruana Unión.

Carillo Garcia, J. G. (2020). *Empleo de un humedal artificial como propuesta alternativa a la construcción de una EDAR en el municipio de La Acebeda (Comunidad de Madrid)*. Universitat Politècnica de València.

Carvajal Rowan, A. y Zapattini Irala, C. y Quintero Zamora, C. (2018). Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. *Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, *0*(5), 88–108. http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/3744

Castillo, E. (2017). *Eficiencia de Lemna sp y Eichohornia crassipess, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín*. Universidad Nacional de Cajamarca.

Caviedes Rubio, D. I. y Delgado, D. R. y Olaya Amaya, A. (2016). Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. *Producción + Limpia*, *11*(2), 126–149. https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a11

Chaux, G. y Universidad, F. y Valle, D. y De Ingeniería, F. (2011). *Evaluación del*

comportamiento de un sistema de lagunas de azolla pinnata para el tratamiento de efluentes de producción de tilapia. Universidad del Valle.

Chocobar, S. (2019). *Estudio bioquímico y fisiológico de los efectos del pH del medio sobre la capacidad remediadora de Cr (VI) y Cr (III) de especies del género Salvinia*. Universidad Nacional de Tucumán.

Delgadillo, O. y Camacho, A. y Andrade, M. y Peréz, L. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. *Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua*, 1–115.

Gallegos Parra, F. (2017). *Rizofiltración de aguas de riegoagrícola contaminados por metalespesados en comunidades del municipiodeatlixco, puebla*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Garcia Trujillo, Z. M. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Gómez, T. (2017). *Biorremediación de lagos tropicales eutrofizados: estudio del lago san pablo (Ecuador)*. Universitat Politécnica de Catalunya.

González, L. M. y González, M. C. y Ramírez, R. y González, C. L. M. y Auxiliar, I. (2002). Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. *Cultivos Tropicales*, *23*(2), 27–37. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218114005

Haroon, A. M. y Tahoun, U. M. y Sabae, S. A. y Hamza, W. T. (2020). Research article biological characterization of water in damietta branch of the Nile River, Egypt. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *23*(7), 861–882. https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.861.882

Jethwa, K. B. y Bajpai, S. (2016). Role of plants in constructed wetlands (CWS): a review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, *1*(2), 4–10.

Jouravlev, A. y Matus, S. S. y Sevilla, M. G. (2015). Textos seleccionados 2002-2020 Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe. *CEPAL*, 1–332.

Koutika, L. S. y Rainey, H. J. (2015). A review of the invasive, biological and beneficial characteristics of aquatic species Eichhornia crassipes and Salvinia molesta. *Applied Ecology and Environmental Research*, *13*(1), 263–275. https://doi.org/10.15666/aeer/1301_263275

Krzciuk, K. y Gałuszka, A. (2019). Seasonal changes in concentrations of trace elements and rare earth elements in shoot samples of Juncus effusus L. collected from natural habitats in the Holy Cross Mountains, south-central Poland. *Chemosphere*, *219*, 954–960. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.062

Langergraber, G. (2008). Modeling of Processes in Subsurface Flow Constructed Wetlands: A Review. *Vadose Zone Journal*, *7*(2), 830–842. https://doi.org/10.2136/vzj2007.0054

Leon, R. y Pernía, B. y Siguencia, R. y Franco, S. y Noboa, A. y Cornejo, X. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y Escherichia coli en aguas servidas. *Enfoque UTE*, *4*, 131–144. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.286

Martelo, J. y Lara, J. (2012). Floating macrophytes on the wastewater treatment: a state of the art review. *Revistas académicas Universidad EAFIT*, *8*(15), 221–243. http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf

Martínez Jiménez, M. (2005). Manual para la cría masiva de Cyrtobagous salviniae utilizado en el control biológico de Salvinia molesta. *IMTA*, 1–44. http://hdl.handle.net/20.500.12013/1172

Méndez, Y. y Pérez, Y. y Reyes, J. J. y Puente, V. D. (2017). Azolla sp., un alimento de alto valor nutricional para la acuicultura. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, *XX*, 32–40.

Muñoz, K. M. y Vasquez, M. (2020). *Estudio De La Eficiencia Del Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Con Humedales Artificiales De Cinco Especies De Macrófitas* [Universidad Privada del Norte]. http://hdl.handle.net/11537/23943

Murillo, J. (2009). Turbidez y sólidos en suspensión de las aguas de escorrentía susceptibles de ser utilizadas en la recarga artificial del acuífero granular profundo subyacente a la ciudad de San Luis de Potosí (México). *Boletín Geológico yMinero*, 169–184.

Neira, Y. Y. (2020). *Humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales*. Universidad Católica Sedes Sapientiae.

Nelver, M. y Amir, I. (2020). *Thypa latifolia y eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales de efluentes industriales*. Universidad Privada del Norte.

Núñez-López, R. A. y Meas, Y. y Gama, S. C. y Borges, R. O. y Olguín, E. J. (2008). Leaching of lead by ammonium salts and EDTA from Salvinia minima biomass produced during aquatic phytoremediation. *Journal of Hazardous Materials*, *154*(1–3), 623–632. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.101

Oswaldo, J. y Barreno, V. (2017). *Propuesta de fitorremediación de coliformes totales del estero fecaol puente lucia provincia del guayas*. Universidad de Guayaquil.

Pastrana Buelvas, E. y Pacheco Restrepo, Y. V. (2010). La Convención Ramsar a lo largo del eje local-global: protección de humedales en el Valle del Cauca. *Papel político*, *15*, 573–616.

Posada Uribe, L. F. y Mosquera López, S. (2007). *Biodegradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales de una empresa de pinturas* [Universidad EAFIT]. https://biblat.unam.mx/hevila/Papelpolitico/2010/vol15/no2/7.pdf

Rabat Blaszquez, J. (2019). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración* [Universidad de Alicante]. https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-jorge-rabat-blazquez.pdf

Rivera, P. y Chávez, R. y Salinas, F. R. (2018). Avances y limitantes en el tratamiento del agua residual del estado de Zacatecas. *Tecnologia y Ciencias del Agua*, *9*(1), 113–123. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-08

Saleh, H. M. y Moussa, H. R. y Mahmoud, H. H. y El-Saied, F. A. y Dawoud, M. y Abdel Wahed, R. S. (2020). Potential of the submerged plant Myriophyllum spicatum for treatment of aquatic environments contaminated with stable or radioactive cobalt and cesium. *Progress in Nuclear Energy*, *118*, 1–11.

https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.103147

Schück, M. y Greger, M. (2020). Plant traits related to the heavy metal removal capacities of wetland plants. *International Journal of Phytoremediation*, *22*(4), 427–435. https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1669529

Sierra, O. y López, G. (2018). Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. *Kuxulab' Revista de divulgación*, *19*, 47–55.

Socarrás Muñoz, A. A. y Sánchez Meneses, H. C. (2012). *Evaluación de las especies Tithonia diversifolia y Typha latifolia en un humedal artificial subsuperficial piloto en el tratamiento de aguas residuales provenientes del área bovina de la granja experimental de la UFPSO*. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Suárez, A. y Agudelo, N. y Rincón, J. y Millán, N. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Mutis*, *4*(1), 8–14. https://doi.org/10.21789/22561498.905

Vargas, K. (2017). *Evaluación de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015*. Universidad Nacional de San Martín.

Villalobos, V. y García, M. y Ávila, F. (2017). El agua para la agricultura de las Américas. *IICA*, 1–132.

Yan, Z. y Wang, Q. y Li, Y. y Wu, L. y Wang, J. y Xing, B. y Yu, D. y Wang, L. y Liu, C. (2021). Combined effects of warming and nutrient enrichment on water properties, growth, reproductive strategies and nutrient stoichiometry of Potamogeton crispus. *Environmental and Experimental Botany*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104572

Zamora, F. y Rodríguez, N. y Torres, D. y Yendis, H. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. *Bioagro*, *20*(3), 193–199. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85714153006

Zhou, Y. y Zhou, X. y Han, R. y Xu, X. y Wang, G. y Liu, X. y Bi, F. y Feng, D. (2017). Reproduction capacity of Potamogeton crispus fragments and its role in water purification and algae inhibition in eutrophic lakes. *Science of the Total Environment*, *580*, 1421–1428. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.108

Zúñiga López, P. A. (2020). *Fitorremediación de suelo agrícola contaminado con cadmio con la especie Eichhornia crassipes (Mart.) Solms, en la cuenca baja del río Guayas* [Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48750

ANEXOS

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Aguas residuales

Según Delgadillo et al. (2010) se conoce como todo tipo de agua cuya calidad vendría a estar influenciada por la presencia antropogénica, posteriormente de haber sido modificadas para diferentes usos son recogidos por una red de alcantarillas que los conducen a los humedales. Según su uso original, estos cuerpos de agua fueron el resultado de una mezcla de sedimentos líquidos y sólidos de diferentes fuentes.

Además, menciona que existen tipos de aguas residuales que van a depender de su origen, entre los cuales encontramos:

- Aguas residuales urbanas, se refiere a la unión de aguas residuales urbanas e industriales.
- Aguas residuales domésticas, son aquellas procedentes de viviendas y de los servicios o actividades domesticas que realiza el ser humano.
- Aguas industriales, se las denomina al agua que ha atravesado actividades comerciales o industriales.

6.2 Coliformes fecales

Los coliformes fecales comprenden todos los grupos de bacterias presentes con abundancia en el intestino del ser humano, excretándolas en grandes cantidades a través de los sanitarios para ser desembocados en los cuerpos hídricos más cercanos; por lo que es necesario tratarlas para evitar llegar al foco de infección, además se los conoce como indicadores biológicos ya que su presencia significaría que el agua está contaminada (Delgadillo et al., 2010).

6.3 Contaminantes

Según Delgadillo et al. (2010) menciona que los contaminantes son aquellas sustancias liberadas al medio ambiente ocasionando efectos adversos inmediatos o a largo plazo, como consecuencia de la bioacumulación o efectos tóxicos en los sistemas biológicos. La toxicidad ambiental es el resultado del estrés de las sustancias tóxicas que operan en el medio ambiente

Posteriormente mediante el tipo de sustancia contaminante presente, se le agrupo en 5 tipos:

- Microorganismos patógenos: Se encuentran los virus, bacterias, protozoos etc., causando enfermedades graves como tifus, colera, hepatitis entre otros.

- Desechos orgánicos: Su principal efluente son los residuos por actividades humanas como la ganadería, cuya descomposición fomenta el crecimiento de bacterias aeróbicas.

- Sustancias químicas inorgánicas: Conforman las sales, metales tóxicos y ácidos, que en elevadas concentraciones afectan gravemente a los seres vivos.

- Nutrientes vegetales inorgánicos; Formados de nitratos y fosfatos, siendo estas fuentes de alimento para las plantas, pero en elevadas concentraciones induce a la eutrofización lo que disminuye el oxígeno del sector.

- Compuestos orgánicos: Tienen altos niveles de degradación como la gasolina, petróleo, plaguicidas etc.

6.4 Demanda química de oxígeno (DQO)

El DQO, proporciona una medida de oxígeno igual a la proporción de la muestra orgánica en una muestra de agua, cuya función se basa en la oxidación de la materia orgánica para convertirla en CO2 y H2O; a mayor cantidad de DQO mayor contaminación existe. Una de las ventajas es que su evaluación toma un promedio de 3 horas por lo que se tiene resultados casi al instante (Posada Uribe y Mosquera López, 2007).

6.5 Fitorremediación

Según Delgadillo et al. (2010) menciona que la fitorremediación consiste en un proceso que utiliza plantas para transferir, estabilizar o destruir contaminantes orgánicos como inorgánicos, localizados en suelos, sedimentos y lodos aplicándose in situ como ex situ.

Entre los procesos de fitorremediación se encuentran los siguientes:

- Fitoestabilizacion es aquella que permite inmovilizar los contaminantes en el suelo mediante su acumulación y absorción en las raíces o ya sea por precipitación en la rizosfera.

- Fitoextracción: Se basa en la absorción de minerales contaminados por medio de las raíces de las plantas, acumulándose en los tallos y hojas.

- Fitovolatilización: Se presenta conforme las plantas se desarrollan, absorbiendo el agua junto con los contaminantes inorgánicos y orgánicos.

- Fitoinmovilización: Induce la unión y reduce la biodisponibilidad de los contaminantes a través de la producción de compuestos químicos.

- Fitodegradación: Los microorganismos y las plantas se encuentran relacionados para la descomposición de contaminantes orgánicos para mineralizarlos y convertirlos en H2O y CO2.

- Rizofiltración: Usa las raíces de las plantas para absorber, concentrar o precipitar los metales pesados que se encuentren a través de los efluentes líquidos y así degradar los compuestos orgánicos.

6.6 Flujo Subsuperficial

En este flujo el agua circula a través de estos humedales y por medio del sustrato, este se encuentra a una profundidad entre 0,5 a 0.6m, donde a la vegetación se la siembra en el sustrato, dando contacto los rizomas y las raíces con los contaminantes presentes en el agua (Delgadillo et al., 2010).

6.7 Flujo superficial

Es un canal con suelo u otro medio, apto para soportar la vegetación que se encuentra enraizada, donde el agua circula a una profundidad baja por los tallos de las plantas exponiéndose a la atmósfera, las raíces y los tallos son los medios de soporte donde se produce el tratamiento mientras el agua circula con lentitud (Núñez-López et al., 2008).

6.8 Hiperacumulación

Se conoce como hiperacumulación a la capacidad que poseen ciertas plantas para concentrar en su interior metales pesados a niveles considerables, consiste en desintoxicar los iones metálicos libres para evitar ocasionar daños oxidativos en las células vegetales. Así mismo las plantas forman complejos metálicos que son menos tóxicos con presencia de quelantes, captando los metales desde lugares con metabolismo activo, hacia la pared celular, donde este no puede ocasionar efectos adversos. Estas peculiaridades la hacen a las especies útiles para actividades de fitorremediación (Barceló y Poschenrieder, 2002).

6.9 Humedales construidos

Según Neira (2020) menciona que los humedales construidos son aquellos creados intencionalmente por el hombre en donde su reproducción se desarrolla de manera controlada en sitios estratégicos con el propósito de realizar tratamiento a las aguas residuales o incluso para incrementar su valor escénico.

Los principales componentes de un humedal artificial son:

- Sustrato o material granular: Este sirve de soporte para la vegetación permitiendo fijar la biopelícula de bacterias que intervienen en la eliminación de contaminantes
- Vegetación: Esta compuesta por macrófitas emergentes que ayudan a la oxigenación del sustrato.
- Influente: Es aquel que circula entre la vegetación y el sustrato.

6.10 Macrófitas

Se conoce como macrófitas a todas aquellas especies que se desarrollan en terrenos inundados por tiempos indefinidos, también se las conoce como plantas palustres; su desarrollo principalmente depende el poder nutricional del sector, alcanzando longitudes que van desde los 30 a los 120 centímetros de longitud, dependiendo la especie que este habitándola (Martelo y Lara, 2012).

6.11 Sólidos en suspensión

Según Murillo (2009) nos manifiesta que los sólidos suspendidos son toda aquella sustancia o partícula que se encuentra flotando en el agua, son usados como indicadores de calidad del agua, su presencia depende en que tan turbia se encuentre el agua, puede ser removida por procesos simples como es la filtración con la implementación de un filtro estándar.

Al momento de realizar la medición de los SST existen variedades de métodos como el colorímetro, espectrofotómetro y métodos gravimétricos.