

Uso de plantas en el tratamiento de aguas residuales, especies y efectividad: Una revisión bibliográfica

Use of plants in wastewater treatment: species and effectiveness — A literature review

Luis Adolfo Alvarenga Aguilar

Maestro en Gerencia y Gestión Ambiental
Docente Tiempo Completo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de El Salvador, El Salvador
Email: luis.alvarenga@catolica.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4823-3084>
Fecha de recepción: 07-01-2025 **Fecha de aceptación:** 12-06-2025



Resumen

El agua es un recurso de importancia vital para los seres vivos, se le ha dado múltiples usos, siendo algunos en procesos donde la carga de contaminantes es tal, que ya no se puede utilizar sin un tratamiento de manera que se vuelve un residuo. Las aguas residuales para ser utilizables nuevamente se someten a un tratamiento para disminuir o eliminar estos contaminantes orgánicos e inorgánicos, una de estas medidas de tratamiento es la fitorremediación, donde se utilizan las características de las plantas para absorber contaminantes orgánicos e inorgánicos, para identificar estas plantas se usó artículos localizados en la base de conocimiento Dimensions, obteniendo luego de una revisión bibliográfica que los métodos de fitorremediación más utilizados son la fitoacumulación y la rizofiltración, y en menor medida los métodos de fitodegradación, fitoestabilización, fitovolatilización y fitoinmovilización, también se encontró que las familias más utilizadas son la salvinaceae y la poaceae, seguido de cerca de la Araceae y pontederiaceae. Las plantas proporcionan un campo de investigación en el tratamiento de aguas residuales aún amplio, ya que hay especies de las que se conoce su alta efectividad en la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos más hay otras de las que aún se puede experimentar.

Palabras clave: Fitorremediación, Aguas residuales, Metales pesados, Acumulación biológica, Botánica aplicada, Contaminación orgánica

Abstract

Water is a vital resource for living beings and has multiple uses, some of which involve contaminant loads so high that the water cannot be used again without treatment, effectively becoming a waste. Wastewater is treated to reduce or eliminate these organic and inorganic contaminants. One such treatment method is phytoremediation, which utilizes the characteristics of plants to absorb organic and inorganic pollutants. To identify these plants, articles located in the Dimensions knowledge database were reviewed. The bibliographic review revealed that the most commonly used phytoremediation methods are phytoaccumulation and rhizofiltration, with lesser use of phytodegradation, phytostabilization, phytovolatilization, and phytoimmobilization. It was also found that the most frequently used plant families are Salvinaceae and Poaceae, followed closely by Araceae and Pontederiaceae. Plants represent a broad field of research in wastewater treatment, as there are species known to be highly effective in removing organic and inorganic contaminants, while other species still offer potential for experimental investigation.

Keywords: Phytoremediation, Wastewater, Heavy Metals, Biological Accumulation, Applied Botany, Organic Pollution

1. Introducción

El agua es un recurso importante para la vida en el planeta, y se debe aprovechar óptimamente, sin embargo, también se le da usos de manera que acarrearán la contaminación producida en diferentes procesos, por lo que para devolverla a un estado que genere poco impacto, se debe realizar un tratamiento de mejora en su calidad.

Las aguas residuales son aquellas que han sido utilizadas en procesos productivos para el ser humano y que, con tratamiento, pueden ser reutilizadas, si llegasen a cumplir con los parámetros indicados de salubridad (RAE, s.f.).

En cuanto a los métodos de tratamiento de aguas residuales, este artículo se enfocará en el uso que se le puede dar a la vegetación.

Las plantas, por su naturaleza, necesitan de agua, sustrato, sol y aire para su supervivencia (Porcel, 2020) y precisamente por su necesidad de agua, se puede utilizar para el tratamiento de aguas residuales, ya que, según cada especie, puede manejar diferentes tipos de contaminantes, estos métodos de tratamiento son conocidos como fitorremediación.

Según Delgadillo *et al*, 2011 La fitorremediación es realizada por la planta por medio de 6 procesos, fitoestabilización, fitovolatilización, fitoinmovilización, fitodegradación, fitoextracción también llamada fitoacumulación y rizofiltración.

- Fitodegradación es el uso de las plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes de origen orgánicos e inorgánicos.
- Fitoacumulación se trata de que los contaminantes inorgánicos quedan atrapados en la estructura de la planta y con el paso del tiempo se van acumulando hasta un límite biológico incluso llegando a presentar síntomas de intoxicación.
- Rizofiltración es cuando hay contaminantes orgánicos o inorgánicos disueltos en el agua, y que por medio de las raíces, éstos se absorben y adsorben, quedándose atrapados principalmente en las estructuras de los rizomas.
- Fitoimmobilización es el proceso donde las estructuras de las plantas, principalmente el sistema de raíces, evitan o disminuyen el movimiento de contaminantes orgánicos o inorgánicos, si además de retener a los contaminantes, se fijan a la rizosfera, se precipitan o adsorben los contaminantes, esta especialización se llama rizoestabilización.
- Fitovolatilización, es el proceso mediante el cual las plantas, cuando absorben agua, absorben compuestos orgánicos e inorgánicos que llegan hasta las hojas, para luego evaporarse o volatilizarse.

Dada la creciente necesidad de tener mayor disposición del recurso hídrico y a la amplia diversidad de especies vegetales de las que se tiene registro, mantener una actualización de las plantas con capacidades fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales, es una necesidad, ya que permite tener una mayor disponibilidad para cada situación específica de contaminación, además el crecimiento de la vegetación tiene un doble propósito

ya que, además de fitorremediar el estado de contaminación de las aguas, permite generar #biomasa, que según el tipo de acción de remediación puede permitir darles uso como combustible, composta o como fuente de alimentación animal cuando mantenga un nivel seguro para la salud del ganado.

El objetivo general de esta investigación bibliográfica fue conocer el uso de plantas en el tratamiento de aguas residuales; identificando para ello las especies vegetales utilizadas en la fitorremediación de aguas residuales. Considerando, además, la efectividad de las capacidades de las plantas en el tratamiento de aguas residuales

2. Desarrollo

Para el desarrollo de esta investigación, principalmente se hizo uso de la base de datos de Dimensions, utilizando las palabras clave "phytoremediation" y "waste water" seleccionando para la búsqueda únicamente artículos que contuviesen estas palabras clave en el título o en el resumen, obteniendo 193 resultados. Los metadatos de estos artículos fueron descargados en extensión XLSX para ser procesado con la hoja de cálculo proporcionado por el software ofimático de OnlyOffice, se hizo uso de esta suite debido a la facilidad de traducción integrada con la que cuenta. De los metadatos se seleccionaron principalmente los campos de autores, año, título, resumen, DOI, palabras clave, tipo de acceso, tipo de publicación, número de citas, objetivos de desarrollo sostenible. En la base de datos ya organizada se depuró a los artículos con datos faltantes en el resumen.

Se seleccionaron artículos que tratan aguas residuales sin considerar como motivo de descarte el origen del agua residual o el país donde se realizó. Luego de la lectura de los resúmenes de artículos y de artículos completos de acceso abierto se realizaron dos tablas principales con los títulos de especie, familia, sugerido nombre común, país del estudio, contaminante tratado, proceso de fitorremediación utilizado y los resultados del estudio; posterior a estas tablas se realizaron otras tablas sintetizando información.

Para el tratamiento de aguas por metales pesados se conoce de las siguientes especies (ver tabla 1).

Tabla 1

Especies de plantas utilizadas para tratamiento de metales pesados

Especie	Familia	Nombre común	País del estudio	Contaminante tratado	Proceso de fitorremediación	Resultados
Arundo donax	Poaceae	Caña común	Pakistán	Arsénico (As)	Fitoextracción	Remoción de al menos el 15% del contaminante en tratamiento de 600µg/L
Azolla caroliniana	Salviniaceae	Azolla/Helecho de agua	India	Metales pesados, Cr, Pb, Cu, Ni.	Fitoacumulación	Secuestro de metales en mg de metal por Kg de planta. 175, 538, 86, 753. Y en factor de bioacumulación de 1.7, 18.6, 1.8, 11
Azolla filiculoides	Salviniaceae	Helecho lentejita/ flor del pato	Chile/Israel	Cd, Cu, Pb	Fitoextracción	Más de 1000µg por cada Kg
Azolla pinnata	Salviniaceae	Helecho mosquito	India/Nigeria	Hg, Cd	Fitoextracción	Cd y Hg, decrecieron entre un 70 a 94%
Brassica juncea L	Brassicaceae	Mostaza de la india/ china	Yemen	Pb, Cd, Ni, Zn, Cu	Fitoacumulación	Acumulación en raíces de Pb, Cd, Ni en 54, 24.8 y 42.3 ppm. En tallos 250.6 ppm de Zn. 35.6 ppm de Cu en frutos. Reduciendo Pb, Cd, Ni, Zn y Cu en 45%, 56%, 73%, 79% respectivamente.
Canna indica	Cannaceae	Cañacoro	India	F	Fitoacumulación	Removido el 95% de fluoruro
Ceratophyllum demersum	Ceratophyllaceae	Cola de Zorro de agua	Egipto	Cr, Pb	Fitoacumulación	Removido el 95% de plomo y 84% de cromo

Chrysopogon zizanioides	Poaceae	Vetiver	India	Cr	Fitoacumulación	Cr removido en 92.25%, 90.5%, 85% en concentraciones respectivas de 50, 100, 200 mg/Kg
Cyperus alternifolius	Cyperaceae	Falso papiro/paragüitas	India	F	Fitoacumulación	Removido el 65% de fluoruro
Eichhornia crassipes	Pontederiaceae	Lirio acuático/Jacinto de agua	India, Nigeria	As, Hg, Ni, Pb, Zn, Cu, Ag	Fitoacumulación	Se acumularon entre 26 y 327 mg/Kg
Eichornia crassipes	Pontederiaceae	Jacinto de Agua	Filipinas	P	Fitoacumulación	Reducción significativa de fósforo (en conjunto a Azolla pinnata)
Eichornia crassipes	Pontederiaceae	Jacinto de agua	India	Cr, Pb	Fitoacumulación, rizofiltración	Remoción de Cr y Pb, además de BOD, COD, TDS. Es un método económico para tratar agua de tintorería
Eleocharis acicularis	Cyperaceae	Junquillo	Japón	Cu, Zn, As, Cd, Pb	Fitoextracción	Removido más del 90% de metales pesados
Helianthus annuus	Asteraceae	Girasol	Pakistán	Ni, Pb	Fitoextracción	Removido más del 50%. 17mg/Kg
Hydrilla verticillata	Hydrocharitaceae	Barbona	India/China	F, As, otros metales pesados	Fitoacumulación, fitodegradación	Removido un máximo del 24.4% a 2.5 PPM
Ipomoea aquatica	Convolvulaceae	Espinaca de agua/Cancón	Irán, Sri Lank	Pb, Cr	Rizofiltración	El mayor BCF (4179.07) se registró en tejido de la raíz a 0.63 mg/L. Más del 90% de Cr(VI) secuestrado en hojas y tallos sin mostrar signos de toxicidad
Iris pseudo-corus	Iridaceae	Lirio Amarillo	España	Cr, Zn	Rizofiltración	59.97 mg de cromo y 25.64 mg de cinc en las raíces
Juncus effusus	Juncaceae	Junco de esteras	China	Pb	Fitodegradación	Concentraciones de más de 2000 mg/Kg en raíces

Lemna gibba	Araceae	Lenteja de agua	Alemania	U, As	Fitoextracción	Acumulación de 500 mg/Kg en el tejido de la planta
Lemna minor	Araceae	Lenteja de agua común	Pakistán, Irán	Metales pesados en efluentes contaminados	Fitoacumulación	Reducción considerable en cada metal
Lepironia articulata	Cyperaceae	Juncia gris	EEUU	Pb	Rizofiltración	Más de 500 mg/Kg en raíces con BCF de 217
Lolium perenne	Poaceae	Ballica/raigrás inglés	Francia	Cr	Fitoestabilización	Altas acumulaciones en raíces de más de 2000 DW/ μ g
Ludwigia stolonifera*	Onagraceae	Primula de agua	Egipto	Cd, Ni, Zn, Pb	Fitoestabilización	Interacción positiva entre bioacumulación y factor de traslocación
Mentha aquatica	Lamiaceae	Menta de agua	Líbano	Ni	Rizofiltración	Acumulación de 8327 mg/Kg, principalmente en tejidos de la raíz
Myriophyllum aquaticum	Haloragaceae	Cola de zorro de agua/milenrama brasileña	Italia	Cd, Cr, Ni, Zn	Fitoacumulación	Altas acumulaciones en tejido, más de 500 μ g/g DW
Myriophyllum elatinooides	Haloragaceae	Loroma hembra	China	B	Fitoacumulación	Acumulación máxima de 1296.5 y 350.7 mg/Kg en brotes y raíces respectivamente
Myriophyllum triphyllum	Haloragaceae	Milenrama de agua	Turquía	Cd	Fitoacumulación	Acumulación de 17.03 μ g/g de cadmio
Nelumbo nucifer	Nelumbonaceae	loto sagrado	India	Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn	Fitoextracción	Acumulación de metales de más de 340 PPM
Oenanthe javanica	Apiaceae	Pereril japonés/Apio chino	EEUU	Hg	Fitoacumulación	Remediado más de 1 mg/Kg con BCF de 807
Phragmites australis	Poaceae	Carrizo	Arabia Saudí, Dinamarca	Cd, Pb, Ni	Rizofiltración	Más de 3 mg/Kg, esto es alta concentración.

Phragmites karka	Poaceae	Carrizo	Indonesia	Hg	Fitoacumulación	1.5 Kg de P. Karka, puede absorber 90.74% de mercurio
Phyllostachys edulis	Poaceae	Bambú moso/de invierno	Hungría	Cu, Zn, Cd, Pb	Fitoacumulación, rizofiltración	Es capaz de absorber estos metales pesados, mas sería limitado en países frios como Hungría.
Pistia stratiotes	Araceae	Lechuga de agua	EEUU, India	Cd, Cu, Fe, Hg	Fitoextracción, rizofiltración	En las raíces se acumuló más de 10 mg/Kg de cadmio y de 1 a 15 mg/Kg el cobre, hierro y mercurio
Plantago major	Plantaginaceae	Llantén mayor	Suiza	Pb	Rizofiltración	Más de 20 mg/Kg de plomo en las raíces
Potamogeton natans	Potamogetonaceae	Espiga de agua	Suecia	Zn, Cu, Cd, Pb	Rizofiltración	Máxima acumulación en raíces
Preris vittata	Pteridaceae	Helecho chino	EEUU	As	Fitoacumulación	Se redujo la concentración de arsénico en un 98.6%
Salvinia biloba	Salviniaceae	Helecho de agua/Acordeón de agua	Brasil	Pb	Fitoextracción	Removido más del 90% de plomo
Salvinia minima	Salviniaceae	Lentejuela acuática	México	Pb, As	Fitoacumulación	Más de 34 mg/Kg en plomo y 0.5 mg/g de arsénico
Salvinia molesta	Salviniaceae	Salvinia molesta/Oreja de ratón	Brasil	As	Fitoacumulación	Acumulado el arsénico en las hojas, 148.63 µg/g
Salvinia natans	Salviniaceae	Helecho nadador	India	Zn, Cu, Ni, Cr	Fitoacumulación	Alta remoción, más del 50% de cada metal
Spirodela polyrrhiza	Araceae	Lenteja de agua	Japón	As	Fitoacumulación	Acumulación de 0.35 µmol/g de arsenato y de 7.6 nmol/g para ácido dimetilarsínico
Trapa natans	Lythraceae	Castaña de agua	India	Metales pesados en aguas residuales	Fitoacumulación	Los metales se movieron hasta las hojas, la mayor concentración estaba en las raíces

Typha domingensis	Typhaceae	Tule/Espadaña	Egipto, Brasil	P, Na, K, Zn, Hg	Fitoextracción	Fósforo, sodio, potasio, reducido en un 80%, cinc reducido en 10% y removido del 99.6 ± 0.4% del mercurio
Typha latifolia	Typhaceae	Tule/Espadaña	Italia	Cu, Zn	Fitoextracción	Alta acumulación de cinc, más de 55mg/Kg en tejido de raíz
Vallisneria natans	Hydrocharitaceae	Pasto de cinta	China	As	Rizofiltración	Alta acumulación en raíz de arsénico tetraivalente 200 mg/Kg
Wolffia globosa	Araceae	Hojuelas de agua	China, Tailandia	As, Cd, Cr	Fitoacumulación	Acumulado más de 1000 mg/Kg de arsénico, 5931 µg/g de cadmio y 3500 µg/g de cromo
Zea mays	Poaceae	Maíz	Kenia	Pb, Cd, Cu, Zn	Rizofiltración, fitoacumulación	Absorbe estos metales, especialmente cobre y en mejor eficiencia si la concentración es menor a 960, 800, 40 y 20 mg/L de Pb, Cd, Cu, Zn, respectivamente

*El nombre de *Ludwigia stolonifera* fue remitido a *Ludwigia adscendens*

Tabla 2
Especies de plantas utilizadas para tratar otros contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos

Especie	Familia	Nombre común	País de estudio	Contaminante tratado	Proceso de fitorremediación	Resultados
<i>Alternanthera sessilis</i>	Amaranthaceae	Hierba del perico	India	TS, TDS, TSS, COD, BOD ₅ , cloruro, dureza	Fitoacumulación, fitodegradación	En conjunto a un filtro de arena y grava se redujo TS 78%, TDS 83%, TSS 38%, COD 65%, BOD ₅ , cloruro 44%, dureza 57%. El filtro sin plantas redujo: TS 50%, TDS 50%, TSS 29%, COD 27, dureza 57%, cloruro 26%, BOD ₅ 27%.
<i>Armoracia rusticana</i> L	Brassicaceae	Mostaza romana, rábano picante/silvestre	Alemania	Paracetamol, diclofenac	Rizofiltración, fitodegradación	En la raíz se metabolizó 18% de paracetamol, 64% de paracetamol glucosido, 17% de paracetamol-glutatin, 1% de conjugado de cisteina. Puede metabolizar diclofenaco, transformándolo en hidroxilado (4'-OH-diclofenac), en segunda fase se conjugó con un glucopirranósido.
<i>Azolla filiculoides</i>	Salviniaceae	Helecho lentejita/ flor del pato	Zimbabwe	Fosfatos	Fitoacumulación	Absorbió 62% de fosfatos, redujo alcalinidad de 10.93 a 8.9
<i>Azolla pinnata</i>	Salviniaceae	Azolla	Filipinas	Amonio-N	Fitoacumulación	Reducción del amonio.
<i>Chara Vulgaris</i>	Characeae	Cara común	India	Efluentes tóxicos textiles	Fitoextracción	Reducción de TDS en 68%, COD 78%, BOD 82%, EC 86%
<i>Chrysoption zizanioides</i> L.	Poaceae	Vetiver	Indonesia	TSS, COD, NH ₃ , TAN, PO ₄ ³⁻	Rizofiltración, fitoacumulación	Reducción de contaminantes TSS 58.51%, COD 70.07%, NH ₃ 96.16%, TAN 63.7%, PO ₄ ³⁻ 53.9%. Además DGR* 0.019 ± 0.003 cm/día
<i>Echinodorus palifolius</i>	Alismataceae	Espada mexicana/ Jazmín de agua	Indonesia	COD, BOD	Rizofiltración, fitoacumulación	Reducción teórica, BOD 1 Kg, COD 0.5 Kg
<i>Eichhornia crassipes</i>	Pontederiaceae	Jacinto de agua	Indonesia	Aguas residuales de fabricación de Tempeh	Rizofiltración	Reducción de turbidez 85.03%, TSS 66.44%, COD 59.11%, BOD 77.91%, N 61.77%

<i>Eichhornia crassipes</i>	Pontederiaceae	Jacinto de agua	India	Turbidez de agua residual de pro- ductos lácteos	Rizofiltración, Fito- acumulación	Removido 75% de turbidez
<i>Eichhornia crassipes</i>	Pontederiaceae	Jacinto de agua	India	Fenol, cianuro	Rizofiltración, fito- acumulación	Eliminación de 96.42% de fenol (300 mg/L), eliminación de 92.66% de cianuro (30 mg/L) en 13 días con pH 8.
<i>Hordeum vul- gare</i>	Poaceae	Cebada	Alemania	Diclofenaco	Rizofiltración, fito- degradación	Puede absorber diclofenaco y formar un metabolito hidroxilado (4'-OH-di- clofenac), luego se conjugó con un gluco- piranosido.
<i>Hydrilla verti- cillata</i>	Hydrocharita- ceae	Tomillo de agua	Sri Lanka	pH	Fitoacumulación, fitodepuración	Mayor participación en cambiar el pH de alcalino a neutral.
<i>Ipomoea aquati- ca</i> Forsk	Convolvulaceae	Cancón	Indonesia	TSS, COD, NH ₃ , TAN, PO ₄ ³⁻	Rizofiltración, fito- acumulación	Reducción de contaminantes, TSS 45.38%, COD 40.37%, NH ₃ 88.79%, TAN 66.96%, PO ₄ ³⁻ 38.38% Además DGR 0.012 ± 0.006 cm/día
<i>Lemma</i>	Araceae	Lenteja de agua	India	Turbidez de agua residual de pro- ductos lácteos	Fitoacumulación	Removido el 54% de turbidez
<i>Phragmites australis</i>	Poaceae	Carrizo	Alemania	Metformina	Rizofiltración, fito- degradación	La metformina es absorbida por las raíces y puede trasladarse hacia otras regiones de la planta.
<i>Phragmites australis</i>	Poaceae	Carrizo	Omán	Hidrocarburos de petróleo, trazas de fenoles, emul- sificantes y un amplio rango de metales	Fitoextracción, fitoestabilización, rizofiltración, fito- volatilización	Remoción entre 40 y 78% de Al, Ba, Cr, Cu, Zn. Remoción arriba del 40% para Fe, Li, Mn, Pb, As, Cd, Co, Mo, Ni, Se, Ti, V. Turbidez y BOD reducido 96% en 3 años de operación. Retenido entre 36 ± 9% y 43 ± 13% de aceite como peso de la planta. Hidrocarburos trasladados 10 mg/Kg aproximadamente.
<i>Pistia Stratiotes</i>	Araceae	Lechuga de agua	Indonesia	Contaminantes venenosos en agua de produc- ción de tofu	Fitoacumulación, rizofiltración	Se llegó a reducir el contaminante encon- centraciones del 25% como óptima.

Pistia Stratiotes	Araceae	Lechuga de agua	Indonesia	COD	Fitoacumulación, fitoestabilización	En reducción de COD, la cobertura debe ser del 75%
Salix Matsudana	Salicaceae	Sauce tortuoso	China	Fenol	Fitodegradación, fitoacumulación,	Puede usarse para reducir el fenol entre 87 y 98% en 10 días si la concentración es menor a 150 mg/L
Salvinia molesta	Salviniaceae	Salvinia gigante	Sri Lanka	COD, nitratos, fosfatos proveniente de agua residual de textiles.	Rizofiltración, fitoacumulación	Hubo reducción de nitratos, fosfatos, TSS, además de absorción de Cd, Ni, Zn.
Sorghum arundinaceum	Poaceae	Sorgo, maicillo	Nigeria/Vietnam	Ca, Mg, K, nitrato, Pb	Rizofiltración, fitoacumulación	Reducción de Ca 12.3%, Mg, 18.1%, K 30%, nitrato 98.02%, Pb 95.24%
Trachyspermum ammi	Apiaceae	Ajowán/Ajwán	India	Tintes: Rojo Congo (RC), Azul Metileno (AM).	Fitoextracción	Descolorió un máximo de 99% AM y 95% de RC.
Typha latifolia	Typhaceae	Tule, espadaña	Alemania	Metformina	Rizofiltración, fitodegradación	La metformina es tomada por las raíces y puede trasladarse a otras partes de la planta.
Typha Orientalis	Typhaceae	Tifa, tule, espadaña	Nigeria/Vietnam	Na, Fe, Fosfato, turbidez, BOD	Rizofiltración, fitoacumulación	Reducción de turbidez 73.3%, Na 74.68%, Fe 98.12%, fosfato 94.11%, BOD 97.62%

*Daily Grow Rate

Nuevo conocimiento

En consideración a la información obtenida luego de la revisión bibliográfica que permitió la composición de las tablas 1 y 2, se realizó un conteo del método de fitorremediación utilizado en cada caso, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Método de fitorremediación utilizado en cada estudio

Método de fitorremediación	Repeticiones en tabla	Porcentaje
Fitoacumulación	55	57.29%
Rizofiltración	27	28.13%
Fitodegradación	8	8.33%
Fitoestabilización	4	4.17%
Fitodepuración	1	1.04%
Fitovolatilización	1	1.04%
	96	100%

El proceso de fitorremediación más utilizado es el de fitoacumulación, seguido de la rizofiltración, debe notarse que ambos métodos tienen el mismo principio de acumular los contaminantes en el cuerpo de las plantas, con la diferencia de que en la rizofiltración se acumula principalmente en las estructuras de la raíz, mientras que al decir fitoacumulación se refiere a otras partes de la planta. La fitodepuración es una técnica combinada de filtración y degradación.

Luego se procedió a realizar un conteo de las familias de plantas utilizadas en estudios, cuyos resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Familias de plantas más utilizadas en procesos de fitorremediación

Familia	Veces que se repite la familia	Porcentaje
Poaceae	12	16.90%
Salviniaceae	10	14.08%
Araceae	8	11.27%
Pontederiaceae	6	8.45%
Typhaceae	4	5.63%
Cyperaceae	3	4.23%
Haloragaceae	3	4.23%
Hydrocharitaceae	3	4.23%
Apiaceae	2	2.82%
Brassicaceae	2	2.82%
Convolvulaceae	2	2.82%
Alismataceae	1	1.41%

Amaranthaceae	1	1.41%
Asteraceae	1	1.41%
Cannaceae	1	1.41%
Ceratophyllaceae	1	1.41%
Characeae	1	1.41%
Iridaceae	1	1.41%
Juncaceae	1	1.41%
Lamiaceae	1	1.41%
Lythraceae	1	1.41%
Nelumbonaceae	1	1.41%
Onagraceae	1	1.41%
Plantaginaceae	1	1.41%
Potamogetonaceae	1	1.41%
Pteridaceae	1	1.41%
Salicaceae	1	1.41%
	71	100%

Se ha identificado que las principales familias utilizadas en fitorremediación son la poaceae, que es de plantas que habitan en terrenos de alta humedad o a orillas de cuerpos de agua, más necesitan de un sustrato terrestre, mientras que la familia salvinaceae son acuáticas.

Se propone el concepto de "botánica aplicada a la fitorremediación", para proporcionar un nuevo campo de investigación, donde se pueda depositar el conocimiento biológico de la vegetación en el tratamiento de contaminantes, ya sea de aguas o para contaminantes en el suelo o en el aire.

3. Conclusiones

Se logró conocer de manera efectiva el uso de plantas terrestres, semiacuáticas y acuáticas en

el tratamiento de aguas residuales, tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.

Se pudo identificar las especies vegetales utilizadas en la fitorremediación de aguas residuales por diversos métodos siendo el más común la fitoacumulación y el menos común la fitovolatilización.

Se considera que las plantas, según la familia taxonómica a la que pertenezcan, son un método efectivo como medida de pretratamiento de aguas residuales, así también se podrían incorporar durante el proceso de tratamiento e incluso como postratamiento, dado que algunas especies son capaces de tratar contaminantes como fármacos que no reciben la adecuada depuración con tratamientos comunes.

4. Referencias

Acero, L (2019) Phytoremediation of Phosphorous and Ammonia with *Eichhornia crassipes* and *Azolla pinnata* in Waste Waters from Estero de San Miguel Mendiola Manila Philippines DOI: 10.1051/e3sconf/20199302004

- Arivoli, A.; Sathiamoorthi, T.; Satheeshkumar, M. (2017) Treatment of Textile Effluent by Phytoremediation with the Aquatic Plants: *Alternanthera sessilis* DOI: 10.1007/978-3-319-48439-6_15
- Bhutiani, R., Khanna, D., Tyagi, V., Ahamad, F. (2015) Removal of turbidity in diary waste water throug aquatic macrophytes. DOI: 10.29121/granthaalayah.v3.i9se.2015.3201
- Cui, H., Hense B., Müller J., Schröder P. (2015) Short term uptake and transport process for metformin in roots of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.04.072
- Delgado C., Madariaga A., Fernández J., Islas M., Oza G., Iqbal H., Sharma A. (2021) Advances and Applications of Water Phytoremediation: A Potential Biotechnological Approach for the Treatment of Heavy Metals from Contaminated Water DOI: 10.3390/ijerph18105215
- Delgadillo A., González A., Prieto F., Villagómez J., Acevedo O. (2011) Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. ISSN: 1870-0462 https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002
- Denney, D. (2006) Reed-Bed Technology for Treating Oil- Production Water in the Sultanate of Oman DOI: 10.2118/1206-0047-jpt
- Dewi, U., Santoso, S. y Proklamasiningsih, E. (2022) Phytoremediation using pumice wood (*Pistia stratiotes*) to reduce COD levels in textile wastewater DOI: 10.20884/1.bioe.2021.3.2.4375, título original: Fitorremediasi menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes*) untuk menurunkan kadar cod limbah cair tekstil
- Fadhillah, W. Purba, E. y Elfiati, D. (2018) Utilization of water hyacinth plants (*eichornia crassipes*), jasmine water (*echinodorus paleaefolius*) and apu wood (*pistiastratiotes*) on decreasing level of liquid waste poisonous of tofu DOI: 10.24114/jcrs.v1i2.9333
- Huber C., Bartha B., Harpaintner R., Schröder P. (2009) Metabolism of acetaminophen (paracetamol) in plants—two independent pathways result in the formation of a glutathione and a glucose conjugate. DOI: 10.1007/s11356-008-0095-z
- Huber C., Bartha B., Harpaintner R., Schröder P. (2012) Metabolism of diclofenac in plants – Hydroxylation is followed by glucose conjugation. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.10.023
- Isworo S., Fitriani N. (2020) The phytoremediation of *Echinodorus palaefolius* (Water Jasmine) in reducing BOD and COD of liquid waste - Batik Industry "X" in Pekalongan DOI: 10.30574/gscbps.2020.12.3.0303
- Jasem, H., Al Shiaa, S. (2022) Adsorption of Chromium (VI) from Aqueous Solution Using Phytoremediation DOI: 10.14704/nq.2022.20.3.nq22061

- Kaur, N. y Kaushal, J. (2022) Screening the six plant species for phytoremediation of synthetic textile dye waste water DOI: 10.1016/j.matpr.2022.08.512
- Mahajan P., Kaushal J., Upmanyu A., Bhatti J. (2019) Assessment of Phytoremediation potential of *Chara vulgaris* to Treat Toxic Pollutants of Textile Effluent. DOI: 10.1155/2019/8351272
- Matsa, M. Dube, T. y Mupepi, O. (2024) Effectiveness of phytoremediation in waste-water treatment: a case of Karoi water supply station, Zimbabwe DOI: 10.1007/s13762-024-06107-4
- Nathan, O., Njeri, K., Rang'ondi, O. y Sarima, C. (2012) The potential of *Zea mays*, *Commelina bengelensis*, *Helianthus annuus* and *Amaranthus hybridus* for phytoremediation of waste water DOI: 10.4136/ambi-agua.684
- Ni'mah, L., Anshari, M., Saputra, H., Rahmadi, A., y Fitriati, U. (2019) Utilization of Parupuk Plants (*Phragmites Karka*) To Reduce Mercury Levels In Waters Former Of Diamond And Golden Mining DOI: 10.1051/mateconf/201928005012
- Novita E., Hermawan A., Wahyuningsih S. (2019) Comparison of phytoremediation processes of liquid waste from tempeh production using three types of aquatic plants. DOI: 10.19184/j-agt.v13i01.8000 Título original: Komparasi proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan tiga jenis tanaman air
- Panneerselvam, B. y Shunmuga P. (2021) Phytoremediation potential of water hyacinth in heavy metal removal in chromium and lead contaminated water DOI: 10.1080/03067319.2021.1901896
- Péter G., Csaba G. y Nemen A. (2022) Potential use of bamboo in the phytoremediation in of heavy metals: A review DOI: 10.34101/actaagrar/1/10311
- Porcel R. (2020) Eso no estaba en mi libro de botánica. Almuzara ISBN: 978-8417547271
- Pillai, S., Girija, N., Williams, G. y Koshy, M. (2013) Impact of organic manure on the phytoremediation potential of *Vetiveria zizanioides* in chromium-contaminated soil DOI: 10.1080/02757540.2012.744829
- RAE (s.f). aguas residuales. _Diccionario Panhispánico Del Español Jurídico - Real Academia Española_. <https://dpej.rae.es/lema/aguas-residuales>
- Rahmawan A., Effendi H., Suprihatin S. (2019) Potential of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L.) and kale (*Ipomoea aquatica* Forsk.) as phytoremediation agents for wood industry waste DOI: 10.29244/jpsl.9.4.904-919 Título original: Potensi rumput vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) dan kangkung (*Ipomoea aquatica* Forsk.) sebagai agen fitoremediasi limbah industri kayu

- Seun-Olade, O., Olanipekun, A. y Olatunde, S. (2018) Municipal Runoff Remediation Using *Typha orientalis* and *Sorghum arundinaceum* DOI: 10.3923/jest.2019.47.54
- Singh, N., Balomajumder, C. (2021) Phytoremediation potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for phenol and cyanide elimination from synthetic/simulated wastewater DOI: 10.1007/s13201-021-01472-8
- Tahish A. (2013) Phytoremediation of heavy metals contaminated soil using *Brassica juncea* (L.) in bany el- hareth, sana'a- Yemen DOI: 10.21608/jpp.2013.74174
- Wickramasinghe S., Jayawardana C. (2018) Potential of aquatic macrophytes *eichhornia crassipes*, *pistia stratiotes* and *salvinia molesta* in phytoremediation of textile wastewater DOI: 10.15544/jws.2018.001
- Zhao, T., Han, K., Zhe, W., Xie, H. (2020) Phytoremediation of Waste Water Containing Phenol by *Salix Matsudana* Seedlings and their Physiological Response DOI: 10.12974/2311-858x.2020.08.6