

LAS PLANTAS: ¿EL FUTURO DE LOS RÍOS? PLANTS: THE FUTURE OF RIVERS?

Adfernee López-Velásquez¹, J. Víctor Tamariz Flores^{1, 2}, Sandra Itzel Aguilar Jiménez¹ y Rosalía Castelán Vega^{*1,2}

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

1Posgrado en Ciencias Ambientales

2Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas

14 Sur 6301, C. P. 72592, Colonia Jardines de San Manuel, Puebla, Puebla, México

Correos electrónicos: adfernee.lopezve@alumno.buap.mx, jose.tamariz@correo.buap.mx, sandra.aguilarjim@alumno.buap.mx, rosalia.castelan@correo.buap.mx,.

Resumen

La elevada contaminación de los ecosistemas ha impulsado la investigación en el desarrollo de tecnologías alternativas que se basan en el empleo de plantas para remover, degradar o inmovilizar los contaminantes presentes en el suelo, el agua e incluso el aire; esta rama de la ciencia es conocida como Fitorremediación. Las plantas susceptibles para ser utilizadas en la fitorremediación deben tener ciertas características como: rápida tasa de crecimiento, elevada productividad, fácilmente cultivable y tolerante a altas concentraciones de contaminantes. Durante la fitorremediación las plantas establecen relaciones simbióticas con microorganismos asociados que colaboran en el efecto rizosférico, mejorando su supervivencia y los procesos de captura, transporte, metabolismo y acumulación de los contaminantes; a algunas especies se les denominada hiperacumuladoras, por su capacidad de inmovilizar elevadas concentraciones de compuestos tóxicos. Los cuerpos de agua de México, especialmente los lagos, lagunas y embalses, se encuentran extremadamente contaminados debido a la falta de tratamientos previos a la disposición final del agua utilizada en diversos procesos, el empleo de esta biotecnología es una alternativa viable para su recuperación. Las ventajas de la fitorremediación sobre los métodos convencionales son que puede ser aplicada in situ y ex situ, es eficiente para la extracción de contaminantes orgánicos e inorgánicos, no requiere consumo de energía y es de bajo costo. La fitorremediación es una tecnología ambiental de gran potencial para México; sin embargo, es importante impulsar investigaciones sobre especies potencialmente útiles, interacciones planta-microorganismos rizosféricos, procesos enzimáticos y establecimiento de humedales.

Palabras clave: Biorremediación, contaminación, hiperacumuladoras, agua.

Abstract

High contamination of ecosystems has prompted research in the development of alternative technologies based on the use of plants to remove, degrade or immobilize contaminants present in soil, water and even air; this branch of science is known as phytoremediation. Susceptible plants to be used in phytoremediation must have certain characteristics such as: fast growth rate, high productivity, easily cultivated and tolerant to high concentrations of contaminants. During phytoremediation, plants establish symbiotic relationships with associated microorganisms that collaborate in the rhizospheric effect, improving their survival and the processes of capture, transport, metabolism and accumulation of pollutants; some species are called hyperaccumulators because of their capacity to immobilize high concentrations of toxic compounds. Mexico's water bodies, especially lakes, lagoons and reservoirs, are extremely polluted due to the lack of treatment prior to the final disposal of water used in various processes; the use of this biotechnology is a viable alternative for their recovery. The advantages of phytoremediation over conventional methods are that it can be applied in situ and ex situ, it is efficient for the extraction of organic and inorganic contaminants, does not require energy consumption and is low cost. Phytoremediation is an environmental technology with great potential for Mexico; however, it is important to promote research on potentially useful species, rhizospheric plant-microorganism interactions, enzymatic processes and wetland establishment.

Keywords: Bioremediation, contamination, hyperaccumulators, water.

INTRODUCCIÓN

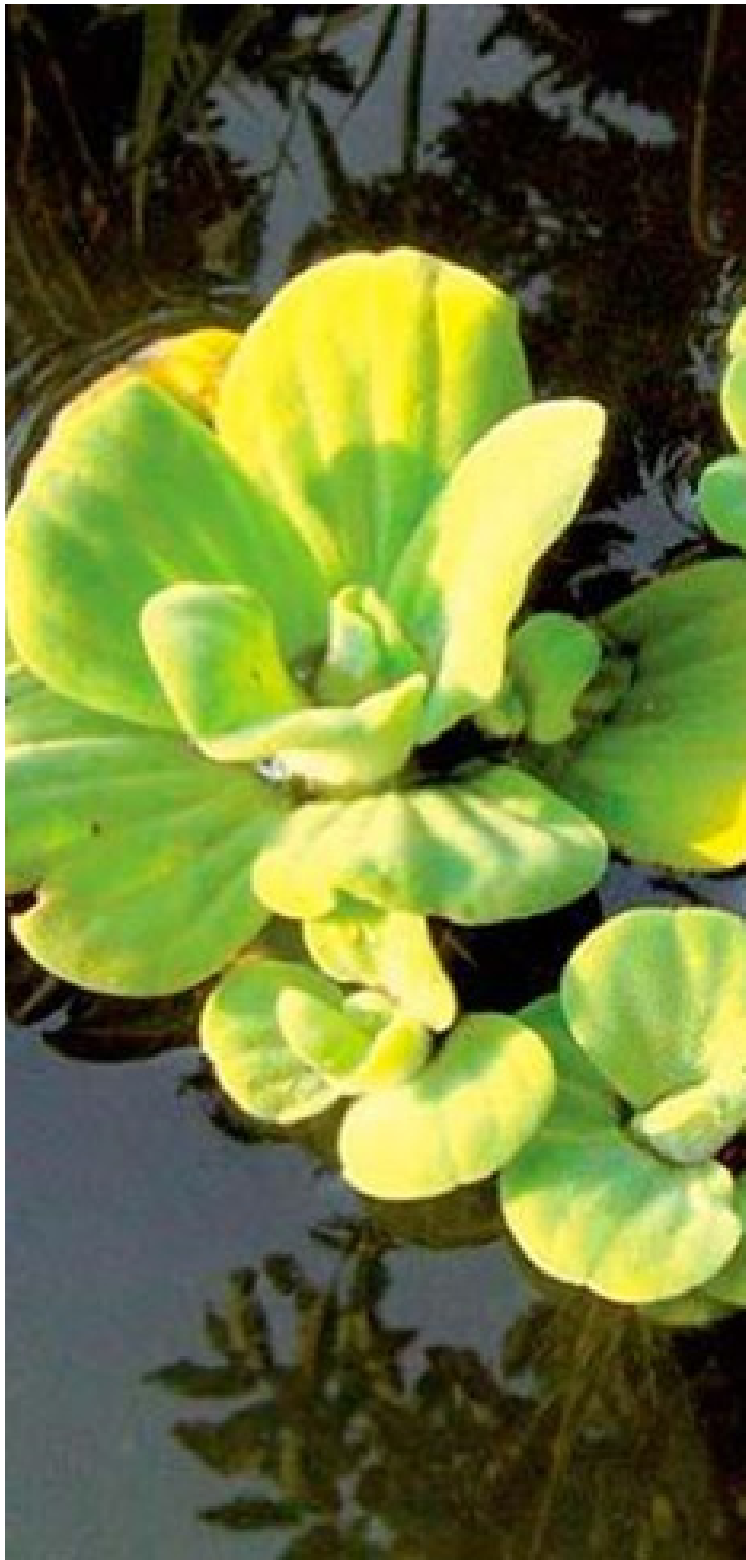


Figura 1. Pistia stratiotes, empelada para extraer metales pesados. Imagen tomada de greentech.es (2021)

Las plantas han comenzado a tener una relevancia significativa en el tema de restaurar los ambientes contaminados en muchas partes del mundo, llegando a considerarse como una solución económica, social y ecológicamente viable. El término adecuado para referirse a este tipo de tecnología es fitorremediación, el cual hace alusión a la utilización de plantas vasculares con la finalidad de depurar ecosistemas con presencia de compuestos contaminantes. Para poder entender mejor este concepto se puede separar en dos partes; la primera fito o fita, que viene del griego que significa planta o vegetal y la segunda remediar (del latín remediare) que quiere decir poner remedio a algo con daño. Por lo tanto la palabra fitorremediación significa “remediar un daño por medio de plantas o vegetales” (Figura 1).

¿En qué consiste la fitorremediación?

La fitorremediación es un procedimiento que utiliza plantas para remover, reducir, transformar, degradar, volatilizar o incluso estabilizar contaminantes que se encuentren ya sea en agua, aire o suelo (Delgadillo-López et al., 2011).

Dependiendo del grado de deterioro en el que se encuentre un ambiente o de los tipos de contaminante presentes en él, puede utilizarse alguno de los siguientes 6 métodos de fitorremediación (Nuñez et al., 2004) (Figura 2):

Rizofiltración. Se basa exclusivamente en hacer crecer en cultivos hidropónicos, raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial, para absorber, concentrar y precipitar metales pesados de aguas residuales contaminadas.

Fitoestabilización. Este tipo de estrategia utiliza plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes en el ambiente por medio de mecanismos de secuestro, lignificación o humidificación.

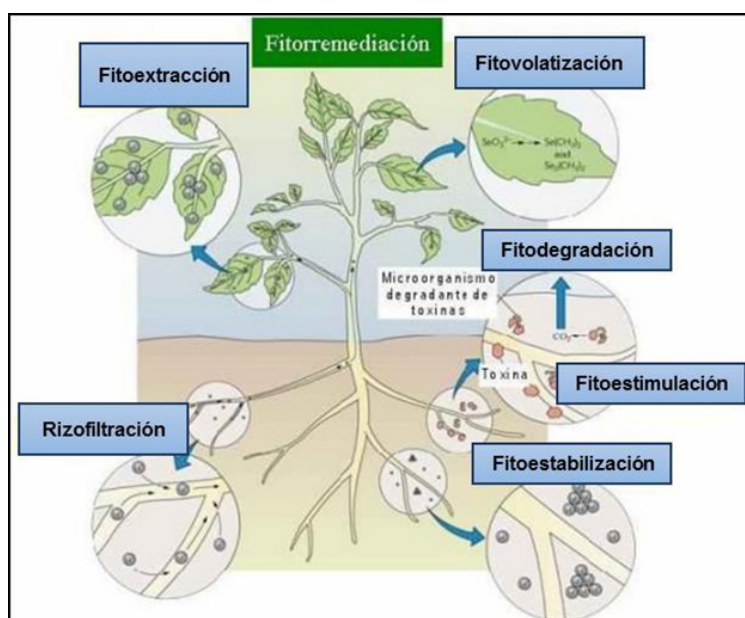


Figura 2. Métodos de fitorremediación. Imagen tomada de González, 2017.

Fitoimmobilización o Fitoestimulación. En este caso, los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos. Como parte de sus actividades metabólicas y fisiológicas, las plantas liberan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, y los transportan desde sus partes superiores hasta sus raíces, favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo circundante; particularmente hongos y bacterias, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes.

Fitodegradación. Se basa en el uso de plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), compuestos clorados, explosivos y surfactantes (detergentes).

Fitoextracción. En esta estrategia se aprovecha la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje, las cuales pueden ser fácilmente cosechadas. Los contaminantes extraídos son principalmente metales pesados, aunque también puede extraerse cierto tipo de contaminantes orgánicos e isótopos radiactivos.

Fitolatificación. Algunas plantas son capaces de volatilizar ciertos contaminantes, como

mercurio y selenio, contenidos en suelos, sedimentos o agua. Tales contaminantes son absorbidos, metabolizados, transportados desde su raíz a sus partes superiores y liberados a la atmósfera en formas volátiles, menos tóxicas o relativamente menos peligrosas en comparación con sus formas oxidadas.

Los tres primeros métodos son conocidos como de contención, es decir, su función principal es evitar que el agente contaminante que se encuentre presente no pueda seguir propagándose y quede capturado por las raíces de las plantas que se utilicen.

Los tres últimos métodos son los de eliminación; que como su nombre lo dice son aquellos que van a eliminar los contaminantes del medio donde se encuentre, logrando de esa manera su restauración. Cabe aclarar que no todos los métodos pueden remover los contaminantes que se encuentren presentes, en el caso de la fitoestabilización destaca su capacidad de eliminar tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos, es decir, mediante este método se pueden tratar descargas de aguas domésticas, agrícola o industriales.

¿Qué tipo de plantas

A lo largo de los años se han ido investigando las diferentes propiedades y funciones que tienen las plantas no sólo en los ecosistemas, sino para su posible uso en las actividades humanas, es por eso que se ha demostrado que algunas plantas tienen la capacidad de absorber, metabolizar (transformar), acumular y retener metales pesados y otros contaminantes (Garzón et al., 2017). Por lo tanto y, de acuerdo a Nuñez et al. en 2004, para tener un buen resultado de remoción de contaminantes, deben de tenerse en consideración los siguientes aspectos para su selección:

- * Soportar grandes cantidades de metales pesados.
- * Ser consideradas hiperacumuladoras.
- * Especies locales, representativas de la comunidad natural de la zona.
- * Rápido crecimiento y alta productividad.

Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Como casi cualquier tecnología que existe, la fitorremediación tiene sus pros y sus contras, debido a que su aplicación e investigación es muy reciente, aunque esto no desestima el potencial que pueda tener en el futuro.

Ventajas

- *Es una tecnología sustentable, es decir que no causa ningún daño adicional por utilizarlo.
- *Aplicable a ambientes que tengan de bajas a moderadas concentraciones de contaminantes.

se pueden utilizar?

- *Puede ser usada en agua, suelo o aire.
- *No requiere personal especializado para su manejo.
- *Bajo costo de implementación y mantenimiento.
- *Se pueden reciclar sus recursos (agua, biomasa, metales, etc.)
- *Debido a que proporciona un paisaje agradable a la vista tiene altas posibilidades de aceptación de las comunidades.

Desventajas

- * La utilización de árboles o arbustos son poco recomendados debido a la lentitud que implica en el proceso de fitorremediación.
- *No todas las plantas son tolerantes o hiperacumuladoras de contaminantes.
- *Se requieren áreas relativamente grandes para establecer los ensayos.
- *Su aplicación puede depender de las estaciones del año, debido a las condiciones de crecimiento de las plantas que se utilizan.
- *En ambientes acuáticos se favorece la presencia de mosquitos (considerados como plagas).
- *Los contaminantes que se acumulan en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente en otoño si se utilizan especies caducifolias.

Contaminación de los cuerpos de agua

La situación en México es bastante alarmante en lo que concierne al panorama hídrico, cerca del 80% de los cuerpos de agua del país cuentan con cierto grado de contaminación debido a las descargas de tipo industrial, agrícola, doméstico o minero; los contaminantes presentes pueden ser desde material orgánico, sólidos suspendidos y disueltos, hasta la presencia de metales pesados y los llamados contaminantes emergentes; en concentraciones que, en los casos más extremos, no permiten la vida acuática, mucho menos su uso para las diferentes actividades humanas (Denzin et al., 2017) (Figura 3).

Es por esto que la necesidad de encontrar alternativas viables para la recuperación de la calidad de los ríos y lagos de México y del mundo entero en la actualidad es una gran prioridad, por lo que la Fitorremediación se apunta como una alternativa viable vista en el futuro próximo para la recuperación de los ríos.



Figura 3. Contaminación en el río Atoyac, Puebla. Imagen tomada de agua.org.mx (2021)

SISTEMAS DE FITORREMEDIACIÓN ACUÁTICA en México

La investigación y el desarrollo tecnológico en fitorremediación acuática han llevado a que en la actualidad se registren cuatro tipos de sistemas de depuración:

Humedales construidos. Consisten en un complejo de sustratos saturados, vegetación emergente y submergente, animales y agua que simulan los humedales naturales.

Plantas acuáticas flotantes. Son estanques semiconstruidos o naturales, en donde se mantienen a las plantas flotantes de manera libre o con algún soporte, para tratar las aguas residuales.

Sistemas de tratamiento integral. Es una combinación de los dos sistemas antes mencionados.

Sistemas de rizofiltración. Estos sistemas remueven eficientemente fosfatos, nitratos, fenoles, pesticidas, metales pesados, compuestos radiactivos, fluoruros, bacterias y virus a través de las raíces de las plantas acuáticas.

Los tipos de plantas acuáticas empleadas en la fitorremediación se pueden clasificar en:

Emergentes. La raíz de estas plantas está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie del agua. Las estructuras reproductoras de la planta están en la porción aérea de la planta. Ejemplos: carrizo (*Phragmites communis*), platanillo (*Sagitaria latifolia*) y tule (*Thypha dominguensis*).

Flotantes: se subdividen en dos grupos:

a) Plantas de libre flotación (no fijas): sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes. Ejemplos: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna spp.* y *Salvinia minima*).

b) Plantas de hoja flotante (fijas): tienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua, pero sus raíces están fijas en los sedimentos. Ejemplo: nenúfares (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*).

c) Sumergidas: se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas. Sus órganos reproductores pueden presentarse sumergidos, emerger o quedar por encima de la superficie de agua. Ejemplos: bejuquillo (*Ceratophyllum demersum*).

Los primeros sistemas de tratamiento de aguas residuales a base de plantas se implementaron en los países europeos a principios de 1960, utilizando juncos o carrizos. Desde entonces, los sistemas de fitorremediación acuática se han perfeccionado y diversificado, y su aplicación cada vez es mayor. La fitorremediación acuática tiene la ventaja de que se pueden remover, in situ, diferentes tipos de metales que se encuentren con bajas concentraciones en grandes volúmenes de agua.

EL FUTURO DE LA FITORREMEDIACIÓN

Tal y como se están presentando las condiciones en esta crisis ambiental que todas las sociedades del mundo estamos padeciendo, el optar por tecnologías más eficientes, efectivas y ecológicas se ha vuelto una necesidad urgente.

Es evidente que el estilo de vida que se tiene no es más que una carga para la naturaleza, por eso utilizar métodos como la fitorremediación para limpiar los cuerpos de agua contaminados, recuperar suelos que debido a la producción agrícola son deteriorados en grados intolerables e inaceptables y mejorar la calidad del aire que todos respiran, es una opción muy atractiva, por lo que la fitorremediación se considera una tecnología que será perfeccionando y aplicando con mayor fuerza en el futuro próximo.

Es importante recalcar que aún hace falta más investigación para poder generar mejoras que permitan que pueda ser replicada esta fitotecnología en varias partes del mundo, es definitivamente un proceso un poco tardado pero sin duda alguna éste y otros métodos de restauración tienen un potencial muy grande para ser tecnologías óptimas para salvar la naturaleza.

REFERENCIAS

Brenda, Mónica. (2020). Plantas Hiperacumuladoras. <http://fitorremediacion-bm.mex.tl/>

Delgadillo-López, A.E., González-Ramírez, C.A., Prieto-García, F., Villagomez-Ibarra, J.R. y Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Revista Tropical and Suprotropical Agroecosystems*. 14(2), 597-612.

Denzin, C., Taboada, F. y Pacheco-Vega, R. (2017). El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. Friedrich-Ebert-Stiftung Proyecto Regional Transformación Social-Ecológica. 1ª ed. Ciudad de México. ISBN: 978-607-7833-86-4

Garzón, J.M., Rodríguez-Miranda, J.P. y Hernández-Gómez, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Revista Universidad y Salud*. 19(2), 309-318. <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171902.93>

González Lara, L. (2017). Fitorremediación para la extracción del colorante “azul de metileno” mediante el uso de *Eichhornia crassipes*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca]. México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67471/UAEM-FaPUR-TE-SIS-Lizabeth%20Lara%20Gonz%C3%A1lez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Isan, A. (24 noviembre 2017). Fitorremediación: plantas que limpian el suelo, agua o aire. *Ecología Verde*. <https://www.ecologiaverde.com/fitorremediacion-plantas-que-limpian-el-suelo-agua-o-aire-533.html>

Núñez López, R.A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R. y Olguín, E.J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Biotecnología y biología molecular*. 69-72.

Agricultureros Red de Especialistas en Agricultura. (5 agosto 2015). La fitorremediación: plantas para tratar la contaminación ambiental. <https://agricultureros.com/la-fitorremediacion-plantas-para-tratar-la-contaminacion-ambiental/>