

UNA MIRADA A LA FITORREMEDIACION EN LATINOAMERICA

JIMMY ANDRÉS LEÓN ROMERO.
Noviembre de 2017.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD-
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)
Especialización en Biotecnología Agraria

UNA MIRADA A LA FITORREMEDIACION EN LATINOAMERICA

Por

JIMMY ANDRÉS LEÓN ROMERO

Monografía para optar al título de
Especialista en Biotecnología Agraria

Asesor: JOSE CAMILO TORRES ROMERO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA-UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE
ECAPMA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA AGRARIA
ZIPAQUIRA, 2017

Contenido

INTRODUCCIÓN	9
Resumen	10
Abstract	11
1. Planteamiento del problema	12
2. Justificación	13
3. Objetivos	15
3.1 Objetivo general	15
3.2 Objetivos específicos	15
4. Marco Teórico	16
5. Marco conceptual	19
5.1 Fitorremediación:	19
5.2 Biorremediación:	19
5.3 Plantas biorremediadoras:	19
6. FITORREMEDIACION EN LATINOAMERICA	20
7. FITORREMEDIACION EN COLOMBIA	26
7.1 Mercurio	30
7.2 Plomo	33
7.3 Cromo	35
7.4 Hidrocarburos	37
8. Distintos aspectos fitorremediativos	38
8.1 Fitoextracción	38
8.2 Fitovolatilización	41
8.3 Fitodegradación	41
8.4 Rizofiltración	43
8.5 Fitoinmovilización	44
8.6 Fitoestabilización	44

9. Patrones de contaminación.....	46
9.1 Derivaciones de las actividades humanas	47
9.2 Dependiendo de sus propiedades, pueden ser:.....	47
9.3 Ejemplos de descontaminaciones exitosas por fitorremediación	47
10. Distintas especies de plantas hiperacumuladoras y Biorremediadoras.....	47
10.1 Acacia farnesiana	48
10.2 Anthyllis vulneraria	49
10.3 Azolla caroliniana.....	49
10.4 Bide leavis	50
10.5 Boutelova gracilis.....	51
10.6 Brassica júncea	51
10.7 Brassica napus	52
10.8 Brassica rapa.....	53
10.9 Cenchrus ciliaris	54
10.10 Dolichos lablab.....	55
10.11 Eichhornia crassipe	56
10.12 Helianthus annuus.....	57
10.13 Heliconia	58
10.14 Hongos Micorrízicos Arbusculares.....	59
10.15 Limnobiium laevigatum	60
10.16 Lupinus albus.....	61
10.17 Mentha aquatic	61
10.18 Myriophyllum aquaticum	62
10.19 Pistia stratiotes	63
10.20 Portulaca oleracea	64
10.21 Pteridium aquilinum.....	64
10.22 Schoenoplectus californicus.....	65
10.23 Sedum alfredii	66
10.24 Setaria verticillata L.....	67
10.25 Solanum nitidum.....	67
10.26 Thlaspi caerulescens.....	68

<i>10.27 Trifolium nigriscens</i>	69
<i>10.28 Urtica urens</i>	70
<i>10.29 Vertiveria zizanioides</i>	70
<i>10.30 Crysopogon zizanioides</i>	71
11. ¿Sirve en Colombia?	72
12. ¿Es una alternativa en Latinoamérica?	72
13. Proyecciones	73
14. Incorporación de la biorremediación en el ordenamiento jurídico colombiano.	74
Conclusiones	76
Bibliografía	77

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1. Uso de mercurio en Colombia.....	31
Tabla No. 2. Tipos de Fitorremediación.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Acacia farnesiana</i>	53
Figura 2. <i>Anthyllis vulneraria</i>	54
Figura 3. <i>Azolla caroliniana</i>	54
Figura 4. <i>Biden leavis</i>	55
Figura 5. <i>Boutelova gracilis</i>	56
Figura 6. <i>Brassica júncea</i>	56
Figura 7. <i>Brassica napus</i>	57
Figura 8. <i>Brassica rapa</i>	58
Figura 9. <i>Cenchrus ciliaris</i>	59
Figura 10. <i>Dolichos lablab</i>	60
Figura 11 <i>Eichhornia crassipe</i>	61
Figura 12. <i>Helianthus annuus</i>	62
Figura 13. <i>Heliconia</i>	63
Figura 14. <i>Hongos Micorrízicos Arbusculares</i>	64
Figura 15. <i>Limnobium laevigatum</i>	65
Figura 16. <i>Lupinus albus</i>	66
Figura 17. <i>Mentha aquatic</i>	66
Figura 18. <i>Myriophyllum aquaticum</i>	67
Figura 19. <i>Pistia stratiotes</i>	68
Figura 20. <i>Portulaca oleracea</i>	69
Figura 21. <i>Pteridium aquilinum</i>	70
Figura 22. <i>Schoenoplectus californicus</i>	71
Figura 23. <i>Sedum alfredii</i>	72
Figura 24. <i>Setaria verticillata L</i>	73
Figura 25. <i>Solanum nitidum</i>	73

Figura 26. <i>Thlaspi caerulescens</i>.....	74
Figura 27. <i>Trifolium nigriscens</i>.....	75
Figura 28. <i>Urtica urens</i>.....	76
Figura 29. <i>Vertiveria zizanioides</i>.....	76
Figura 30. <i>Crysopogon zizanioides</i>.....	77

INTRODUCCIÓN

Colombia exhibe una problemática en la contaminación de suelos y recursos hídricos debido a acumulación de residuos por manejo inadecuado de los recursos durante las dos últimas décadas, actualmente se han desarrollado estrategias biotecnológicas en el mundo que posibilitan una recuperación de los recursos conocida como Fitorremediación. Así entonces, mediante una revisión analítica bibliográfica es posible generar propuestas que brinden alternativas de manejo que tengan en cuenta las particularidades del país. En ese sentido, se hace pertinente proponer alternativas de solución para la recuperación utilizando fitorremediación para los recursos de suelo y agua en el contexto colombiano. A continuación, se presentan los avances más significativos que se encontraron al respecto, así como su análisis y discusión propositiva.

Resumen

Palabras Claves: Fitotecnologías, Plantas Fitorremediadoras, Metales Pesados, Contaminantes Orgánicos, Procesos.

El suelo es un sistema vivo en el cual suceden ciclos de pérdida y ganancia. Es reconocido como el elemento principal para el desarrollo y sostenimiento de la economía mundial y el funcionamiento del ecosistema, en este medio de vida se encuentran involucrados componentes ambientales tales como; el agua, el aire y la atmósfera los cuales contribuyen al equilibrio ecológico. Pero a través de los años se ha visto comprometido con todo tipo de contaminación en acciones provenientes por el hombre, así mismo se han logrado implementar distintas acciones y procesos para poder estabilizar, revertir y recuperar en parte a su estado original, la mayoría de estos procesos se dan por medio de una herramienta denominada fitorremediación.

La fitorremediación es una opción de gran viabilidad que es utilizada por medio de ciertas plantas con características especiales que pueden lograr metabolizar, volatilizar, acumular y absorber contaminantes presentes en suelos, aire y agua. De esta manera se puede lograr una restauración del sitio en tratamiento, nos ofrece una serie de distintos procedimientos tales como la Fitoestabilización, Fitoextracción, Fitodegradación, Fito filtración, Fitovolatilización, Fitorrestauración, Fito estimulación.

Se logra vislumbrar como esta herramienta se le ha podido dar un uso y como trascendencio a través de los años, su implementación y la mayoría de plantas que se lograron involucrar en los distintos procesos de fitorremediación.

Abstract

Key words: Phytotechnologies, Phytoremediation Plants , Heavy Metals, Organic Pollutants, Processes.

Soil is a living system in which cycles of loss and gain occur. Is recognized as the main element for the development and sustainability of the economy world and the functioning of the ecosystem, in this way of life they are involved environmental components such as; the water, the air and the atmosphere which contribute to ecological balance. But over the years he has been committed to contamination in actions taken by man, different actions and processes to stabilize, reverse part of its original state, most of these processes are a tool called phytoremediation.

Phytoremediation is a highly feasible option that is used by means of certain plants with special characteristics that can achieve metabolize, volatilize, accumulate and absorb contaminants present in soils, air and water. This way you can to achieve a restoration of the site under treatment, offers us a series of different procedures such as Phytostabilization, Phytoextraction, Phytodegradation, Phyto filtration, Phytovolatilization, Fitorrestauracion, Phyto stimulation.

It is possible to glimpse how this tool has been given a use and how transcendence over the years, its implementation and the majority of plants that were achieved involve in the different phytoremediation processes.

1. Delimitación del problema

Colombia exhibe una problemática en la contaminación de suelos y recursos hídricos debido a acumulación de residuos por manejo inadecuado de los recursos durante las dos últimas décadas, actualmente se han desarrollado estrategias biotecnológicas en el mundo que posibilitan una recuperación de los recursos conocida como Fitorremediación. Así entonces, Mediante una revisión analítica bibliográfica es posible generar propuestas que brinden alternativas de manejo que tengan en cuenta las particularidades del país.

2. Justificación

Cantidades de hectáreas se encuentran contaminadas por origen natural o antrópico a través de la utilización de cantidades de materiales tóxicos que deterioran los horizontes a lo largo y ancho de países latinoamericanos incluido el nuestro, dentro de los contaminantes allí presentes encontramos material xenobiótico derivado de la utilización plaguicidas en la agricultura rural, lo que ha generado deterioro en los suelos que se exponen a este tipo de contaminantes químicos y donde la legislación de los distintos países, las organizaciones ambientales no han prestado la atención que requiere este tipo de acciones, siendo una problemática que ocasiona daños irreversibles en ecosistemas y afecta la salud de sus habitantes.

En los últimos años se han adelantado en Colombia y en otros países algunas actividades relacionadas, entre las cuales se encuentra la prohibición de producción y uso de aldrín, dieldrín, endrin, mirex, toxafeno, hexaclorobenceno (HCB), DDT, heptacloro y clordano; se elaboraron inventarios de su existencia, estudios sobre sus posibles efectos en la salud y análisis socio-económico sobre la implementación del Convenio de 58 Revisión – Biodegradación de compuestos orgánicos persistentes (Arbeli, Z. 2009).

A partir de estos inventarios, actualmente se está desarrollando el Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo. La problemática a nivel Latinoamérica se ve muy relacionada con los sitios contaminados con estas sustancias la cual está muy ligada al uso intensivo de plaguicidas. El manejo inadecuado como consecuencia de la falta de conocimiento sobre su toxicidad y la carencia de normas y controles adecuados, puede conllevar a problemas de contaminación ambiental. En el campo agrícola grandes cantidades de plaguicidas se han tornado obsoletos, debido a la reducción del área sembrada de ciertos cultivos (por ejemplo, el caso del algodón), y a la prohibición del uso de algunos plaguicidas organoclorados. Estos plaguicidas fueron abandonados o enterrados, y posiblemente han

contaminados las áreas en donde se encuentran. No obstante, ningún país a podido determinar con suficiente rigor un inventario que incluya análisis químico de suelos, sedimentos o cuerpos de agua para la verificación de sitios sospechosos por contaminación de xenobióticos (Arbeli, Z. 2009).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Proponer alternativas de solución para la recuperación utilizando fitorremediación para los recursos de suelo y agua en el contexto colombiano mediante una revisión analítica bibliográfica.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar las aplicaciones que se le está dando a la fitorremediación para solucionar problemas de los recursos hídrico y suelo en el mundo.
- Identificar las aplicaciones que se le está dando a la fitorremediación para solucionar problemas de los recursos hídrico y suelo en Colombia.
- Proponer alternativas de solución de problemáticas nacionales.

4. Marco Teórico

Uno de los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente emisión al ambiente de sustancias contaminantes, destacando aquellas que proceden de las actividades industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas. Estos compuestos representan una amenaza para los seres vivos, por lo que se han desarrollado una serie de métodos para enmendar el impacto causado. Los métodos convencionales suelen ser costosos y pueden afectar de manera irreversible las propiedades del suelo, agua y de los seres vivos que en ellos habitan (Padmavathiamma y Li, 2007).

Por su naturaleza, los compuestos orgánicos persistentes son difíciles de degradar. La biodegradación, que para muchos contaminantes es el principal mecanismo de degradación. La dificultad de degradación se atribuye a su estructura química estable (gran tamaño molecular y alto número de cloros), a su carácter xenobiótico y a su baja biodisponibilidad, dada su baja solubilidad en agua y fuerte adsorción al suelo (Arbeli, Z. 2009).

Sus orígenes datan del siglo XVIII Joseph Priestley, Karl Scheele y Antoine Lavoisier demostraron que en presencia de luz las plantas son capaces de descontaminar la atmósfera. Más tarde en 1885, Baumann, un botánico alemán, encontró altas concentraciones de Zinc en las hojas de algunas plantas que crecían en lugares conteniendo cantidades elevadas de este metal. Sin embargo, no fue hasta los años 70 que se reconoció la habilidad de las plantas para limpiar aguas y suelos contaminados. Y así, en los años 90 surgió el concepto de fitorremediación (Reinoso Torres, D. P. 2016).

La biorremediación surge como una rama de la biotecnología que busca resolver los problemas de contaminación mediante el diseño de microorganismos capaces de degradar compuestos que provocan desequilibrios en el medio ambiente (Palomino Felices, S. H. 2014).

La biorremediación le da una ayuda al medio ambiente en la mejora de los ecosistemas dañados, acelerando dichos procesos naturales. Lo que hacen los microorganismos es degradar los desechos en productos menos tóxicos, además de concentrar e inmovilizar sustancias tóxicas, metales pesados; minimizar desechos industriales y rehabilitar áreas afectadas con diversos contaminantes (Mejía, R., Ayde, A., Vásquez, J. A., & Lugo González, A. 2012).

Las primeras observaciones de biorremediación fueron con el petróleo, después de algunos organoclorados y organofosforados; “se advirtió que los microorganismos no sólo eran patógenos, sino que además eran capaces de absorber compuestos orgánicos, algunos naturales, otros sintéticos, y degradarlos, lo que constituye el objetivo de la biorremediación” (sandoval del aguila, j. r. 2008).

El término genérico «fitorremediación» está constituido por un prefijo griego *phyto*, que significa planta, y un subfijo latino *remedium*, que significa eliminar algo pernicioso. La fitorremediación constituye una variación de las técnicas de biorremediación, pero se concreta en el «uso de plantas verdes y los microorganismos asociados a ellas, así como las enmiendas del suelo y técnicas agronómicas dirigidas a liberar, contener, o transformar en compuestos inocuos a los contaminantes del suelo (López Lafuente, A. 2009).

Inicialmente, el término de fitorremediación se asoció al uso potencial de especies hiperacumuladoras, plantas capaces de bioconcentrar niveles inusuales de metales en sus tejidos. La mayor parte de ellas están constituidas por pequeñas plantas herbáceas que se desarrollan en zonas metalúrgicas naturales o en depósitos mineros antiguos (López Lafuente, A. 2009).

A mediados del siglo XX se desarrollaron las primeras investigaciones encaminadas a estudiar el potencial de los microorganismos para biodegradar contaminantes. Este “uso”

intencionado recibió entonces el nombre de biorremediación (Gómez Ocampo, L. J., & Gómez Domínguez, M. P. 2015).

En la actualidad, las investigaciones en fitorremediación se encaminan no sólo al tratamiento de contaminantes inorgánicos (metales, metaloides, haluros y radionucleidos), sino también al tratamiento de contaminantes orgánicos (López Lafuente, A. 2009).

La fitorremediación comprende tanto los procesos dirigidos a liberar el contaminante de la matriz del suelo (descontaminación), como los encargados de secuestrarlos en dicha matriz (estabilización). La Fito descontaminación es el proceso por el cual la concentración de contaminantes del suelo se reduce a niveles tolerables a través de la acción de las plantas, su microflora asociada y de las técnicas agronómicas apropiadas. (López Lafuente, A. 2009).

El término fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire. Es un término relativamente nuevo, acuñado en 1991. De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes (Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olguín, E. 2004).

5. Marco conceptual

5.1 Fitorremediación: método donde se aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (García, F. P., & Sandoval, O. A. A. 2011).

5.2 Biorremediación: La biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas. Su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto cada uno de los estados de la materia (Glazer, A. N., & Nikaido, H. 1995).

5.3 Plantas biorremediadoras: En este proceso, las plantas son seleccionadas principalmente por su potencial fisiológico, como en el caso de enzimas presentes para tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por sus tasas de crecimiento, por la profundidad de sus raíces y su habilidad para bioacumular y/o degradar contaminantes. La vegetación con este tipo de características se conoce como plantas hiper-acumuladoras, por su capacidad de acumular uno o más elementos inorgánicos, a niveles cien veces más altos que el ambiente circundante y que otras especies creciendo bajo las mismas condiciones ambientales (Peña-Salamanca, E. J., Madera-Parra, C. A., Sánchez, J. M., & Medina-Vásquez, J. 2013).

6. FITORREMEDIACION EN LATINOAMERICA

Actualmente y a lo largo de muchos países latinoamericanos como México, Ecuador, Perú, Chile Bolivia y Colombia podemos evidenciar los distintos esfuerzos que se realizan para poder minimizar los daños ecológicos que se presentan en distintos campos laborales, la mayoría de estos daños son dadas por acciones antrópicas, son muchos años de investigación y trabajo donde se reflejan los grandes avances y el empeño en esta temática, que se han logrado representar estudios de mucho valor y peso con grandes aportes tecnológicos, pero falta bastante para lograr un trabajo conciso y beneficioso para los distintos entornos que están involucrados con la contaminación de muchas tierras y campos, a continuación, se dan apartes de las problemáticas en distintos países.

La generación de residuos peligrosos por parte de las actividades extractivas y de perforación que se depositaron a cielo abierto y que luego lograron filtrarse a suelos aledaños, fue una problemática que enfrente PEMEX, actualmente, se están llevando a cabo investigaciones para evaluar el potencial de diferentes microorganismos en la degradación de hidrocarburos tanto en suelo como en agua. Se han aislado actinomicetos de zonas contaminadas y probado su capacidad en sistemas de fitorremediación de petróleo crudo. La inoculación de algunas cepas de actinomicetos ha estimulado el crecimiento de *Dolichos lablab L. (Fabaceae)* en condiciones de contaminación con petróleo crudo, y la degradación de este contaminante en la rizósfera. Por otra parte, también se ha evaluado la capacidad de la simbiosis *Azolla-Anabaena* (sistema simbiótico fijador de nitrógeno atmosférico) para tolerar concentraciones de HPA y a la fecha, se cuenta con datos preliminares de su capacidad de adaptación a la presencia de fenantreno (Cerrato, R. F., Avelizapa, N. G. R., Varaldo, H. M. P., Alarcón, A., & Villanueva, R. O. C. 2006).

Durante la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo, los microorganismos asociados a la rizósfera y aquellos denominados como simbióticos obligados, representan una alternativa biológica para incrementar el potencial de remediación de los compuestos contaminantes. El aislamiento y selección, y posterior inoculación de los ecotipos microbianos mejor adaptados (bioaumentación) a contaminantes orgánicos es una excelente alternativa con bajo costo y nulos efectos ambientales. El entendimiento de la aplicación de fuentes inorgánicas u orgánicas de nutrimentos en la fitorremediación (bioestimulación), requiere de mayor estudio para poder crear protocolos de manejo que sean compatibles con aquellos protocolos de inoculación en plantas, con la finalidad de incrementar la eficiencia de la degradación de hidrocarburos del petróleo en el suelo. (Cerrato, R. F., Avelizapa, N. G. R., Varaldo, H. M. P., Alarcón, A., & Villanueva, R. O. C. 2006).

El objetivo de otra investigación en México, fue evaluar la capacidad de absorción de Cu por *Leucaena leucocephala* y el efecto en sus características agronómicas al inocularse con hongos endomicorrízicos arbusculares y *Rhizobium* como alternativa para la fitorremediación de suelos agrícolas contaminados. El trabajo se realizó en condiciones de invernadero en suelo contaminado por Cu proveniente de la parte alta de la cuenca del río Lerma, estado de México.

Arrojando unos resultados en el suelo estéril (control absoluto) con una concentración nativa de Cu (3 mg de Cu kg⁻¹ de suelo), la acumulación de este metal por la planta de *Leucaena* fue baja con un ligero incremento en su concentración hasta llegar a 1.5 mg kg⁻¹ en tallo y 0.75 mg kg⁻¹ en hojas.

Se observó que la acumulación de Cu en la hoja fue mayor de 60 a 90 días que de 90 a 180 días, indicando una acumulación máxima o de saturación, lo cual pudo deberse a una menor tasa de crecimiento de la planta en el período de 60 a 90 días, atribuible quizás a una menor disponibilidad de Cu en el suelo.

La dinámica de acumulación del Cu en tallo y hojas de las plantas de *Leucaena leucocephala* en suelo estéril, sin y con tratamientos adicionales de Cu, comparados con la dinámica de disminución del Cu en el suelo a través del tiempo.

En el suelo estéril tratado con 20 mg de Cu kg⁻¹ de suelo sin *Rhizobium* y sin micorriza la planta de *Leucaena* mostró mayor acumulación de Cu que en el suelo estéril sin tratar lográndose determinar que en la parte aérea, las hojas acumulan menor contenido de cobre que los tallos, lo cual disminuye en ambos órganos en especial en presencia de hongos micorrízicos y *Rhizobium* y que las dosis bajas de cobre estimulan el crecimiento de la planta de *Leucaena leucocephala*, pero las dosis altas causan un efecto tóxico (Gardezi, A. K., Barcelo-Quintal, I. D., Cetina-Alcalá, V. M., Bussy, A. L., Pérez-Nieto, J., & Borja-Salin, M. A. 2006).

En una investigación realizada con especies acuáticas flotantes en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua en Ecuador, con el propósito principal de evaluar estas especies fitorremediadoras de aguas, donde se presentaban descargas residuales industriales y de uso agrícola que lograron ser caracterizadas con anterioridad, consistió en la exposición de las distintas especies acuáticas flotantes. La evaluación consistió en la exposición de las distintas especies acuáticas flotantes: *Azolla* (*Azolla spp.*), Lenteja de agua (*Lemna spp.*), *Salvinia* (*Salvinia spp.*), Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y el Trébol de agua (*Limnobium laevigatum*) a las muestras de aguas residuales. Se analizó el porcentaje de incidencia de las muestras de agua en las especies acuáticas tomando datos semanales del número de hojas verdes. Y para la determinación del porcentaje de producción de biomasa se tomó datos semanales del peso seco y se determinó el mejor tratamiento con la utilización del programa estadístico Statgraphics y prueba de TUKEY al 95% de confianza. La eficacia fitorremediadora la demostraron las especies: lenteja de agua (*Lemna spp.*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), mediante los análisis realizados en el laboratorio de los parámetros físico químicos y microbiológicos antes, durante el proceso de fitorremediación, demostrando con esto que en el caso del agua residual industrial la especie que presentó

mejores resultados fue el Jacinto de agua y en el caso del agua residual de uso agrícola tanto la lenteja de agua (*Lemna spp.*) como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) dieron resultados muy similares, Luego del proceso de fitorremediación se seleccionó el mejor tratamiento desde el punto de vista de su viabilidad técnica y económica; esto está relacionado directamente a la especie que presentó mejores resultados en relación a la disminución de los parámetros físicos–químicos y microbiológicos, así como en lo relacionado a viabilidad económica la especie que presentó menos costos en lo relacionado a su adaptación y mantenimiento, el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el caso de agua residual industrial y la lenteja mayor de agua (*Lemna spp.*) y el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el caso del agua residual de uso agrícola (Poveda, O., & Abigail, R. 2014).

Como se logró establecer en este estudio la utilización de macrófitas acuáticas y se ofrece una alternativa de eficiencia para la remoción de contaminantes siendo una herramienta con una gran efectividad y económica, de esta manera se puede concluir que son de gran ayuda fitorremediadora para ecosistemas que se encuentren con niveles altos de contaminación.

En estudios realizados por el grupo de Jara-peña (2014) en la región de Lima, Perú. Se evaluaron veinte tratamientos con un diseño factorial completo 5 x 4: 5 especies alto andinas, y 4 sustratos con 30%, 60%,100% de relave de mina (RM) y suelo sin RM. La producción de biomasa disminuyó significativamente en *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata* y *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, con el tratamiento de 100% de relave de mina. La mayor eficiencia de acumulación de plomo y zinc fue obtenida en las raíces de *Fuertesimalva echinata* con el tratamiento de 100% de relave de mina, obteniendo 2015.1 mg de plomo kg-1 MS y 1024.2 mg de zinc kg-1 MS. En las raíces de *L. ballianus* fue obtenida la más alta acumulación de cadmio, con una concentración de 287.3 mg kg-1 MS con el tratamiento de 100% de relave de mina. *Fuertesimalva echinata* presentó el mayor

índice de tolerancia (IT) al tratamiento de 100% de relave de mina, con un IT de 41.5%, pero, *S. nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor IT al tratamiento de 60% de relave de mina con IT de 68.5% y 67.9 (Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. 2014).

En conclusión, *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, los mayores valores de acumulación de plomo y cadmio fueron obtenidas en las raíces, con el tratamiento de 100% RM debido al proceso de fitoestabilización. En *Fuertesimalva echinata* la más alta acumulación de plomo y de zinc fue obtenido en las raíces, con 2015.1 mg kg⁻¹ de materia seca (MS) y 1024.2 mg kg⁻¹ MS, respectivamente con el tratamiento de 100% RM. En *Lupinus ballianus* la más alta acumulación de cadmio fue obtenido en raíces con 287.3 mg kg⁻¹ MS con el tratamiento de 100% RM (Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. 2014).

Chile es un país cuyo principal ingreso económico proviene de la actividad minera, principalmente la minería del cobre. Chile es el principal productor y exportador de cobre, produciendo el 36% del cobre del mundo en el año 2003; también produce oro, plata, molibdeno y renio. Nuestro país es también uno de los principales productores del mundo de minerales industriales tales como nitrato de potasio y de sodio, yodo, sales de litio, borato, sal, entre otros (Fonseca, R., Díaz, C., Castillo, M., Candia, J. R., Truong, P., & Director, T. V. N.)

La mina *Lo Aguirre* fue la primera minera en el mundo en emplear el proceso de lixiviación para extraer Cobre desde el mineral. Para esto, el primer paso para la rehabilitación ambiental de la mina, es revegetar Depósitos de Estériles y Pilas de Lixiviación

para controlar la erosión hídrica y eólica. Sin embargo, debido a la elevada concentración de elementos, particularmente Cobre y Sulfatos, y bajo contenido de nutrientes, no se observa el establecimiento de especies endémicas sobre estos desechos (Fonseca, R., Díaz, C., Castillo, M., Candia, J. R., Truong, P., & Director, T. V. N.)

El Sistema del Pasto Vetiver (VGT) ha emergido como el más innovador, bajo costo y ambientalmente amigable de los métodos de fitorremediación de residuos de la actividad minera (Fonseca, R., Díaz, C., Castillo, M., Candia, J. R., Truong, P., & Director, T. V. N.)

Los resultados a la fecha son muy alentadores. El vetiver puede establecerse tanto en pilas de lixiviación como en tranques de relave con elevadas concentraciones de cobre, en dónde la parte aérea de esta planta ha crecido hasta 1.5m en sólo 6 meses desde su plantación (Fonseca, R., Díaz, C., Castillo, M., Candia, J. R., Truong, P., & Director, T. V. N.)

En los últimos años se ha visto una creciente preocupación por la generación de pasivos ambientales en Bolivia ocasionados por la producción y refinación del petróleo. Estas actividades generan efectos negativos en el ambiente y en la población expuesta. La investigación se centró en el análisis del riesgo de los pasivos ambientales generados por la refinería Gualberto Villarroel YPFB en las proximidades del Distrito 8 (zona Sur de Cochabamba) a fin de proponer medidas correctivas (García, F., Luizaga, V., Claudia, G., & Herbas, B.2016).

Se utiliza la especie de Totorá (subespecie *Schoenoplectus californicus*) que, además de eliminar los pasivos ambientales mejora visualmente la zona y la calidad del suelo. Logrando una eficiencia alta y los costos bajos de la aplicación hacen a esta técnica el más rentable en la época seca. De esta manera se aplicaron medidas de prevención, mitigación y remediación para su aplicación rápida y eficiente para evitar y/o minimizar los efectos de contaminación que se producen a corto y largo plazo, gracias a la implementación de sistemas

de fitorremediación en los canales de agua García, F., Luizaga, V., Claudia, G., & Herbas, B. (2016).

7. FITORREMEDIACION EN COLOMBIA

Desde hace muchos años en nuestro país se ve la necesidad de realizar estudios por medio de los cuales se han logrado generar alternativas de ayuda a los ecosistemas afectados, una herramienta de gran ayuda como la fitorremediación ha sido la clave en todas estas investigaciones, Todo esto se debe que en muchas zonas se encuentran explotaciones de minerales las cuales no cuentan con un buen manejo y a raíz de esto generan todo tipo de contaminación, alterando los equilibrios ecológicos de las zonas intervenidas y de paso generando problemas de salud en las comunidades aledañas.

En Colombia, uno de los flagelos es la explotación de oro en departamentos como Antioquia y el sur de Bolívar, un elemento muy usado en el beneficio es el Mercurio, el cual es liberado de manera indiscriminada a las fuentes de agua y suelos

De aquí surge el interés y la necesidad de colaborar con la naturaleza para revertir el efecto de los contaminantes en los ecosistemas colombianos y, debido a los problemas de salud humana que representa el contacto con suelos contaminados con metales pesados, se evalúan alternativas de tratamiento de estos mediante la extracción de los metales del suelo y su recuperación usando la fitorremediación (Ortega-Ortega, R. E., Beltrán-Herrera, J. D., & Marrugo-Negrete, J. L. 2011).

En una medición de múltiples muestras provenientes de la bahía de Cartagena y de la Ciénaga Grande de Santa Marta reportada en 2000, se detectaron niveles de mercurio elevados en el sedimento (94 a 10293 mg/kg y 20 a 109 mg/kg, respectivamente) (Sostenible, M. d. 2012).

Por otra parte, la ciénaga de Ayapel tiene un área aproximada de 25 mil hectáreas y es un sector acuífero receptor de aguas del río San Jorge y Caño Grande, así como del río Cauca; en esta región se practica minería aluvial de oro (Sostenible, M. d. 2012).

Lo anterior debido a su alto riesgo de contaminación industrial y agrícola y a la cercanía de diversas poblaciones que se abastecen con aguas del embalse de Muña, pobremente tratadas. Así mismo, el río Bogotá y sus cuencas han sido otra de las fuentes de agua en las cuales se ha centrado la atención de las autoridades ambientales. (Sostenible, M. d. 2012).

Un estudio publicado en 2009 reportó valores de plomo en agua de río Bogotá de 0.028 mg/L en promedio (Rodríguez, 2009), mientras que en el estudio de Arias en 2003 no se detectaron niveles por encima de los permitidos (0.01 mg/L) en esta zona. (Sostenible, M. d. 2012).

El cadmio es un subproducto de diferentes procesos industriales tales como la refinación de metales y fabricación de abonos, entre otros, en relación con el río Bogotá existen una serie de municipios y sectores aledaños que se surten de agua directamente del río, la cual emplean para sus labores domésticas en el hogar y para la preparación de alimentos. (Sostenible, M. d. 2012).

Se calcula que en el país existen 800 empresas con esta finalidad, dentro de las cuales los procesos de manipulación implican actividades artesanales, con pobre protección e inadecuada destinación de residuos, lo cual aumenta el riesgo de exposición directa e indirecta a cromo en el contexto ocupacional y paraocupacional. (Sostenible, M. d. 2012).

La contaminación de las aguas por arsénico ha sido detectada en la mayoría de los

países latinoamericanos, detectando niveles elevados de arsénico en agua principalmente en la cordillera de los Andes (Sostenible, M. d. 2012).

De acuerdo a la Encuesta Nacional de Calidad de Vida 2011, la población entre 16 y 45 años de edad es la que más se expone directamente a los plaguicidas, mientras que solo 7% de los menores de edad entre seis y 15 años se exponen, la exposición se incrementa en el grupo de 16 a 30 años (28%) y 31 a 45 (36%) años de edad; después de esta edad, la exposición se disminuye a 23% en el grupo de 46 a 60 años, y 6% entre mayores de 65 años de edad. (Sostenible, M. d. 2012).

El glifosato ha llamado especial atención en Colombia dado su uso en las acciones para erradicar los cultivos ilícitos, aunque también es usado en diversos cultivos entre los que sobresale el de la caña de azúcar. (Sostenible, M. d. 2012).

Se realizó un estudio fitorremediativo con lodos provenientes de plantas de tratamiento de vertimientos industriales en dos especies vegetales, procedentes del humedal Santa María del Lago ubicado en la ciudad de Bogotá (Colombia), con el fin de verificar la migración de contaminantes de interés sanitario tales como cianuro, fenol, cinc, níquel etc., hacia alguna zona de la planta. Para los ensayos de fitorremediación se utilizaron plantas acuáticas seleccionadas en cultivos in Vitro, adicionándoles cantidades conocidas de lodos con el fin de remover y contener los productos contaminantes presentes en él.

Se utilizaron dos especies vegetales, el *Biden leavis* (botoncillo flora amarilla) y *Pteridium aquilinum* (Cyttheatae), las cuales fueron seleccionadas después de un proceso de pre-experimentación que consistió en determinar el grado de adaptación de las especies *Lemna* (lenteja de agua), el *Scirpus californicus* (Junco), la subclase *Cyattheatae* (helecho), con la especie *Pteridium aquilinum*,; el *Biden leavis* (botoncillo flora amarilla) y *Typha*

latifolia (Tifa), provenientes del Humedal Santa María del Lago (Martínez, Y. P., & Ayala, R. R. B. 2011).

En un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia se evaluó, *in vitro*, la capacidad de acumulación de mercurio (Hg) que pueda poseer la caña flecha (*Gynerium sagittatum*) alternativa viable de ser implementada para la rehabilitación de suelos contaminados. La investigación en cultivos *in vitro* tiene potencial para el estudio práctico de los procesos y mecanismos implicados en la fitorremediación, se ha aplicado en numerosos estudios encaminados a identificar la capacidad de las células vegetales a tolerar, asimilar, desintoxicar, metabolizar, almacenar y eliminar productos formados de una amplia variedad de orgánicos y xenobióticos contaminantes, eliminando los efectos de la actividad microbiana y a su rápido crecimiento ya una vez establecidos, estos cultivos *in vitro* se pueden propagar de forma indefinida, se puede asegurar la estabilidad genética en los tejidos usados y están disponibles siempre que se requieran, garantizando la reproducibilidad de los resultados. La *Gynerium sagittatum* demostró ser una especie acumuladora de Hg en sus tejidos, siendo la raíz la parte de la planta que presenta mayor concentración, seguida de los tallos y sus hojas. La capacidad de acumulación en las raíces está relacionada con la concentración que se presente en el medio de cultivo, y la capacidad de acumulación en los tallos-hojas está relacionada con la capacidad de translocación del Hg a través de las raíces. Se pudo establecer que cuando las plantas de *Gynerium sagittatum* fueron sometidas a concentraciones elevadas de Hg, presentaron bajos porcentajes de clorosis y necrosis indicando pocos efectos fitotóxicos. Las altas tasas de acumulación de Hg del medio de cultivo en los tejidos de *Gynerium sagittatum* en 60 días de evaluación implican que esta especie tiene capacidad de remoción y un alto potencial para ser empleada en fitorremediación de suelos contaminados con Hg, debiendo realizar los respectivos estudios en condiciones *in vivo* (Ortega-Ortega, R. E., Beltrán-Herrera, J. D., & Marrugo-Negrete, J. L. 2011).

De esta manera la lista sigue desde hace muchos años, nuestros suelos y fuentes de

agua vienen siendo contaminados de manera indiscriminada y sin ningún control, los gobiernos de turno siempre hacen su mejor esfuerzo para mejorar y prevenir, y que se siga continuando con estas afectaciones que se llevan a cabo a diario contra los distintos ecosistemas de nuestro país, se ha generado una conciencia colectiva en las instituciones universitarias, sobre todo tipo de investigaciones para poder manejar y de alguna manera dar un control a todos estos elementos químicos que tanto daño hacen a las personas y a nuestro entorno, surgen estudios donde se pronuncian muchas generalidades y herramientas de apoyo fitorremediadoras y que ya se están poniendo en práctica en muchas partes de nuestro país.

7.1 Mercurio

El problema de la contaminación ambiental, ocasionado por la liberación intencional de mercurio, no es algo nuevo. Debido a la fiebre del oro, muchos ecosistemas empezaron a ser contaminados desde la época del descubrimiento de América. Expertos de universidades brasileñas afirman que el mercurio en la minería del oro viene siendo utilizado desde hace más de 450 años en la Américas En efecto, se estima que entre 1550 y 1880 cerca de 200 000 toneladas métricas de este metal fueron depositadas por colonizadores españoles tan solo en América del Sur. Actualmente, según datos del sitio web mercurywatch.com, Colombia es uno de los países del mundo que más contamina el planeta con mercurio, debido al uso irresponsable de este metal en la minería del oro. En el 2010, nuestro país ocupó el segundo lugar (75,0 Ton/año) después de China (444,5 Ton/año), y es, en efecto, el que más contaminante en América Latina (Díaz-Arriaga, F. A. 2014).

DEPARTAMENTO	PRODUCCIÓN DE ORO POR DEPARTAMENTO (kg)	USO DE MERCURIO (kg)
	2011	
Antioquia (*)	12.935,2	170.835
Bolívar	5.423,0	304.404
Caldas (**)	1.273,1	Sin cuantificar
Cauca	1.127,6	15.806
Chocó	27.915,1	195.406
Córdoba	69,2	443
Huila	30,1	436
Nariño	235,8	3.238
Putumayo	73,7	1.012
Risaralda	36,0	526
Santander	60,4	199
Tolima	268,9	3.843
Valle del Cauca	200,6	2.847

Tabla 1. Uso del Mercurio en Colombia.

Fuente: PNUMA y MADS (2012)

Por otro lado, según cifras del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO), en los últimos cinco años, prácticamente todo el oro producido en el país fue extraído en su orden de los siguientes departamentos: Antioquia (43,0 %), Chocó (37,0 %) Bolívar (8,0 %), Cauca (4,0 %), Caldas (3,0 %) y Nariño (2,0 %). Como era de esperarse, son estos mismos departamentos los que presentan un mayor grado de contaminación debido al uso de mercurio en la explotación minera (Díaz-Arriaga, F. A. 2014).

Por estas razones y poniendo en riesgo su salud y la de poblaciones enteras, se da la oportunidad de que este contaminante tenga una reducción en el ambiente por medio de un proceso de absorción donde se involucran plantas, se conoce que la familia *Brassicaceae*, de la cual hace parte la especie *Brassica nigra*, posee un alto poder para acumular metales pesados y considerable producción de biomasa, además de presentar alta velocidad de crecimiento y tolerancia ante dichos contaminantes. (Angelova & Ivanov, 2009).

Se han realizado estudios referentes a la acumulación de mercurio (Hg) en diferentes especies de plantas, y dadas las altas tasa de crecimiento y desarrollo de biomasa de la especie

Brassica juncea, lo que le otorga potencial de recuperación de metales pesados, se estudió la absorción de mercurio (Hg) en dos diferentes cultivos de *Brassica juncea*, para la utilización de dicha planta en la fitorremediación de suelos contaminados con mercurio (Hg) (Arenas Moya, S., & Hernández Caro, S. A. 2012)

En estudios realizados por distintas universidades se pudo concluir que la *Brassica juncea* es significativamente afectada por la toxicidad del mercurio (Hg), se reportaron las mayores concentraciones de mercurio (Hg) en hojas y raíces de las plantas, y además de una reducción considerable de la biomasa, se evidenciaron cambios a nivel estructural en las hojas (Arenas Moya, S., & Hernández Caro, S. A. 2012)

Las técnicas usadas es realizar dos ensayos donde las semillas de *Brassica nigra* se pusieron a germinar en dos sistemas, uno de ellos en suelo dopado a diferentes concentraciones del metal pesado denominado germinación (Arenas Moya & Hernández Caro, 2012).

El otro sistema fue en Turba, exenta de contaminantes, luego de la germinación de las semillas aproximadamente a los 28 días. Fueron trasplantados a los suelos dopados a diferentes concentraciones y se denominó Trasplante (Arenas Moya & Hernández Caro, 2012).

Se comprobó la acumulación de mercurio, por parte de la *Brassica nigra*, en plántulas tanto de germinación como de trasplante, se determinó una concentración máxima de 111 y 77 ppm de Hg en plántulas de germinación y trasplante, respectivamente (Arenas Moya & Hernández Caro, 2012).

Determinando entonces, que las plantas una vez retiradas conservan en sus tejidos y raíces contenidas de mercurio y cianuro, en proporción a su capacidad de absorción, debe ser

entonces considerado un residuo peligroso el cual debe tener un manejo de acuerdo a la legislación. Su disposición se deberá ejecutar en celdas de seguridad con un pretatamiento de encapsulamiento, este por los contenidos de metales que no se deben generar la oportunidad de liberar el contaminante nuevamente al suelo por la degradación de la planta (López Corrales, E. I. 2015).

7.2 Plomo

La contaminación del río Bogotá por los vertimientos de aguas residuales de los municipios de la cuenca ha sido un problema a resolver desde la primera mitad del siglo anterior. En el distrito de riego La Ramada que cubre un área bruta de 6.400 ha, los suelos están desarrollados principalmente sobre sedimentos aluviales finos del valle del río Bogotá en un 75% del área aproximadamente (Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G., & Zurita, J. 2011).

Los metales pesados están presentes naturalmente en los suelos, pero en los últimos años se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo (Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G., & Zurita, J. (2011).

En estudios realizados los resultados mostraron incrementos considerables en diversos sectores de la cuenca del río Bogotá. Para Pb, se cree que se puede establecer una medida de fitoestabilización, para este tipo de suelos con presencia de este metal pesado se pueden implementar sistemas como el de los *hongos micorrízicos arbusculares* son un componente natural de los suelos en la mayoría de los ecosistemas terrestres. Se sabe que más del 80 % de las plantas terrestres son capaces de presentar una asociación simbiótica con ellos y pueden ser considerados como una extensión de las raíces de las (Harrison 1999).

Las plantas con este tipo de sistemas radiculares pueden acumular una gran cantidad

de Pb en las raíces. Además, la presencia de HMA puede contribuir a una mayor inmovilización del metal. Entre las posibles estrategias de inmovilización de Pb por el hongo se encuentran: la inmovilización del Pb soluble mediante glicoproteínas secretadas por el hongo, la adsorción del Pb en las paredes celulares y la quelación de metales al interior de la hifa, siendo estas estrategias similares a las utilizadas por las plantas (Gaur y Andholeya 2004).

Por otro lado, es ampliamente conocido que los HMA pueden producir una gran cantidad de micelio externo. También es conocido que la pared celular de este micelio está compuesta mayormente por quitina y que este compuesto estructural provee una eficiente superficie para la adsorción de los metales pesados del suelo (Alvarado, c. j., Dasgupta-Schubert, n., Ambriz, e., Sánchez-Yañez, j. m., & Villegas, j. 2011).

En el caso de hongos micorrízicos arbusculares no se ha observado la acumulación de Pb en gránulos de polifosfato. Sin embargo, los HMA se caracterizan por adquirir una gran cantidad de fósforo y transportarlo de la solución del suelo al interior de la raíz en forma de polifosfato. Una vez que el polifosfato llega a los arbusculos, es liberado en la reacción de hidrólisis del polifosfato en las vacuolas de las células lo anterior refleja el gran potencial de los HMA con fines de Fito estabilización (Alvarado, c. j., Dasgupta-Schubert, n., Ambriz, e., Sánchez-Yañez, j. m., & Villegas, j. 2011).

También se debe tener en cuenta que el sistema es muy complejo y que el mecanismo no puede ser predicho de antemano, ya que cada sitio contaminado tiene sus características específicas, por lo que la elección de los genotipos de la planta y el hongo podrían determinar el comportamiento del sistema como Fito estabilizador o como fitoextractores (Alvarado, c. j., Dasgupta-Schubert, n., Ambriz, e., Sánchez-Yañez, j. m., & Villegas, j. 2011).

7.3 Cromo

La cuenca alta del río Bogotá está situada en la posición de Vega (plano de inundación), formando fajas estrechas de gran longitud, lo mismo que a lo largo de sus afluentes. Se extiende, en el norte, desde el Municipio de Villa pinzón hasta el páramo de Sumapaz al sur, en las inmediaciones del Salto de Tequendama (Lora Silva, R., & Bonilla Gutiérrez, H. 2010).

Se hace necesaria la remediación de estos suelos, por lo cual, en un trayecto entre Villapinzón y Bosa (Cundinamarca), se analizaron muestras de suelo de 0-20cm de profundidad, que mostraron un contenido de Cr, medio a alto, indicando contaminación (Lora Silva, R., & Bonilla Gutiérrez, H. 2010)

El objetivo de la investigación fue identificar especies de pastos tolerantes y no acumuladoras de metales pesados para ser utilizadas como especies Fito estabilizadoras de suelos contaminados con cromo (Lozano, A. G., & Calzada, R. T. 2011)

Especies evaluadas. *Cenchrus ciliaris* y *Setaria verticillata* se eligieron para ser evaluadas en este experimento por presentar mayores porcentajes de germinación, se utilizó suelo como sustrato con bajo contenido de metales pesados, fue colocado en macetas a razón de 12.5 kg, las macetas fueron regadas con agua purificada mediante ósmosis inversa, y se procedió a la siembra (Guzmán, H., & Jesús, F. 2013).

Se utilizó Cromo VI como agente contaminante. La adición del metal pesado al suelo se hizo en forma fraccionada, la primera fracción con una cuarta parte de la dosis final fue aplicada a los 4 días después de la siembra (dds), otra cuarta parte se aplicó a los 7 dds, y la última mitad se aplicó a los 10 días dds (Lozano, A. G., & Calzada, R. T. 2011).

Pastos germinados Las especies de pasto más abundantes fueron: *Cenchrus ciliaris* L.,

Setaria verticillata, *Eragrostis pilo* y *Boutelova gracilis*. Las especies *Cenchrus ciliaris L.* y *Setaria verticillata L.* tuvieron los mayores porcentajes de germinación (79% y 84%, respectivamente) en las diferentes pruebas frente a *Eragrostis pilosa* y *Buotelova gracilis* (8% y 9%, respectivamente), la última prueba de germinación en arena previo remojo de semillas fue la que mayores porcentajes de germinación presentó (Lozano, A. G., & Calzada, R. T. 2011).

El análisis de varianza muestra que los tratamientos de *Setaria verticilata L.* con concentraciones de 100 y 10 (mg kg⁻¹) y 200 y 0 (mg kg⁻¹) de Cromo VI tuvo un efecto significativo en la acumulación de Cr en raíz; sin embargo, la prueba de rangos múltiples de medias no detectó diferencias significativas entre tratamientos (Lozano, A. G., & Calzada, R. T. 2011).

La prueba de rango múltiple de medias arrojó que los tratamientos de *Cenchrus ciliaris L.* crecidos en concentraciones de 100 y 0, y 200 y 0 mg kg⁻¹ de Cromo VI y *Setaria verticillata L.* en concentraciones Cromo VI (mg kg⁻¹) de 100 y 10, 20 y 0, y 200 y 10, acumularon una cantidad estadísticamente mayor de Cromo VI en tejidos aéreos que el resto de los tratamientos (Lozano, A. G., & Calzada, R. T. 2011).

Existió efecto de interacción significativo de la concentración de Cr aéreo siendo estadísticamente más alta la acumulación al desarrollarse en sustrato con 200 mg kg⁻¹ de plomo. Sin existir diferencia significativa en la concentración de cromo en tejidos aéreos de las especies evaluadas (Lozano, A. G., & Calzada, R. T. 2011).

Las especies evaluadas en esta investigación pueden ser apta para realizar Fito estabilización de suelos. Se encontró que *Setaria verticilata L.* acumuló significativamente mayor cantidad de cromo en la raíz, y mayor concentración de cromo en tejidos aéreos que *Cenchrus ciliaris L.* (Lozano, A. G., & Calzada, R. T. 2011).

7.4 Hidrocarburos

Las plantas muestran una variación considerable de su tolerancia hacia los contaminantes orgánicos; dos son los mecanismos por los que las plantas pueden incrementar su resistencia a los contaminantes orgánicos. El primero de ellos consiste en la transformación de los elementos tóxicos en la rizosfera, para ello la planta libera más del 20% de su fotosintato dentro del suelo en forma de exudado radicular. El fotosintato liberado está constituido por una mezcla de azúcares, alcoholes, fenoles, ácidos orgánicos y proteínas que rápidamente son utilizados por las comunidades microbianas existentes en la rizosfera. Estas poblaciones pueden ser, de 100 a 10.000 veces mayores que las poblaciones presentes en la matriz del suelo, y se caracterizan por presentar enzimas específicos capaces de metabolizar los contaminantes orgánicos hacia formas menos tóxicas (Delgado, K. T., & Montoya, T. Z. 2009).

El segundo mecanismo se produce una vez que los contaminantes han atravesado el sistema radicular. En este caso, los elementos tóxicos pueden seguir dos vías de transformación, por un lado se trasladan hacia brotes y hojas para, posteriormente, volatilizarse, y por otro pueden sufrir procesos de metabolización hacia nuevas formas. Estos nuevos compuestos pueden mineralizarse o pueden acumularse como nutrientes o como nuevos contaminantes. La inclusión en órganos subcelulares y la formación de otros compuestos representan las principales vías para la desintoxicación de xenobióticos en plantas (Delgado, K. T., & Montoya, T. Z. 2009).

En las zonas de explotación y procesamiento del petróleo, son frecuentes los derrames de petróleo en suelos con pastizales, vegetación natural y algunos cultivos. Estos derrames son originados por la rotura de oleoductos, fugas de hidrocarburos en presas de los pozos, y descargas al ambiente en refinerías y otras instalaciones petroleras. Debido a que las acciones de restauración de suelos, por lo general no son inmediatas, los compuestos del petróleo

pueden ser diseminados por el flujo de agua superficial en las llanuras de inundación, o infiltrarse al manto freático, generándose problemas de contaminación de suelo, agua, flora y fauna, Además, varios hidrocarburos, especialmente los aromáticos policíclicos, son potencialmente carcinogénicos para el ser humano. Antes de adoptar alguna tecnología de biorremediación en el sitio contaminado, se requiere caracterizar la hidrogeología flujo de agua subterránea, las propiedades físicas y químicas pH, conductividad eléctrica, textura, carbono orgánico, N, P, K, Ca y Mg, el tipo y la concentración de hidrocarburos y su toxicidad en el suelo (De Tabasco, B. P. S. 2007).

La estabilización y retención de contaminantes en el suelo, teniendo dentro de esta técnica la humificación que consiste en la incorporación del contaminante al suelo para que entre en el proceso de formación del humus quedando en su forma menos disponible; la lignificación fija los tóxicos en las paredes de las células de las plantas. La retención se produce por la interacción del contaminante y la materia orgánica, así como con la fracción inorgánica del suelo en donde son fijados los contaminantes (De Tabasco, B. P. S. 2007).

8. Distintos aspectos fitorremediativos

8.1 Fitoextracción

Esta técnica se utiliza principalmente para la extracción de metales pesados y algunos orgánicos generalmente se utilizan plantas denominadas metalofitas o híper acumuladores, y se basa en retirar del suelo los elementos tóxicos, mediante su absorción y concentración en órganos colectables de la planta, que posteriormente se incineran o se convierten en biomasa (Carpena, 2007).) Según Landeros et al dentro de esta técnica se han empleado dos estrategias básicas; la Fitoextracción continua, perdurable a largo plazo, en la cual las plantas hiperacumuladoras, capturan en parte aérea concentraciones muy altas de metales; y la fitoextracción inducida, en la cual se adiciona al suelo un complejo que incrementa la solubilidad del contaminante en cuestión, elevando drásticamente su concentración y por

tanto su biodisponibilidad, lo que favorece la toma del metal por la raíz (Landeros, 2011).

Un estudio realizado con *Acacia farnesiana*, para evaluar la tasa de Fitoextracción de plomo ex situ, sometiendo la planta a tres concentraciones de plomo, para posteriormente determinar la tasa fotosintética y la concentración de plomo en órganos vegetales como raíz, tallo y hojas. Los factores de variación consistieron en tres concentraciones de plomo en el suelo (0, 250 y 500 mg·kg⁻¹) en forma de Pb (NO₃)₂ y fertilización nitrogenada en cuatro niveles (0, 100, 300 y 500 mg·kg⁻¹ de N) en forma de Fósfo-Nitrato (33-03-00). Los resultados arrojados muestran que, las dosis de nitrógeno y las concentraciones de plomo no produjeron diferencias significativas en la tasa fotosintética de las plantas. El tratamiento, en el que se aplicaron 500 ppm Pb y 500 ppm N fue en el que se detectó la máxima tasa de fotosíntesis. En cuanto a la acumulación de plomo en los órganos vegetales, tanto en hoja como en tallo, la mayor acumulación de plomo ocurrió cuando se aplicó la máxima concentración del metal en el sustrato (500 mg·kg⁻¹). Sin embargo, para la raíz en este mismo tratamiento se logró la mayor acumulación, pero no en valores iguales a los reportados en la parte aérea de la planta. Finalmente se concluye que teniendo en cuenta la concentración de plomo en el suelo, se logra una bioacumulación superior a la concentración del metal en el sustrato (Landeros, 2011).

Ortega et al. 2011 reporta un estudio de Fito acumulación realizado con *Gineryum sagittatum in vitro*, para suelos contaminados con mercurio. Las plantas cultivadas in-vitro fueron sometidas con 6 concentraciones diferentes de mercurio, se controlan variables ambientales y nutricionales, enfocando el estudio a determinar el valor total de mercurio en la planta. Los resultados muestran que la parte de la planta que presenta mayor acumulación es la raíz, seguida de los tallos-hojas, y dichos valores aumentaron en el tiempo. En conclusión, in vitro *Gineryum sagittatum* esta planta acumula Hg debido a las altas concentraciones en sus tejidos sin afectar la viabilidad de las plantas. La capacidad de acumulación en las raíces está relacionada con la concentración que se presente en el medio

de cultivo, y la capacidad de acumulación en los tallos-hojas está relacionada con la capacidad de translocación del metal.

Por otro lado, Madera et al, 2014, evalúa el efecto de las concentraciones de los metales pesados Hg⁺², Cd⁺², Cr⁺⁶, Pb⁺², en la respuesta fisiológica y acumulación de metales pesados de tres especies: *Colocasia esculenta*, *Heliconia psittacorum* y *Gynerium sagittatum*.

La respuesta fisiológica medida en términos de clorofila y potencial hídrico y acumulación de metales en términos de concentración, fueron medidos en tejidos de las plantas.

El estudio se realizó en la micro-estación de investigación de Biología, Universidad del Valle, en donde se estableció el modelo de humedales subsuperficiales de flujo horizontal (HCFSH) para el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario.

El potencial hídrico no difirió entre las especies, y la distribución de los metales pesados en los tejidos de las plantas decreció en el siguiente orden: raíz > hoja > tallo. *Colocasia* y en algunos casos *Heliconia*, mostraron mayor capacidad de eliminación de metales. El factor de translocación fue bajo en estas especies. *Heliconia* fue la especie que mostró mayor translocación para plomo seguido de Cr y Hg (II) y finalmente para Cd (II) y Cr (VI). Las plantas evaluadas demuestran potencialidad en fitorremediación de lixiviados y se pueden clasificar como acumuladores de estos metales pesados.

Se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables. Algunas plantas empleadas para esta técnica fitocorrectiva son: *Thlaspi caerulescens* (Cd); *Sedum alfredii*, *Viola baoshanensis* y *Vertiveria zizanioides* (Zn, Cd, Pb); *Alyssum murale*, *Trifolium nigriscens*, *Psychotria douarrei*, *Geissois pruinosa*, *Homalium guillainii*, *Hybanthus floribundus*,

Sebertia acuminata, *Stackhousia tryonii*, *Pimelea leptospermoides*, *Aeollanthus biformifolius* y *Haumaniastrum robertii* (Ni); *Brassica júncea*, *Helianthus annuus*, *Sesbania drummondii* (Pb); *Brassica napus* (Cu, Pb, Zn); y *Pistia stratiotes* (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) (Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. 2011).

8.2 Fitovolatilización

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. La transformación de dichos elementos se efectúa básicamente en la raíz, y su liberación se lleva a cabo durante la transpiración (López, R. A. N., Vong, Y. M., Borges, R. O., & Olguín, E. J.)

Se produce a medida que los árboles y otras plantas en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera. Mediante este proceso se han eliminado contaminantes como: compuestos orgánicos volátiles (benceno, nitrobenceno, tolueno, etilbenceno y *m*-xileno), As, Se y Hg. Las plantas *Salicornia bigelovii*, *Brassica júncea*, *Astragalus bisulcatus* y *Chara canescens* se han empleado para la remediación de sitios contaminados con Se y la *Arabidopsis thaliana* para el Hg (Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. 2011).

8.3 Fitodegradación

Una de las técnicas reconocidas en el campo, según Bernal Figueroa (2014), es el

proceso que implica la degradación, transformación parcial o completa de los contaminantes bajo la acción de reacciones enzimáticas realizadas por las plantas, de esta forma, los contaminantes degradados pueden ser incorporados en los tejidos y ser utilizados como nutrientes, o ser convertidos por procesos bioquímicos a productos menos dañinos.

Chandrawati, 2016 señala que la degradación externa ocurrida por la acción de enzimas es un importante proceso para el tratamiento de contaminantes que debido a su tamaño y complejidad no pueden ser tomados por las plantas, este proceso se puede establecer en ambientes libres, representando una ventaja sobre la Biodegradación (Chandrawati, 2016).

La Fitodegradación puede aplicarse en el tratamiento de contaminantes como plaguicidas, compuestos clorados, hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, entre otros, (Bernal Figueroa, 2014). En este contexto, Susarla *et al*, 2002, menciona algunas de las enzimas de mayor interés en esta técnica con el respectivo compuesto que transforman, destacando las peroxidasas utilizadas en la transformación de compuestos fenólicos, las nitroreductasas implementadas sobre compuestos nitrados, las nitrilasas dirigidas a compuestos aromáticos cianados, deshalogenasas usadas sobre compuestos clorados y finalmente las fosfatasas aplicadas en la transformación de pesticidas organofosforados. Así mismo. Chandrawati 2016 complementa este listado señalando enzimas como las *Peroxygenasas*, *N-malonyl transferasas*, *O-glucosyltransferasas* y *O-malonyltransferasas* implementadas en el tratamiento de xenobióticos, además de las Lacasas y Tirosinasas utilizadas sobre solventes clorados y compuestos fenólicos. Según Susarla *et al*, 2002, algunas de las plantas que contienen dichas enzimas y que pueden ser utilizadas en los procesos de Fitodegradación, incluyen la lenteja de agua (*Spirodela polyrhiza*) que contiene la enzima fosfatasa y la milhojas acuática (*Myriophyllum aquaticum*) aplicada entre otros usos para deshalogenar solventes clorados a través de la enzima

deshalogenasa.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el conjunto de aplicaciones de esta técnica sobresale el tratamiento de solventes clorados, los cuales son considerados uno de los mayores contaminantes de agua y suelo, debido a la tendencia de disponerlos de forma indiscriminada (Susarla, et al, 2002). Algunos estudios, Strand et al, 1995 citado por Susarla et al, 2002, demuestran que híbridos de árboles de álamo pueden asimilar y degradar tricloroeteno (TCE) en productos de degradación aeróbica como el ácido dicloroacético, el cual fue encontrado en tejidos foliares como el metabolito más importante. Otras investigaciones resaltan el uso potencial de plantas acuáticas como Elodea (*Elodea canadenses*), Milhoja acuática (*Myriophyllum aquaticum*) y Lenteja de agua (*Spirodela polyrhiza*) en la transformación de solventes como el tricloroeteno (TCE) y el tetracloroetileno (PCE) (Susarla, et al, 2002).

De igual manera Lafferty *et al*, 2002, menciona el uso de la especie *Leucaena Leucocephala* en el metabolismo de contaminantes como el TCE y el dibromoetano EDB, en el cual se estableció la comparación del metabolismo de EDB en dicha especie frente a la actividad metabólica evidenciada por plantas de tabaco y álamo, usadas en procesos de fitorremediación, brindando un mejor comportamiento de algunas plantas de *Leucaena Leucocephala*, aun cuando en promedio la especie no metabolizó el EDB de forma efectiva en relación con las especies modelo.

Otro de los usos puntuales es el tratamiento de pesticidas. Burken y Schnoor 1997 citado por Susarla, et al, (2002) reportan el uso de árboles de álamo en el metabolismo de la atrazina indicando que este puede hidrolizar y remover grupos alquilo de la atrazina para obtener metabolitos menos tóxicos.

8.4 Rizofiltración

Utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz. En la rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final. Existe una gran cantidad de estudios relacionados con la capacidad de acumulación de contaminantes de diversas plantas acuáticas, algunos ejemplos de ellas son: *Scirpus lacustris* (Cd, Cu, Pb, Mg, Fe, Se, Cr), *Lemna gibba* (Pb, As, Cu, Cd, Ni, Cr, Al, Fe, Zn, Mn), *Azolla caroliniana* (Hg, Cr Sr, Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Au, Pt), *Elatine Manda* (As), *Wolffia papulifera* (Cd), *Polygonum punctatum* (Cu, Cd, Pb, Se, As, Hg, Cr, Mn) y *Myriophyllum aquaticum*, *Ludwigia palustris* y *Mentha aquatic* (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni) (Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. 2011).

8.5 Fitoimmobilización

La fitoimmobilización provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación (Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. 2011).

8.6 Fitoestabilización

Esta técnica permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizosfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire (Barton *et al*, 2005 Mendez y Maier, 2008).

Se han desarrollado diferentes tecnologías o estrategias de remediación para enfrentar los problemas de incremento de suelos con metales. Sin embargo, la remediación es difícil ya que estos elementos no pueden ser degradados químicamente (Ginocchio & León-Lobos, 2007). Los tratamientos tradicionales, desde el punto de vista económico, son inviables en países en vías de desarrollo y dejan al sustrato en una condición alterada de propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que restringe la posibilidad de uso posterior. Por ello en la última década se han buscado métodos más baratos, ambientalmente más adecuados y que permitan mayores posibilidades de uso (Ginocchio & León-Lobos, 2007).

Entre los métodos emergentes con mejor eficiencia y relación costo beneficio está la Fito estabilización. Esta técnica define el uso de especies vegetales para la estabilización de contaminantes inorgánicos (metales pesados y metaloides) u orgánicos presentes en un sustrato sólido, y dejarlos en formas inocuas. En el caso de los desechos mineros sólidos ricos en metales, como los relaves, consiste en el uso de plantas metalofitas y de materiales que inmovilizan o reducen los metales presentes en los desechos industriales (estabilización química); los metales son quelados, precipitados y adsorbidos por las raíces de las plantas, donde se acumulan en forma inocua, lo que evita el lavado de elementos tóxicos a napas freáticas (Tobar & Venegas, 2014).

Tipo	Proceso involucrado	Contaminación tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar los contaminantes en las partes cosechables (principalmente la parte aérea).	Diversas aguas contaminadas con cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio y zinc
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar los contaminantes a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.	Aguas contaminadas con cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc, isótopos radioactivos y compuestos fenólicos.
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes se usan para reducir su movilidad y evitar el pasaje a capas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros, aguas residuales. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc, aguas residuales agropecuarias.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican los contaminantes o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Aguas residuales agropecuarias, aguas con mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Aguas residuales agropecuarias, Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Tabla 2. Tipos de fitorremediación

Fuente: Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Ángel, M. L. H. (2010).

9. Patrones de contaminación

La contaminación del ambiente se produce por la incorporación de cualquier tipo de energía, organismo o sustancia, que afecta las características de los ecosistemas, modificando negativamente sus propiedades y su capacidad para asimilarlas o degradarlas. Su entrada se realiza como consecuencia de las actividades antropogénicas, aunque también se puede producir de forma natural. De manera general, los contaminantes se clasifican en:

Contaminantes orgánicos: incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's), PCB's, dioxinas, hidrocarburos de petróleo, disolventes clorados, compuestos aromáticos que se emplean en la producción de colorantes, explosivos, productos farmacéuticos, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), surfactantes, entre otros. En comparación con los compuestos inorgánicos, estos contaminantes son menos tóxicos para las plantas, ya que son menos reactivos y se acumulan en menor proporción (Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. 2011)

9.1 Derivaciones de las actividades humanas

- Industria petroquímica (derrames de combustibles y solventes)
- Actividades militares (explosivos y armas químicas)
- Agricultura (pesticidas, herbicidas)
- Industria química (efluentes)
- Industria forestal y maderera (efluentes)

9.2 Dependiendo de sus propiedades, pueden ser:

- Degradados en la zona radicular
- Incorporados a la planta degradación
- Secuestro
- Volatilización

9.3 Ejemplos de descontaminaciones exitosas por fitorremediación

- Solventes orgánicos, herbicidas, explosivos, hidrocarburos
- Derivados del petróleo, bifenilos policlorados (PCBs), tricloroetileno (TCE), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs)
- Macronutrientes vegetales (nitrato y fosfato), elementos traza (Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn), elementos no esenciales (Cd, Co, F, Hg, Se, Pb, V y W), e isótopos radioactivos (^{238}U , ^{137}Cs y ^{90}Sr), entre otros.

(Mentaberry, A. 2011).

10. Distintas especies de plantas hiperacumuladoras y Biorremediadoras

Las plantas tienen una habilidad notable para extraer y concentrar contaminantes del agua y suelo a partir del aire a través de los estomas, lo hacen por medio de su rizósfera; también cuentan con mecanismos en su metabolismo para poder realizar transporte de

metales. Se caracterizan, además por tener respuestas enzimáticas para frenar el estrés oxidativo provocado por el incremento en la concentración celular de metales tóxicos (Vidal Durango, J. V., & Jaramillo Colorado, B. D. 2009).

Como resultado de estas ventajas surge el interés de usar a las plantas como medio para enfrentar la contaminación ambiental y recuperar sitios contaminados. Por tal razón la fitorremediación se considera ahora una tecnología prometedora, de bajo costo y amigable con el ambiente, con la cual, de manera integral, se podrán recuperar distintos sitios contaminados (Vidal Durango, J. V., & Jaramillo Colorado, B. D. 2009).

10.1 Acacia farnesiana



Figura 1. *Acacia farnesiana*

Fuente: (Cano, M., & López Camacho, R. 2017)

Pertenece a la familia Fabaceae/Leguminosae, aunque su origen es bastante confuso por la amplia distribución que tiene a nivel mundial, sugiere que es originaria del sur de Francia, Italia y zonas costeras del Mediterráneo y fue introducida al nuevo continente durante la época de la colonia. Actualmente cuenta con una amplia distribución en áreas tropicales y subtropicales de todo el mundo, siendo la especie del género *Acacia* con mayor gradiente de distribución geográfica y altitudinal, debido a gran adaptabilidad a las

condiciones climáticas donde ha sido cultivada y su fácil naturalización Es una planta de habito arbustivo, presenta hojas bipinnadas con una glándula en la mitad del peciolo, las ramas y tallos son glabros con lenticelas y abundantes espinas blanquecinas persistentes, las inflorescencias son solitarias, axilares en forma de cabezuela con flores de color amarillo, los frutos son glabros en forma de legumbre cilíndrica curvada con valvas coriáceas color negro o pardo oscuro (Cano, M., & López Camacho, R. 2017)

10.2 Anthyllis vulneraria



Figura 2. *Anthyllis vulneraria*

Fuente: (Luontoportti.com. 2017).

La vulneraria es una planta bienal ascendente o erguida. Sus hojas nacen principalmente en la base del tallo esta especie ha evolucionado en una serie de estirpes climáticas y edáficas, sus hojas son alternas, las inferiores ocasionalmente enteras, las superiores irregularmente pinnados con foliolos en 1-5 pares, pelos cortos y suaves por debajo, foliolo terminal generalmente más largo que los otros, las estípulas son pequeñas (Luontoportti.com. 2017).

10.3 Azolla caroliniana



Figura 3. *Azolla caroliniana*

Fuente: (Pezadicto.com. 2017).

Helecho flotante compuesto por multitud de hojas pequeñas (frondes) divididos cuyo color oscila entre rojo y púrpura a pleno sol y de verde pálido a verde azulado en las zonas de sombra, consta de tallos profusamente ramificados, recubiertos de hojas bilobuladas alternas, cada una de las cuales consta de un lóbulo ventral aclorofílico sumergido y otro lóbulo dorsal clorofílico que contiene cavidades con el alga *Anabaena*. Cuenta con raíces auténticas que surgen de forma endógena con pelos radicales, presenta esporocarpos que se forman en grupos de dos o cuatro en la axila del lóbulo dorsal de la hoja basal de cada rama (Pezadicto.com. 2017).

10.4 *Biden leavis*



Figura 4. *Biden leavis*

Fuente: (Conabio.gob.mx.2017)

Planta herbácea y perenne erecta, a menudo con rizomas largos sus hojas son casi sésiles arriba o más frecuentemente con pecíolos algo alados y a veces ciliados hasta de 4 cm de largo, limbo partido o bipinnado, pero por lo común indiviso, linear a elíptico u oblongo, agudo o acuminado en el ápice, aserrado a casi entero en el margen, cuneado en la base su hábitat se encuentra en las orillas de arroyos y canales, pastizales con humedad temporal, claros húmedos de bosques, arvense y ruderal (Conabio.gob.mx.2017)

10.5 Boutelova gracilis



Figura 5. *Boutelova gracilis*

Fuente: (Conabio.gob.mx. 2017).

Hierba perenne, con frecuencia creciendo en zonas áridas, sus hojas son alternas dispuestas en 2 hileras sobre el tallo, aunque la mayoría concentradas en la base de la planta, con las venas paralelas; divididas en 2 porciones, la inferior llamada vaina que a veces presenta algunos pelos largos, y la parte superior de la hoja llamada lámina, Hábitat En pastizales y matorrales, pero principalmente en la vegetación secundaria (Conabio.gob.mx. 2017).

10.6 Brassica júncea



Figura 6. *Brassica juncea*

Fuente: (Conabio.gob.mx. 2017).

Hierba anual, glabra o algo pubescente, más o menos glauca, erecta, algo ramificada, de 30 a 130 cm con tallo cilíndrico y glauco (con una capa de cera), ramificado, hojas inferiores con pecíolos largos, de 10-25 cm de largo, lirado-pinnatifidas, irregularmente dentadas, con el lóbulo terminal más grande u ovado; lóbulos laterales menores y escasos; hojas superiores con o sin pecíolos, alternas, oblongo-elípticas, lanceoladas o lineares, mucho más pequeñas, con uno o dos lóbulos laterales y pocos dientes; la base atenuada Se presenta en climas templados, tropicales secos y tropicales húmedos. Tolera altitudes de 500 a 4200 m y temperaturas medias anuales de 6 - 27 ° C, pero los cultivos derivados crecen mejor con una temperatura media mensual entre 15 y 18 ° C (Conabio.gob.mx. 2017).

10.7 *Brassica napus*



Figura 7. *Brassica napus*

Fuente: (Unavarra.es. 2017).

Planta anual o bianual de 30-150 cm, glauca, glabra o con pelos simples y gruesos, de raíz axonomorfa, muy engrosada en algunas variedades, sus hojas liradas, con varios segmentos laterales y uno terminal mucho mayor y dentado de flores amarillas agrupadas en racimos. Las flores abiertas no sobrepasan a los botones florales del extremo del racimo (Unavarra.es. 2017).

10.8 *Brassica rapa*



Figura 8. *Brassica rapa*

Fuente: (Conabio.gob.mx. 2017)

Hierba anual o bianual, simple o ramificada, erecta, glabra, de tamaño: 30 a 130 cm, Con tallo cilíndrico, con pelos erectos y ásperos, hojas Alternas. Hojas inferiores pecioladas, pinnatífidas o lobadas, con el lóbulo terminal obtuso, por lo común mucho más grandes que los lóbulos laterales, raras veces con el borde irregularmente sinuoso, hojas superiores sésiles (sentadas, sin pecíolos), amplexicaules (abrazando el tallo), con el borde entero, rara vez sinuoso, oblongas a lanceoladas, glaucas, más pequeñas, hasta 6 cm de largo por 1.3 cm de

ancho, ápice romo, se le encuentra principalmente en campos de cultivo, también en milpas tradicionales, pero además como ruderal, en potreros, rastrojos, vías de ferrocarril, como invasora en terrenos de cultivo descuidados (Conabio.gob.mx. 2017).

10.9 Cenchrus ciliaris



Figura 9. *Cenchrus ciliaris*

Fuente: (Fao.org. 2017).

El género *Cenchrus* pertenece a la tribu *Paniceae*, en la que las espiguillas de dos flores caen al madurar, sin dejar glumas. Las espiguillas son solitarias y los pedicelos nunca se hinchan, se asemeja al género *Pennisetum*, excepto que las cerdas son onduladas y las interiores aplanados en la base, tiene cerdas interiores ligeramente peludas, conocidas sólo en la base, finas y ligeramente aplanadas en la base, es una planta perenne de 12-120 cm de altura. Es un enraizamiento profundo, su distribución se da en partes más calientes y secas de la India, región mediterránea, África tropical y meridional, ahora ampliamente introducida (Fao.org. 2017).

10.10 *Dolichos lablab*



Figura 10. *Dolichos lablab*

Fuente: (Ecured.cu. 2017)

Altura de planta de 40 a 80cm; raíz pivotante; tallos cilíndricos con vellosidad y de 3 a 6 metros de longitud; hojas trifoliadas; folíolos entre ovados y romboides, redondeados en la mitad inferior, ápice agudo, delgados, casi lisos, envés con pelos cortos, pecíolos acanalados, largos y delgados; inflorescencia en racimos axilares, pedúnculos hasta de 40 cm de largo, cáliz tubuloso, con los 2 dientes superiores soldados, estandarte provisto de apéndices en la base, alas en parte soldadas a la quilla, quilla estrecha y recurvada hacia dentro; fruto aplastado, oblongo-falcado, 5-8 x 2.5cm, liso rostrado, con estilo persistente, dehiscente; semillas 3-5, comprimidas, entre elípticas y ovoides, 1 cm de largo, de color pardo pálido o negro, hilo blanco y sobresaliente (Ecured.cu. 2017)

10.11 *Eichhornia crassipe*



Figura 11. *Eichhornia crassipe*

Fuente: (Conabio.gob.mx. 2017)

Planta acuática libremente flotadora o fija al sustrato, perenne, tamaño muy variable en tamaño, normalmente alrededor de 30 cm. Puede formar matas flotantes grandes, de tallo Reducido, estolonífero, aunque un tallo horizontal (rizoma) alargado conecta a diferentes individuos, con hojas formando una roseta basal, los pecíolos largos y cilíndricos en las plantas fijas al sustrato, y cortos y globosos en las plantas flotantes, las láminas de las hojas casi circulares o más anchas que largas, de 2.5 a 16 cm de largo y 3 a 12 cm de ancho, ápice truncado, redondeado a ligeramente obtuso, base truncada a algo cordada, su hábitat es en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerada como maleza acuática (Conabio.gob.mx. 2017)

10.12 *Helianthus annuus*



Figura 12. *Helianthus annuus*

Fuente: (Conabio.gob.mx. 2017)

El girasol es una planta domesticada importante; su forma silvestre es originaria del norte de México y oeste de E.U.A., es una hierba robusta, pero anual, de más de 1 m de alto, con flores en cabezuelas grandes; las exteriores son amarillas y las interiores son café. Los frutos tienen la forma típica del girasol, sus hojas y el tallo son muy ásperos al tacto el tamaño puede llegar a los 3 m de alto, su tallo es erecto simple o ramificado, por lo general toscamente hispido, las hojas en su mayoría alternas, con pecíolos de hasta 20 cm de largo, lámina ovada a triangular-ovada o anchamente lanceolada, hasta 45 cm de largo y 35 cm de ancho, obtusa a acuminada en el ápice, toscamente aserrada a subentera en el margen, cuneada a acorazonada en la base, por lo común escábrida (áspera) hispida en ambas caras, trinervada (Conabio.gob.mx. 2017)

10.13 *Heliconia*



Figura 13. *Heliconia*

Fuente: (encolombia.com. 2017).

Las heliconias son plantas herbáceas perennes cuya altura varía desde 70 cm hasta 10 m. Las brácteas son los órganos más vistosos de una heliconia, generalmente son de colores primarios o mezclados. Están agrupadas en el orden Zingiberales, y son conocidas en el exterior como exóticas tropicales, por su variedad de colores, formas, tamaños y larga durabilidad. Las heliconias son plantas herbáceas perennes cuya altura varía desde 70 cm, como en *H. brachyantha*, hasta 10 m, como en *H. rígida* o en *H. mariae*. Presenta raíces adventicias y fasciculadas. El pseudotallo está formado por la superposición de las vainas de las hojas y se origina desde el sitio de crecimiento del rizoma hasta donde brotan los peciolos de las hojas, dándole sostén a las mismas, el cual asciende por su interior en épocas reproductivas (encolombia.com. 2017).

10.14 Hongos Micorrízicos Arbusculares

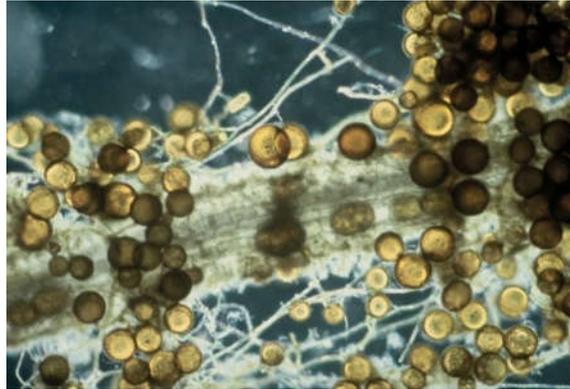


Figura 14. *Hongos Micorrízicos Arbusculares*

Fuente: (Berdugo, S. 2017).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son organismos del suelo que viven simbióticamente con la mayoría de plantas. Ellos les aportan beneficios, dándoles ventajas con respecto a las plantas no micorrizadas, facilitándole a la planta la toma de nutrientes de baja disponibilidad o de poca movilidad en el suelo, evitando la acción de microorganismo patógenos en la raíz, aumentando la tolerancia de la planta a condiciones de stress abiótico en el suelo, entre otros beneficios, el establecimiento de la simbiosis entre el hongo y la planta lleva a una secuencia de etapas de reconocimiento causando cambios tanto morfológicos como fisiológicos en los dos organismos que interactúan. Como herramienta biotecnológica el uso de estos microorganismos es de gran importancia, por lo que se requiere conocer acerca del efecto que las condiciones físico-químicas del suelo causan en ellos, para lograr un mejor beneficio en la agricultura (Berdugo, S. 2017).

10.15 *Limnobium laevigatum*



Figura 15. *Limnobium laevigatum*

Fuente: (Elacuario.org. 2017).

Es una planta que se presenta arraigada al suelo, con hojas ovaladas de aproximadamente 10 cm. de largo sin ningún abultamiento (aerénquima), o puede ser flotante con un abultamiento por debajo de la hoja, dependiendo de las fluctuaciones del agua, flota en el agua fría, pero se adapta a vivir en agua caliente. Su hoja es redonda y lisa en la parte de arriba, y el envés de la hoja es bastante cóncavo formando un recipiente de tejido esponjoso lleno de aire. Se propaga por semillas o por vía vegetativa desarrollando nuevas plántulas unidas a la planta original por estolones sumergidos (Elacuario.org. 2017).

10.16 Lupinus albus



Figura 16. *Lupinus albus*

Fuente: (Botánica Y Jardines. 2017).

Nombre botánico de esta especie perteneciente a la familia Fabaceae y es conocida de forma común como: altramuz blanco, chocho, lupino blanco. se desarrollará mejor en suelos con pH, ácido, neutro o alcalino. Su parte subterránea crecerá con vigor en soportes con textura arenosa o franca, éstos se pueden mantener generalmente húmedos (Botánica Y Jardines. 2017).

10.17 Mentha aquatic



Figura 17. *Mentha aquatic*

Fuente: (Singh, R., Shushni, M. A., & Belkheir, A. 2015)

Crece alrededor de 90 cm de altura, aunque puede alcanzar 1,5 m cuando es soportada por vegetación más alta, y tiene un característico aroma a menta. Las hojas son ovadas a ovado-lanceoladas, verdes (a veces purpúreas), opuestas, suaves, venadas pueden tener pilosidad o ser glabra. Los tallos son frecuentemente de color púrpura. Las flores son pequeñas, densas, tubulares, de color rosado a lila. Florece de julio a septiembre. Es polinizada por insectos, aunque se puede propagar fácilmente por cortes de raíces, como otras especies de menta. Como su nombre sugiere, vive en las márgenes de canales y arroyos, ríos, embalses y diques. Si la planta crece en el agua, logrará emerger. Generalmente prospera en suelos medio ácidos a calcáreos. (Singh, R., Shushni, M. A., & Belkheir, A. 2015)

10.18 Myriophyllum aquaticum



Figura 18 *Myriophyllum aquaticum*

Fuente: (Floresyplantas.net. 2017).

Las hojas miden de 1,5 a casi 4 centímetros, tienen alrededor de 25 divisiones en forma de segmentos filiformes por cada hoja, dándole ese característico aspecto plumoso. El sistema radicular que desarrolla está adaptado para anclarse al sustrato, aunque también puede desarrollar raíces adventicias desde sus tallos. La longitud de los mismos puede ser de escaso tamaño en acuarios y llegar fácilmente a superar el metro y medio en lagos y grandes

estanques, tiene flor macho y flores hembra que nacen en las axilas de las hojas emergidas. Las flores hembras son blancas, sin pétalos, con 4 sépalos y estigmas prominentes y un tamaño total de apenas 1,5 milímetros. Sus flores machos tienen 8 estambres (Floresyplantas.net. 2017).

10.19 Pistia stratiotes



Figura 19 *Pistia stratiotes*

Fuente: (Floresyplantas.net. 2017).

Esta planta acuática de la familia Araceae es llamada comúnmente repollito del agua o lechuga de agua. Las plantas de *Pistia stratiotes* flotan en la superficie del agua con sus raíces que cuelgan sumergidas debajo de las hojas flotantes. Es una planta perenne monocotiledónea con las hojas gruesas, suaves que forman una roseta. Las hojas pueden tener hasta 14 centímetros de largo y tener algún vástago, son de márgenes verdes, con las venas paralelas, onduladas ligeras y se cubren con pelos cortos que forman como la estructura de una cesta que atrapan burbujas de aire, aumentando la flotabilidad de la planta. Las flores son dioicas, y se ocultan en el centro de la planta entre las hojas, las bayas verdes pequeñas se forman después de la fertilización. La planta puede también realizar un tipo de reproducción asexual, la planta madre y las hijas están conectadas por un estolón corto, formando densas esteras que cubren las superficies de charcas y de ríos de caudal lento (Floresyplantas.net. 2017).

10.20 *Portulaca oleracea*



Figura 20. *Portulaca oleracea*

Fuente: (Conabio.gob.mx. 2017).

Planta anual suculenta de la familia *Portulacaceae*, que puede alcanzar hasta 40 cm de altura. Es nativa de la India, del Oriente Medio y del sur de Europa (como España), aunque se ha naturalizado en todo el mundo; en algunas regiones es considerada maleza, Tiene tallos lisos, rojizos, mayormente postrados; hojas alternas en conjuntos en el tallo y en su extremo. Las flores amarillas, sésiles, tienen cinco partes regulares y 6 mm de ancho (Conabio.gob.mx. 2017).

10.21 *Pteridium aquilinum*



Figura 21. *Pteridium aquilinum*

Fuente: (Conabio.gob.mx. 2017).

Helecho isospóreo vivaz o perenne con un rizoma subterráneo muy desarrollado que llega a alcanzar hasta un metro de longitud de color pardo y cubierto de vellosidades oscuras. Frondes muy grandes, de hasta 2 metros con láminas tri o cuatripinnadas con pinnas ovoides y glabras en el haz mientras que en el envés son muy pilosas, peciolo menor o igual en longitud que la lámina. Posee soros reunidos en cenosoros lineares con doble indusio, por una parte, un pseudoindusio membranoso compuesto por la misma lámina y un indusio verdadero de color pardo situados en el envés de las frondes. Esporangios esféricos con anillo longitudinal, esporas triletas muy ligeras que se diseminan muy rápidamente por el viento (Conabio.gob.mx. 2017).

10.22 Schoenoplectus californicus



Figura 22. *Schoenoplectus californicus*

Fuente: (NaturaLista. 2017).

Esta es una hierba perenne, de escaso porte, fasciculada, con raíces fibrosas su tallo es cespitoso, erecto, liso, trígono, terete (circular en la sección transversal) o acostillado, sin presentar tuberosidades en la base sus hojas de la sección inferior presentan vainas foliares carentes de láminas; las superiores las desarrollan ocasionalmente, la inflorescencia es un

agregado simple yseudolateral de espiguillas; tiene una bráctea erecta, que semeja una continuación del tallo, las espigüelas son hermafroditas, abundantes, sésiles, ovoides u oblongas. Presenta glumas espiraladas, deciduas, ovadas, redondas en la parte posterior, con una nervadura media fuerte y una lateral inconspicua u obsoleta; la raquilla es persistente, Las flores son hermafroditas; el perianto tiene entre 2 7 6 escamas. Los estambres son tres, y los estilos dos. Los frutos son aquenios lenticulares, biconvexos o aplanado convexo, lisos o transversalmente rugosos (NaturaLista. 2017).

10.23 Sedum alfredii



Figura 23. *Sedum alfredii*

Fuente: (Theplantlist.org. 2017).

Hierba perenne en áreas de Asia, con tallos ramificados o de punta que ascienden entre 10 y 20 cm de longitud. Las hojas son caducifolias y se alternan proximalmente en el tallo. Las hojas de las hojas son en forma de cuña con líneas rectas. La forma de la hoja de hoja también se puede caracterizar como siendo ovalada (obovada) o ancha con una base cónica, la cabeza de flor de *Sedum alfredii* mide entre aproximadamente 5 y 8 cm de diámetro, sus flores son pequeñas, miden aproximadamente 1 mm de diámetro, los pétalos amarillos son característicamente representativos de forma oblonga y miden aproximadamente 4 a 6 mm x 1,6 a 1,8 mm (Theplantlist.org. 2017).

10.24 Setaria verticillata L.



Figura 24 *Setaria verticillata L.*

Fuente: (Unavarra.es. 2017).

Especie fanerógama de pasto de la familia Poaceae, con raíz ramificada, es originaria de Europa, su tallo es de consistencia herbácea, con presencia de nudos, sus hojas de borde serrado, lineal lanceoladas, hojas en disposición alterna., su inflorescencia es agrupada en espiga con terminaciones de aristas que son las que dan su particular nombre, son hermafroditas, de ovario súpero. Y su fruto es una carióspside, propagándose por semillas (Unavarra.es. 2017).

10.25 Solanum nitidum



Figura 25 *Solanum nitidum*.

Fuente: (Chileflora.com. 2017).

La hierba mora, entre otros numerosos vocablos vernáculos, es una planta herbácea de la familia de las solanáceas; crece silvestre en casi todo el mundo. una hierba ligeramente pubescente de hasta 80 cm de altura, con hojas grandes, lanceoladas o romboidales, alternas y pecioladas, limbo ovoide, e inflorescencias compuestas por 3 a 6 flores hermafroditas de entre 5 y 7 milímetros; éstas se agrupan en cimas pedunculadas, con pétalos blancos vellosos, más o menos reflejos, de los que sobresalen las anteras amarillas, agrupadas cónicamente y muy destacadas. El cáliz, con vellosidad glabrescente, tiene 5 sépalos. Las flores son lo suficientemente pequeñas para no resultar distintivas a simple vista, los frutos son bayas globulares centimétricas; verdes cuando inmaduros, se ponen negros, brillantes y lisos al final de la madurez. Contienen grandes concentraciones de solanina, lo que los vuelve muy tóxicos (Chileflora.com. 2017).

10.26 *Thlaspi caerulescens*



Figura 26 *Thlaspi caerulescens*

Fuente: (Cosio, C., Martinoia, E., & Keller, C. 2004).

Especie de angiospermas perteneciente a la familia Brassicaceae. Es endémica del oeste de Norteamérica, Texas, Colorado, Wyoming y Montana. Es una pequeña planta herbácea que tiene una roseta basal de la que crecen uno o varios tallos cortos sin ramas con hojas chicas terminando en un denso racimo de diminutas flores blancas (Cosio, C., Martinoia, E., & Keller, C. 2004).

10.27 Trifolium nigriscens



Figura 27. *Trifolium nigriscens*

Fuente: (Herbarivirtual.uib.es. 2017).

Hierba perenne, ramificada desde la base, estolonífera y de tallos postrados (hasta 60 cm) que pueden enraizar en los nudos sus hojas son trifoliadas con los folíolos obovados dentados a menudo manchados de blanco o negro, las inflorescencias son glomérulos de flores blancas pedunculadas, las flores fecundadas quedan péndulas, también de flores blancas y manchas en los folíolos, es anual en lugar de perenne (Herbarivirtual.uib.es. 2017).

10.28 *Urtica urens*



Figura 28 *Urtica urens*

Fuente: (Ichn.iec.cat. 2017).

Especie de la familia de las *Urticaceae*. Se trata de una especie cosmopolita, es un herbáceo con follaje persistente; tallo cuadrangular; hojas opuestas, grandes, con pelos urticantes; con las flores de color lilas. Florece de otoño a primavera y fructifica en primavera (Ichn.iec.cat. 2017).

10.29 *Vertiveria zizanioides*



Figura 29. *Vertiveria zizanioides*

Fuente: (Fao.org. 2017).

Planta perenne de la familia de las gramíneas, nativa de la India. El nombre de Vetiver es originario del idioma tamil. Se encuentran registros en la literatura tamil de usos del Vetiver con propósitos medicinales. El vetiver puede crecer hasta 1,5 metros, sus tallos son altos, las hojas son largas, delgadas y rígidas. A diferencia de la mayoría de las gramíneas, las raíces del vetiver crecen masivamente de manera vertical y alcanzan una profundidad de hasta 4 metros. Sus semillas no son fértiles, por lo cual es una planta ecológicamente segura. El vetiver está estrechamente relacionado con otras gramíneas fragantes como el *Cymbopogon* (*Cymbopogon citratus*) y la *citronella* (*Cymbopogon nardus*). (Fao.org. 2017).

10.30 Crysopogon zizanioides



Figura 30. *Crysopogon zizanioides*

Fuente: Córdoba Benavides, D. F., & Charry López, C. 2016).

El vetiver es una planta perteneciente a la familia Poaceae, posee numerosas características que la convierten en una valiosa alternativa en muchas partes del mundo para la conservación de los suelos y el agua, la protección y la estabilización de infraestructuras, la prevención de desastres naturales por deslaves, y la restauración y la protección del ambiente. Ha demostrado ser la ideal para la conservación del suelo y agua, la humedad del suelo y otros usos como; biorremediación, bioingeniería, forrajes, agroforestería, etc. El pasto vetiver es considerado una planta "milagrosa" debido a su

morfología única y características fisiológicas, que tienen un sistema de raíces larga y gruesa que puede penetrar de forma vertical en él. El pasto vetiver (*zizanioides*) posee un amplio sistema de raíces que puede alcanzar hasta una profundidad de 4 metros, lo que le permite penetrar en las capas más profundas del suelo y absorber contaminantes como metales pesados (Córdoba Benavides, D. F., & Charry López, C. 2016).

11. ¿Sirve en Colombia?

Dentro de un país donde la industria y la economía son armas indispensables para el desarrollo, la contaminación, especialmente la generada por la producción industrial, es un tema que no puede ser prohibido, pero tampoco se puede convertir en una circunstancia en donde la contaminación se deba permitir a toda costa y sin límite alguno (Aristizábal González, G., & Gómez Torres, M. D. R. 2009).

Por ejemplo, al sustituir el papel que juegan los combustibles fósiles, tal como lo está intentando una gran multinacional petrolera que está desarrollando plantas para la generación de hidrógeno como fuente energética para el universo de los transportes, el cual a su vez es generado mediante energía solar (Aristizábal González, G., & Gómez Torres, M. D. R. 2009).

12. ¿Es una alternativa en Latinoamérica?

Aunque en muchos países la investigación se encuentra en evaluación de estas tecnologías, debemos continuar ahondando cada vez más estas temáticas que son tan importantes se deben persistir cada día más.

Los problemas de contaminación que existen actualmente requieren de tecnologías costo-

efectivas, ambientalmente amigables y que puedan aplicarse a gran escala, tal es el caso de la fitorremediación Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011).

Sin embargo, se requiere más información sobre las interacciones planta-microorganismos rizosféricas, sobre los metabolitos responsables del fenómeno de quelación de metales pesados al interior de las plantas, así como del papel que juegan ciertas enzimas en el proceso de fitorremediación (Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. 2011).

13. Proyecciones

El avance en la identificación de procesos fisiológicos de las plantas junto con el conocimiento de los contaminantes tóxicos permite seleccionar con precisión el tipo de fitorremediación de mayor impacto que reduce el tiempo de mejoras, así como la identificación de asociaciones específicas con microorganismos radiculares.

En la búsqueda continua de soluciones a los problemas de contaminación por metales pesados en el suelo, llega la búsqueda de nuevas plantas herbáceas, gramíneas, árboles y algunas plantas transgénicas volviéndose una tecnología competitiva en la recuperación de suelos contaminados.

Para determinar cuáles son las plantas tolerantes a los compuestos tóxicos es requerido conocer los procesos fisiológicos y la densidad radicular ya que mayor grado de penetración en el suelo y diámetro de irradiación radicular, mayor el proceso de retención de compuestos contaminantes.

Por último, es necesario realizar el proceso de escalado de las investigaciones y llevarlas in-situ, ya que la mayoría de los estudios reportados son en condiciones de laboratorio (ex -situ), se debe contemplar la opción biotecnológica para implementar la fitorremediación con plantas transformadas genéticamente.

La selección de especies para la fitorremediación debe realizarse según estudios previos y según la abundancia que se presenta cerca a cuerpos de agua contaminados ya que el índice de supervivencia y de propagación dependen directamente de la capacidad de adaptación a estos medios.

Las especies vegetales varían según las condiciones climáticas y las características fisicoquímicas del suelo, que pueden acelerar el proceso de acumulación de compuestos tóxicos en las diferentes partes de la planta.

14. Incorporación de la biorremediación en el ordenamiento jurídico colombiano.

Si bien es cierto que es urgente la existencia de regulación legal que haga posible y hasta obligatoria la implementación de sistemas de biorremediación como forma de prevención y solución de la contaminación en nuestro país, es evidente que el legislador ha guardado silencio a este respecto, toda vez que, como se ha visto, en Colombia existen una serie de herramientas jurídicas y administrativas que aun cuando tratan de plantear posibles formas de evitar o sancionar el maltrato del medio ambiente como resultado de las actividades industriales, se ha quedado corta en cuanto a recuperación de los daños causados.

Por eso y ante el silencio de la ley a este respecto, consideramos interesante el acudir a la iniciativa popular legislativa en la formulación de un proyecto en los términos contemplados por la ley 134 de 1994, teniendo en cuenta que finalmente es a todos nosotros, los ciudadanos, a quienes nos interesa un medio ambiente sano y un desarrollo sostenible

para las futuras generaciones, máxime si tenemos en cuenta que el agua será uno de los recursos más escasos en el futuro y que debido a derrames de crudo y al desecho de elementos contaminantes a los ríos estamos ante el desperdicio de un recurso tan valioso como lo es el agua, sólo por citar un ejemplo, ya que, como se ha explicado anteriormente, la aplicación de la biorremediación también puede aplicarse a la tierra contaminada.

Y es que esta iniciativa popular también podría contemplar no sólo mecanismos para que se implementen dichos sistemas una vez se esté frente al daño causado, sino implementar herramientas que hagan posible la utilización de esta tecnología en la prevención del daño ambiental (Aristizábal González, G., & Gómez Torres, M. D. R. 2009).

Conclusiones

A lo largo de la investigación y recopilación de datos podemos aseverar que estas distintas técnicas fitorremediadoras no presentan una gran trascendencia a nivel latinoamericano y más en el colombiano, son muy complejas las investigaciones y los trabajos investigativos no brindan grandes luces a la solución de todos los problemas que se presentan.

El compendio informativo es de alguna manera muy cuestionable, la exigencia de encontrar mecanismos que permitan un adecuado uso de los ecosistemas, con un buen desarrollo y que al mismo tiempo nos permita protegerlos, no nos basta que mecanismos fitorremediadores podemos aplicar, es ver la necesidad de que todos contribuyamos a contaminar menos, no esperar que la jurisdicción colombiana y latinoamericana de solución a la problemática de la contaminación en su totalidad, la conservación del medio ambiente debe de ir de la mano de las grandes empresas contaminadoras y generar una conciencia social y ecológica.

La fitorremediación es una gran herramienta, pero no la solución a todas las incógnitas que se pueden quedar, se puede deducir según la información bibliográfica consultada que la fitorremediación es una alternativa eficaz y viable económicamente para realizar procesos descontaminación de diversos metales pesados, tanto en agua, como suelo y aire.

Bibliografía

Agroalimentado. (15 de 04 de 2017). Obtenido de http://www.agroalimentando.com/nota.php?id_nota=1492

Alvarado, c. j., dasgupta-schubert, n., Ambriz, e., sánchez-yañez, j. m., & Villegas, j. (2011). hongos micorrízicos arbusculares y la fitorremediación de plomo. revista internacional de contaminación ambiental, 27(4), 357-364.

Angelova, V., & Ivanov, K. (2009). Bio-accumulation and distribution of heavy metals in black mustard (*Brassica nigra* Koch). *Environ Monit Assess*, 449-450.

Arenas Moya, S., & Hernández Caro, S. A. (2012). Fitotoxicidad del Cadmio (Cd) y el Mercurio (Hg) en la especie *Brassica nigra*.

Aristizábal González, G., & Gómez Torres, M. D. R. (2009). ¿Es viable la biorremediación como alternativa de descontaminación en Colombia? (Bachelor's thesis).

Barton, C, Marx, D., Adriano, D., Jun-Koo, B., Newman, L., Czapka, S., Blake, J. (2005). Phytostabilization of a landfill containing coal combustion waste. *Environmental Geosciences*. 12: 251-265.

Berdugo, S. (2017). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. [online] [Revistabiotecnologia.unicauca.edu.co](http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co). Available at: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/110> [Accessed 12 Oct. 2017].

Bernal, A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos; una visión general. *Revista de investigación agraria y ambiental*. Vol (5) 245-258.

Botánica Y Jardines. (2017). Ficha de *Lupinus albus* - Botánica Y Jardines. [online] Available at: <http://www.botanicayjardines.com/lupinus-albus/> [Accessed 12 Oct. 2017].

Cano, M., & López Camacho, R. (2017). *Acacia farnesiana* (L.) Willd.(Fabaceae: Leguminosae), una especie exótica con potencial invasivo en los bosques secos de la isla de Providencia Colombia.

Carpenter, R. Bernal, A. (2007). Claves de la fitorremediación: Fito tecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. Vol (16) 2. 1-3.

Cerrato, R. F., Avelizapa, N. G. R., Varaldo, H. M. P., Alarcón, A., & Villanueva, R. O. C. (2006). Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos Caracterización y biorremediación de sitios contaminados con residuos de perforación Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos Factibilidad de reactores de suelos activados para la biorrestauración de suelos

pesados El papel de las microalgas en la biorremediación de aguas contaminadas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2), 179-187.

Chandrawati, J. (2016). Advances in phytoremediation and rhizoremediation. *Octa Journal of Environmental Research*, 018-032. Recuperado de: http://www.sciencebeingjournal.com/sites/default/files/03-160112_0401.pdf

Chileflora.com. (2017). Descripción e imágenes de *Solanum nigrum* (Hierba negra, Tomatillo), una planta chilena nativa, suministrado por el proveedor de las semillas chilenas nativas, Chileflora.com. [online] Available at: <http://www.chileflora.com/Florachilena/FloraSpanish/LowResPages/SH0197.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Conabio.gob.mx. (2017). *Bidens aurea* - ficha informativa. [online] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/bidens-aurea/fichas/ficha.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Conabio.gob.mx. (2017). *Bouteloua gracilis* - ficha informativa. [online] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/bouteloua-gracilis/fichas/ficha.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Conabio.gob.mx. (2017). *Brassica juncea* - ficha informativa. [online] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/brassica-juncea/fichas/ficha.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Conabio.gob.mx. (2017). *Brassica rapa* - ficha informativa. [online] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/brassica-rapa/fichas/ficha.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Conabio.gob.mx. (2017). *Eichhornia crassipes* - ficha informativa. [online] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/pontederiaceae/eichhornia-crassipes/fichas/ficha.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Conabio.gob.mx. (2017). *Helianthus annuus* - ficha informativa. [online] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/helianthus-annuus/fichas/ficha.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Conabio.gob.mx. (2017). *Portulaca oleracea* - fotos. [online] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/portulacaceae/portulaca-oleracea/fichas/pagina1.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Conabio.gob.mx. (2017). *Pteridium aquilinum* - ficha informativa. [online] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/dennstaedtiaceae/pteridium-aquilinum/fichas/ficha.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Córdoba Benavides, D. F., & Charry López, C. (2016). Aislamiento de bacterias nitrificadoras endófitas del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en procesos de fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Cosio, C., Martinoia, E., & Keller, C. (2004). Hyperaccumulation of cadmium and zinc in *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* at the leaf cellular level. *Plant physiology*, 134(2), 716-725.

de tabasco, b. p. s. (2007). 7.2. hidrocarburos del petróleo en suelos. *plan de uso sustentable de los suelos de tabasco*, 125.

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.

Delgado, K. T., & Montoya, T. Z. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. *Facultad de Mina. Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería Química*.

Díaz-Arriaga, F. A. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 16(6), 947-957.

EcuRed.cu. (2017). Dólichos Lablab - EcuRed. [online] Available at: https://www.ecured.cu/D%C3%B3lichos_Lablab [Accessed 12 Oct. 2017].

Elacuario.org. (2017). Planta de acuario, *Limnobium laevigatum*. [online] Available at: <https://www.elacuario.org/planta/limnobium-cf-laevigatum> [Accessed 12 Oct. 2017].

encolombia.com. (2017). HELICONIAS, FLORICULTURA, CULTIVO DE HELICONIAS. [online] Available at: https://encolombia.com/economia/agroindustria/floricultura/floriculturandina_heliconias/ [Accessed 12 Oct. 2017].

Enrique, P. S., Carlos, M. P., Jesús, S., & Javier, M. V. (2013). Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconia psittacorum* (heliconiaceae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(145), 469-481.

Fao.org. (2017). *Cenchrus ciliaris*. [online] Available at: <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/pf000196.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Floresyplantas.net. (2017). *Pistia stratiotes* | Floresyplantas.net. [online] Available at: <https://www.floresyplantas.net/pistia-stratiotes/> [Accessed 12 Oct. 2017].

Floresyplantas.net. (2017). *Myriophyllum aquaticum* | Floresyplantas.net. [online] Available at: <https://www.floresyplantas.net/myriophyllum-aquaticum/> [Accessed 12 Oct. 2017].

Fonseca, r., diaz, c., castillo, m., candia, j. r., truong, p., & director, t. v. n. uso de vetiver grass para la rehabilitación de sitios mineros en chile: resultados preliminares.

García, F., Luizaga, V., Claudia, G., & Herbas, B. (2016). Análisis del riesgo ambiental producto de pasivos ambientales de YPFB, generados en la limpieza de contenedores en inmediaciones de la Refinería Gualberto Villarroel (Cochabamba-Bolivia) y propuesta de medidas correctivas. *Acta Nova*, 7(3), 334-351.

Gardezi, A. K., Barcelo-Quintal, I. D., Cetina-Alcalá, V. M., Bussy, A. L., Pérez-Nieto, J., & Borja-Salin, M. A. (2006). Absorción de cobre y características de *Leucaena leucocephala* asociada con *Glomus* spp. y *Rhizobium* en suelo contaminado del Río Lerma, México. *Terra Latinoamericana*, 24(3), 347-354.

Gaur A. y Adholeya A. (2004). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Sci.* 86, 528–534.

Ginocchio, C., & León-Lobos, P. (2007). Recursos genéticos para fitoestabilización: Plantas que reducen la contaminación por desechos mineros.

Gómez Ocampo, L. J., & Gómez Domínguez, M. P. (2015). Métodos utilizados para el tratamiento de las borras de tanques de almacenamiento en la industria del petróleo.

González C., Díaz M. 2009. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 29:110-116 .

Guzmán, H., & Jesús, F. (2013). Estrategias para establecer pastos de temporal en zonas semiáridas de México.

Harrison M.J. (1999). Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 361–389.

Herbarivirtual.uib.es. (2017). Herbario Virtual del Mediterráneo Occidental. [online] Available at: <http://herbarivirtual.uib.es/cas-ub/especie/5424.html> [Accessed 12 Oct. 2017].

Ichn.iec.cat. (2017). Ortiga menor (*Urtica urens*). [online] Available at: <http://ichn.iec.cat/Bages/planes/Imatges%20grans/cUrtica%20urens.htm> [Accessed 12 Oct. 2017].

Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, 21(2), 145-154.

Joner E.J., Briones R. y Leyval C. (2000). Metal-binding capacity of arbuscular mycorrhizal mycelium. *Plant Soil*. 226, 227–234.

Landeros, O., Tejo, R., Reveles, M., Valdés, R., Arreola, J., Pedroza, A., Torres, J. (2011). Uso potencial del huizache (*Acacia farnesiana* L. Will) en la fitorremediación de suelos

contaminados con plomo. Revista Chapingo serie de ciencias forestales y del ambiente. Vol. 17.

López Corrales, E. I. (2015). *Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos contaminados por actividades mineras* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).

López Lafuente, A. (2009). Bioremediación y fitorremediación en suelos contaminados. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*.

López, R. A. N., Vong, Y. M., Borges, R. O., & Olguín, E. J. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.

Lora Silva, R., & Bonilla Gutiérrez, H. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados de Cadmio y Cromo. U.D.C.A. Actualidad & divulgación científica, 9.

Lozano, A. G., & Calzada, R. T. (2011). In contaminated soil lead and cadmium. Revista Chapingo Serie Zonas Aridas, 10, 27-31.

Luontoportti.com. (2017). Vulneraria, Anthyllis vulneraria - Flores - NatureGate. [online] Available at: <http://www.luontoportti.com/suomi/es/kukkakasvit/vulneraria> [Accessed 12 Oct. 2017].

Madera, C., Peña, E., Solarte, J. (2014). Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. Ingeniería y competitividad. Vol. 16 (2). 179-188.

Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Ángel, M. L. H. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Informador técnico, (74).

Martínez, Y. P., & Ayala, R. R. B. (2011). Visión General Sobre el Proceso de Fitorremediación en Lodos Provenientes de Ptar. *Publicaciones e Investigación*, 5(1), 121-130.

Mejía, R., Ayde, A., Vásquez, J. A., & Lugo González, A. (2012). Bacteria, source of energy for the future. *Tecnura*, 16(32), 118-143.

Méndez, M. O., Maier, R. M. (2008). Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments-An Emerging Remediation Technology. *Environ Health Perspect.* 116: 278-283.

Mentaberry, A. (2011). Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf

Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G., & Zurita, J. (2011). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191

Naturalista. (2017). Junco (*Schoenoplectus californicus*). [online] Available at: <http://www.naturalista.mx/taxa/47159-Schoenoplectus-californicus> Sedum alfredii [Accessed 12 Oct. 2017].

Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olgún, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 55, 69-82.

Ortega, R., Beltrán, J., Madrugo, J. (2011). Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl) Beauv. in vitro. *Revista colombiana de Biotecnología*. Vol. 13 (1). 33-41.

Ortega-Ortega, R. E., Beltrán-Herrera, J. D., & Marrugo-Negrete, J. L. (2011). Accumulation of mercury (Hg) by arrow cane (*Gynerium sagittatum*)(Aubl) Beauv. in vitro. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(1), 33-41.

Palomino Felices, S. H. (2014). Microorganismos con capacidad degradativa de aceites lubricantes usados, aislados de estratos superficiales de suelos contaminados y optimización de condiciones de crecimiento. *Ayacucho 2009*.

Peña-Castro, J. M., Barrera-Figueroa, B. E., Ruiz-Medrano, R., & Xoconostle-Cázares, B. (2006). Bases moleculares de la fitorremediación de hidrocarburos totales del petróleo. *Terra Latinoamericana*, 24(4), 529-539.

Pezadicto.com. (2017). Cite a Website - Cite This For Me. [online] Available at: <http://www.pezadicto.com/azolla-caroliniana-helecho-de-agua/> [Accessed 12 Oct. 2017].

Poveda, O., & Abigail, R. (2014). evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (PNUMA y MADS). (2012). *Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala*. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf

Reinoso Torres, D. P. (2016). *Evaluación de cepas bacterianas resistentes a metales pesados en la zona del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato con potencial biorremediador* (Bachelor's thesis).

Rodríguez Gallego, J. L., & Sánchez Martín, J. (2003). Biorremediación. Aspectos tecnológicos y aplicación al vertido del Prestige. *Industria y Minería*, (351), 17-21.

sandoval del aguila, j. r. (2008). valoración económica de espacios contaminados por hidrocarburos en la cuenca del corrientes loreto-perú, 2007, 2008.

Singh, R., Shushni, M. A., & Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 322-328. [Accessed 12 Oct. 2017].

Sostenible, M. d. (22 de 12 de 2012). *Ministerio de salud y protección social*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf>

Susarla, S., Medina , V., & McCutcheon, S. (2002). Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, Volume 18, Issue 5, paginas 647-658. obtenido de: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00026-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00026-5). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857402000265>)

Theplantlist.org. (2017). *Sedum alfredii* Hance — The Plant List. [online] Available at: <http://www.theplantlist.org/tpl/record/tro-8903546> [Accessed 12 Oct. 2017].

Tobar Valenzuela, P., & Venegas Padilla, T. A. (2014). Fitoestabilización de depósitos de relaves.

Unavarra.es. (2017). *Brassica napus* L.. [online] Available at: http://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Bras_napu_p.htm [Accessed 12 Oct. 2017].

Unavarra.es. (2017). *Setaria verticillata* (L.) Beauv.. [online] Available at: http://www.unavarra.es/herbario/htm/Seta_vert.htm [Accessed 12 Oct. 2017].

Vidal Durango, J. V., & Jaramillo Colorado, B. D. (2009). Capacidad del Guarumo (*Cecropia peltata*) como planta fitorremediadora de suelos contaminados con mercurio (Doctoral dissertation, Universidad de Cartagena).