

Artículos

Las plantas y su capacidad para remediar sitios contaminados

Carolina Zimicz*

*IBIGEO, CONICET. carolina.zimicz01@gmail.com

A lo largo de la historia, el hombre ha representado, y representa actualmente, un importante agente de contaminación. Si bien inicialmente la existencia de vastas superficies no intervenidas, le permitía disponer de ambientes libres de contaminación a los cuáles trasladarse cuando las condiciones del sitio que habitaban se tornaban adversas, actualmente dicha posibilidad es muy limitada. Si bien uno podría pensar que frente a esta situación, los gobiernos hacen uso de los avances tecnológicos y las metodologías desarrolladas para restaurar o recuperar sitios contaminados, lo que sucede (tanto en Argentina como a nivel mundial) es algo diferente.

¿CUÁNDO HABLAMOS DE CONTAMINACIÓN?

Se considera que existe contaminación antrópica cuando la concentración de una sustancia supera los niveles naturales, provocando un impacto negativo en alguno de los componentes del sistema. Tomemos como ejemplo la contaminación producida por la industria del cuero: para poder transformar las pieles de los animales en cuero, las empresas que se dedican a esta actividad emplean grandes cantidades de cromo (un elemento que resulta tóxico para la salud humana). En aquellos casos en que la curtiembre (lugar donde se produce el cuero) no realiza un tratamiento adecuado a los desechos que produce y por ejemplo los libera a un arroyo o río cercano, se produce contaminación antrópica. En este caso, el impacto o efecto negativo sería la contaminación del arroyo o río y, el agua estaría representando el "componente" del "sistema" Tierra. Los niveles para designar un sustrato como contaminado dependen del elemento químico en cuestión (Cromo en el ejemplo anterior), el uso del mismo y la legislación del país considerado. A grandes rasgos, los contaminantes se clasifican en dos grupos: orgánicos e inorgánicos. En cuanto a las causas de la presencia de uno u otro tipo de contaminante en el ambiente, podemos decir que los primeros son principalmente el resultado de la acción antrópica (derrames, actividades militares, agricultura, ganadería, industria, etc.), mientras los segundos están presentes naturalmente en la corteza terrestre o la atmósfera y es el hombre quien propicia su liberación al ambiente a través de sus actividades, provocando la toxicidad resultante.

¿Qué tienen en común la industria de fundición de metales, la minería metalífera y los caños de escape de los autos? Las tres son actividades que generan contaminación con metales pesados, principalmente con Cadmio, Plomo y Zinc. Estos elementos, al igual que muchos otros, son absorbidos del suelo por las plantas, disminuyendo así el grado de contaminación.

Ahora bien, ¿qué hacemos una vez que la planta quitó el metal que estaba contaminando el suelo? Las plantas se cosechan y pueden ser utilizadas para producir energía, aceites o combustibles.

¿CÓMO PUEDEN AYUDARNOS LAS PLANTAS A RESOLVER EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN?

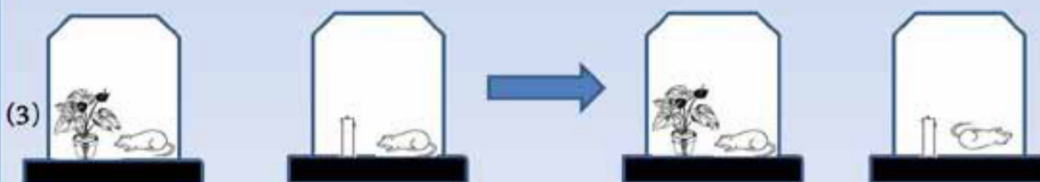
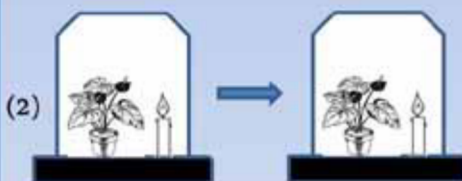
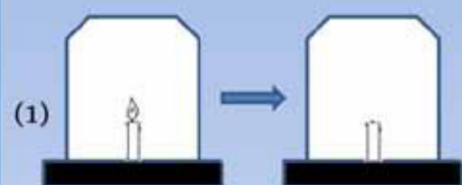
La tendencia natural que poseen las plantas a incorporar compuestos (por sus requerimientos básicos de elementos como Calcio [Ca], Magnesio [Mg], Hierro [Fe], etc.) constituye un aspecto positivo y negativo al mismo tiempo. Por un lado, representa un inconveniente para la salud humana cuando estamos en presencia de cultivos destinados a la alimentación, desarrollándose sobre tierras contaminadas con elementos como Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), etc. Por otra parte, permite emplear a las plantas como una herramienta para la recuperación de suelos contaminados. Este aspecto, ha permitido el desarrollo de la fitorremediación como una tecnología que consiste en el empleo de plantas para el tratamiento de suelos, sedimentos y aguas contaminadas. Se basa en procesos que se dan en la naturaleza y mediante los cuales, tanto las plantas como los microorganismos asociados a sus raíces, degradan, secuestran o incorporan contaminantes.

UN POCO DE HISTORIA

Respecto al inicio y desarrollo de la fitorremediación, se cree que hace aproximadamente 300 años las plantas fueron propuestas para el uso en el tratamiento de aguas residuales. Durante el siglo XVIII los químicos Joseph Priestley, Karl Scheele, Antoine Lavoisier y el botánico Jan Ingenhousz demostraron que en presencia de luz las plantas son capaces de descontaminar la atmósfera. Posteriormente en 1885, Bamann encontró altas concentraciones de Zinc en las hojas de algunas plantas que crecían en suelos con alto contenido en este metal. En Rusia, durante los años 60 se realizaron estudios utilizando plantas para la recuperación de suelos contaminados con ra-

dionucleótidos. Finalmente, durante la década del 70' se reconoce la capacidad de las plantas para limpiar aguas y suelos contaminados y en los 90' se establece el concepto de fitorremediación como tal. Durante los últimos diez a veinte años, la fitorremediación ha ganado popularidad en lo que respecta a las agencias gubernamentales y las industrias, y esto se vincula principalmente al bajo costo de implementación que la técnica requiere. Por ejemplo, hace algunos años el costo estimado para remediar un metro de terreno contaminado con metales era de alrededor de 875 pesos, mientras que mediante métodos convencionales el costo era de 2500 pesos.

LOS ENSAYOS DE JOSEPH PRIESTLEY



Joseph Priestley, un químico inglés que vivió entre 1733 y 1804, se dio cuenta de que cuando colocaba una vela en un recipiente cerrado, la vela se apagaba en pocos segundos (1). Sin embargo, si en ese recipiente cerrado colocaba una planta, la vela seguía prendida por más tiempo (2). Finalmente, decidió poner un ratoncito en el recipiente donde había prendido la vela sin la planta y otro en el recipiente donde había prendido la vela y estaba la planta (3). Así pudo ver que el ratón se moría en el recipiente donde sólo había estado la vela y sobrevivía en el recipiente donde también estaba la planta.

ENTONCES, ¿CÓMO ACTÚAN LAS PLANTAS?

Las plantas extraen los contaminantes de un sustrato (aire, suelo o agua) a través de 6 mecanismos diferentes.

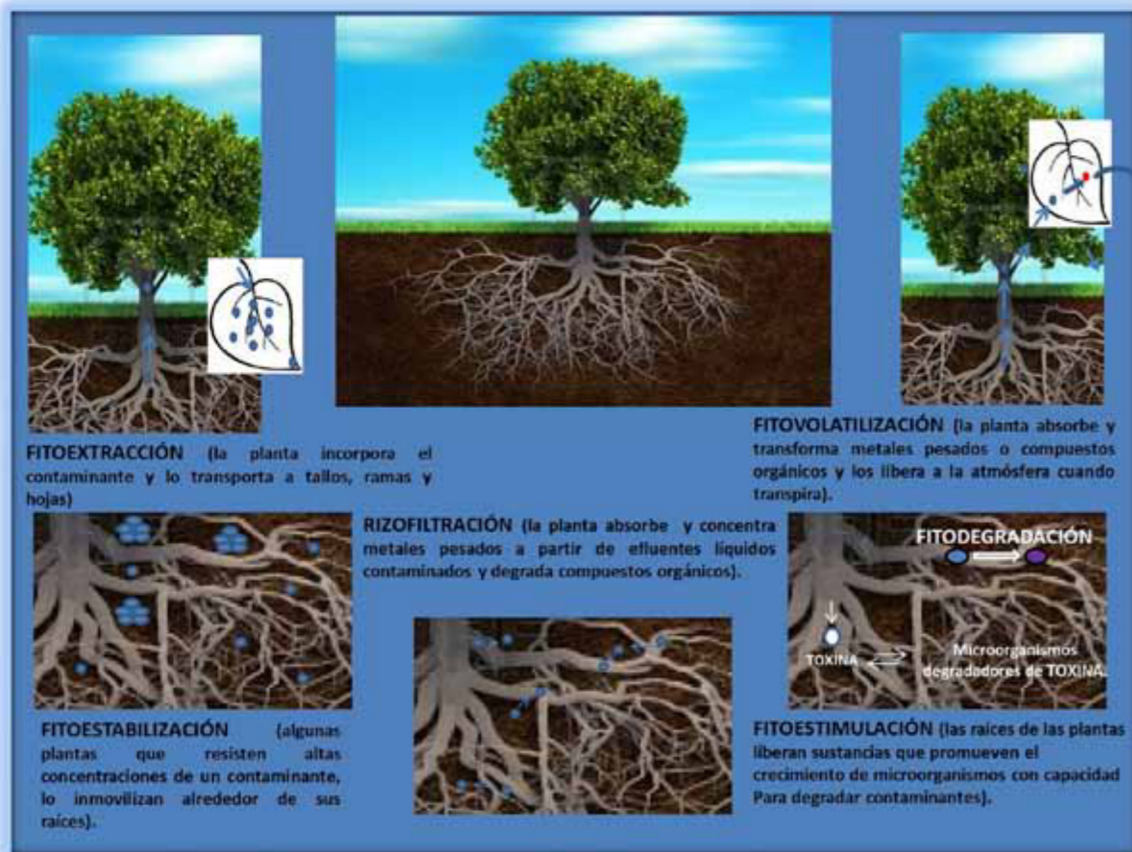


Figura 1. Principales mecanismos a través de los cuales las plantas pueden reducir la carga contaminante de un determinado sustrato

Podemos separar estos mecanismos en dos grandes grupos: aquellos que involucran principalmente la zona de la raíz (fitoestabilización, rizofiltración, fitoestimulación y fitodegradación) y aquellos que se relacionan con tallo y hojas (fitoextracción y fitovolatilización).

A la hora de diseñar un sistema de fitorremediación, los principales pasos a tener en cuenta y seguir son:



Figura 2. Pasos a seguir y tener en cuenta a la hora de plantear un esquema de fitorremediación

Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia. En la mayoría de los casos, se trata de cultivos conocidos. Así, el girasol (*Helianthus annuus*) es capaz de absorber grandes cantidades de uranio depositado en suelos afectados por este elemento. Los álamos (género *Populus*) absorben selectivamente níquel, cadmio y zinc. También la pequeña planta *Arabidopsis thaliana*, de gran utilidad para los biólogos, es capaz de hiperacumular cobre y zinc. Otras plantas comunes que se han ensayado con éxito como posibles remediadoras son: la alfalfa (*Medicago sativa*), la mostaza (género *Sinapis*), el tomate (*Solanum lycopersicum*), la calabaza (género *Cucurbita*), el esparto (*Stipa tenacissima*), el sauce (género *Salix*) y el bambú (subfamilia Bambusoidea). Incluso existen especies vegetales capaces de eliminar la alta salinidad del suelo, gracias a su capacidad para acumular cloruro de sodio.

Si bien son muchas y variadas las especies empleadas en fitorremediación, todas comparten una serie de características que las hacen propicias para esta técnica: crecimiento rápido, alta producción de tejido vegetal, raíces profundas, facilidad en su cosecha, buena competitividad (aptitud para crecer y competir por la luz y el alimento en lugares donde crecen varias especies vegetales) y capacidad para crecer en lugares contaminados, entre otras.

Ahora bien, existe una serie de factores que inciden sobre la velocidad y efectividad del proceso de fitorremediación en sí:

1) Tipo de Contaminante: dependiendo de si el contaminante es orgánico o inorgánico, la captación por parte de la planta va a ser más o menos dificultosa.

Para poder entender mejor lo que sigue, vamos a explicar algunos conceptos. Las células de las plantas poseen una capa que recubre y protege su interior llamada membrana plasmática. Esta membrana posee estructuras conocidas como transportadores específicos, que cuando reconocen un compuesto en el exterior de la célula permiten ingreso al interior, pero cuando no lo hacen, el compuesto no puede ingresar. Sería como si la membrana tuviera pequeñas puertas que se encuentran cerradas, cuando el compuesto tiene la forma de la llave puede abrir esa puerta y entrar y cuando no, la puerta permanece cerrada. Pero también puede ocurrir que esta membrana sea un poco más permisiva y cuando hay muchas moléculas del compuesto en el exterior y pocas dentro de la célula, éstas atraviesan sin problema la membrana hasta que la cantidad dentro de la célula sea igual a la cantidad fuera.

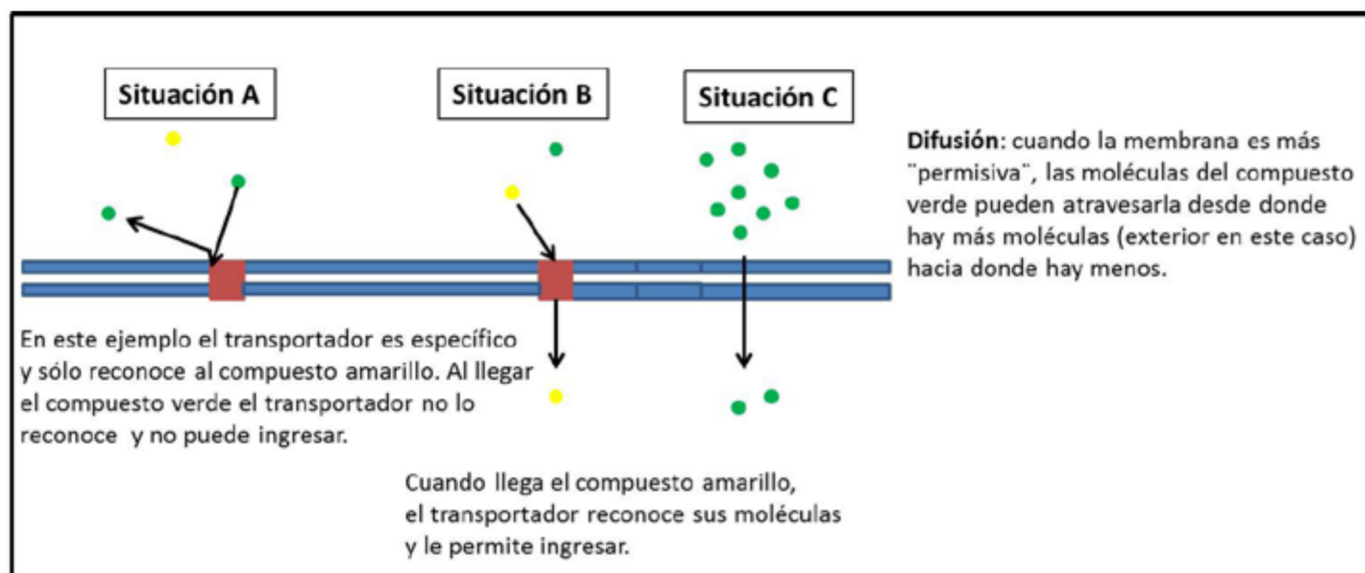


Figura 3. Esquema de una membrana plasmática, representando el transporte de moléculas mediante transportadores específicos y por difusión. Los círculos verdes, que no tienen un transportador específico en la membrana estarían representando a los contaminantes orgánicos, mientras que los amarillos que sí lo poseen representan contaminantes inorgánicos

Entonces para el caso de contaminantes orgánicos, que no tienen transportadores específicos en plantas e ingresan principalmente por difusión, tienden a ser menos tóxicos, no se acumulan a altos niveles y producen menos daño. En el caso de los contaminantes inorgánicos, al ser incorporados mediante procesos biológicos a través de los ya mencionados transportadores específicos presentes en la membrana plasmática (debido a que o bien son nutrientes o son similares a estos, es decir tienen la forma de la llave o una muy parecida y que también abre la puerta), causan toxicidad a través de daños en la estructura celular y reemplazan otros nutrientes esenciales.

Teniendo en cuenta estas características diferentes, en aquellos suelos en los cuales coexisten ambos tipos de contaminantes, el desarrollo de vegetación y en consecuencia, el éxito de la fitorremediación, se ven muy limitados.

2) Biodisponibilidad del contaminante. Este aspecto depende fuertemente de:

i. Características Físico-químicas: aquellos contaminantes que no se disuelven en agua (son hidrofóbicos) se unen fuertemente a la materia orgánica, con lo cual ya no pueden ser absorbidos por las plantas. Los contaminantes que se evaporan fácilmente, pueden liberarse a la atmósfera sin transformaciones, mientras que los que no, son degradados por las plantas o secuestrados.

ii. Propiedades del suelo: los rasgos más importantes a tener en cuenta son su textura (cómo es el tamaño de las partículas de suelo, si grandes, medianas ó pequeñas), conductividad eléctrica (la capacidad del suelo para dejar pasar corriente eléctrica), materia orgánica (es decir, qué proporción de los compuestos que forman el suelo son orgánicos), capacidad de intercambio catiónico (CIC) (en qué medida el suelo puede retener y liberar moléculas que tienen carga positiva) y estado nutrimental (sería algo así como una medida de si el suelo posee o no todos los nutrientes que las plantas van a necesitar para crecer) (Braddock *et al.*, 1997). Los suelos arcillosos (aquellos formados por partículas de tamaño pequeño y más compacto) retienen más agua que los arenosos (cuyas partículas son de tamaño más grande y se encuentran más separadas unas de otras) y tienen más sitios para unión de cationes, al igual que aquellos ricos en materia orgánica (humus). La biodisponibilidad de los contaminantes iónicos (es decir, qué tan libres están aquellos contaminantes que poseen carga positiva o negativa como para ser absorbidos por las plantas) está fuertemente influenciada por el pH del suelo.

Por último, los suelos contaminados desde hace mucho tiempo retienen más fuertemente los contaminantes que aquellos cuya contaminación ha sido reciente, motivo por el cual la fitorremediación se hace más difícil.

iii. Condiciones medioambientales: temperatura y humedad son los parámetros más importantes. Por ejemplo, para el caso de la humedad, algunos de los compuestos que se encuentran fuertemente retenidos cuando el suelo está seco, se disuelven en agua cuando llueve y de este modo, son más fácilmente absorbidos por las plantas.

3) Interacciones planta-microorganismo: las plantas pueden por un lado, estimular (a través de la producción y liberación de sustancias) el crecimiento de la población microbiana capaz de remediar y, por otro, mediante la liberación de metabolitos secundarios (aquellos compuestos que produce la planta y que no son vitales para su crecimiento y supervivencia, es decir, si la planta dejara de producirlos no pasaría nada), activar la expresión de genes vinculados a la degradación de contaminantes o actuar como co-metabolitos (compuestos que ayudan al metabolito a cumplir su función) en dicha degradación. Por su parte, los microorganismos que viven en la zona de las raíces pueden estimular el crecimiento de las mismas e inhibir la proliferación de organismos patógenos. Tanto plantas como microorganismos pueden, al liberar sustancias al medio, modificar la biodisponibilidad del contaminante.

SI LA COMPARAMOS CON OTROS MÉTODOS DE REMEDIACIÓN, ¿CUÁLES SON LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FITORREMEDIACIÓN?

Al analizar globalmente cuáles son los aspectos positivos y negativos vinculados al empleo de la fitorremediación como técnica para restaurar un determinado sustrato, las ventajas son claras. Primero cabe mencionar que al ser una tecnología sustentable (no requiere energía y permite reciclar agua, biomasa, nutrientes, entre otros), que produce menor cantidad de residuos secundarios y genera espacios verdes, posee una muy buena aceptación pública. En segundo lugar, nos permite descontaminar grandes superficies y puede realizarse tanto "in situ" (disminuyendo la diseminación de contaminantes a través del aire o el agua y evitando la excavación y el transporte de suelo con maquinarias de gran tamaño y peso) como "ex situ" (si bien es más costoso). Finalmente, es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos, aplicable a distintos tipos de sustratos (agua, aire, suelo, sedimentos) y sólo involucra prácticas agronómicas convencionales (fertilización, por ejemplo), actúa mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo (debido a la formación de una cubierta vegetal) y, quizá lo más importante a la hora de optar por emplear esta técnica, es que el costo asociado es de aproximadamente 7 a 10 veces menor (Chappell, 1998) que si se emplea un método convencional (como puede ser extraer porciones de suelo y "lavarlos", de modo que el contaminante se disuelva en el agua utilizada y se vaya con ella, reponiendo luego el suelo).

Al considerar las limitaciones inherentes a la técnica, se destacan:

- El proceso se restringe a la zona de penetración de las raíces o a aguas poco profundas. De este modo, cuando la contaminación alcanza un nivel muy profundo, la fitorremediación se torna más complicada en estas zonas;

- La fitotoxicidad se vuelve limitante en áreas fuertemente contaminadas (si bien es posible adicionar enmiendas para amortiguar la toxicidad de suelos y permitir así el desarrollo de vegetación);

- Los tiempos requeridos para la eliminación del contaminante pueden ser prolongados;

- La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante en la captación. Es decir, cuando el contaminante está fuertemente retenido por el suelo (poco biodisponible), las plantas no pueden absorberlo fácilmente y por lo tanto, la fitorremediación se hace más difícil;

- No es universal, el empleo de una planta depende de varios factores típicos del lugar a tratar. Por ejemplo, si yo tengo una planta que puede absorber Plomo del suelo, pero que sólo crece en lugares con climas fríos, no me va a servir para remediar un suelo contaminado por plomo en un lugar en el que la temperatura suele tener valores de 25 a 30°C, ya que en estas condiciones la planta no va a crecer;

Finalmente, es importante tener en cuenta que se requiere una buena comprensión de cuáles son los productos resultantes de la fitodegradación y un buen control del sistema para evitar ya sea la proliferación de plagas (en el caso particular de sistemas acuáticos) como contaminaciones potenciales en la cadena trófica. Respecto a este último punto, los protocolos de fitorremediación contemplan que una vez transcurrido el tiempo necesario para la extracción del contaminante, se cosecha la biomasa y se incinera o da otro curso (reciclado de metales o fitominería, por ejemplo) dependiendo de la sustancia, evitando de este modo el pasaje a lo largo de la cadena alimentaria.

ALGO CONCRETO: EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Sauces para energía y fitorremediación

En el marco de un proyecto a nivel nacional que combinó la fitorremediación y la obtención de energía, se sembraron

en Suecia 16000 hectáreas con sauces en plantaciones bajas de corta rotación. La fase inicial de esta iniciativa consistió en sembrar 15000 esquejes por hectárea. A partir de ese momento, cada 5 años y en invierno, se recolecta la biomasa sobre el nivel del suelo. Esta biomasa tiene dos destinos alternativos: almacenamiento o producción de energía en centrales térmicas. Luego de la recolección, las plantas rebrotan con fuerza, por lo que no requiere de una nueva plantación. Se ha estimado que el ciclo vital económico es de aproximadamente 20 a 25 años y la producción por hectárea y año de 6 a 12 toneladas (dependiendo de las condiciones del terreno).

Durante cada ciclo de crecimiento la plantación se emplea para el tratamiento de aguas residuales, lixiviado de vertidos, aguas de escorrentía de la industria maderera y fangos de cloaca y cenizas de madera (las cenizas de fondo se mezclan con los fangos y se aplican como fertilizantes que sustituyen a los inorgánicos convencionales). En todos los casos, simplemente se aplican los distintos desechos sobre el terreno mediante un sistema de riego.

Los resultados obtenidos hasta el momento superan en algunos aspectos las expectativas iniciales. Por ejemplo, para el tratamiento de aguas residuales si bien se esperaba poder extraer cerca de 50 kg de Nitrógeno por hectárea y por año, el resultado alcanzó los 200 kg.

Situación Argentina

Si bien en nuestro país no se ven casos de aplicación tan concretos como el citado anteriormente, existen una serie de estudios y/o proyectos cuyo objetivo final es la implementación de la técnica para la resolución de problemas de contaminación específicos. Entre estos podemos citar:

-“*Empleo del pasto cubano *Tithonia tubaeformis* en suelos contaminados con hidrocarburos*”: un grupo de investigación de la Universidad Nacional de Salta ha demostrado la capacidad de esta planta para la remoción de aceite usado de autos.

-“*Proyecto INTI de prevención, identificación y remediación de problemas medioambientales*”: se evaluó el uso potencial de *Discaria americana* en restauración de suelos contaminados. De acuerdo a los datos obtenidos, *D. americana* sería una especie adecuada para la fitoestabilización de Zinc edáfico y para su fitoextracción en suelos enmendados con biosólidos (residuos que se obtienen del tratamiento de aguas residuales). Sin embargo, se han observado síntomas de toxicidad cuando las dosis de aplicación de biosólidos son elevadas.

- "Saneamiento de la Cuenca Matanza-Riachuelo": desde hace más de 20 años el grupo de Higiene y Sanidad de la Facultad de Bioquímica y Farmacia de la Universidad de Buenos Aires (UBA) viene investigando problemas asociados a la contaminación de distintos cursos de agua. Actualmente y en cooperación con la Cátedra de Química Analítica de la Facultad de Agronomía de la UBA y el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, se estudian la dinámica y toxicidad de contaminantes en la Cuenca Matanza-Riachuelo y ensayan posibles estrategias de fitorremediación.

- "Contaminación por boro: Estudio anatómico y capacidad fitoextractora de especies vegetales creciendo en el Valle de Lerma, Provincia de Salta": en este caso, que representa mi trabajo de tesis doctoral, se estudia entre otros aspectos la potencialidad de tres especies silvestres (*Nicotiana glauca* L., *Atriplex* sp. y *Brassica* sp.) para remediar suelos en los cuales las concentraciones de boro son elevadas. Se evalúa a través de cuál de los 6 mecanismos citados anteriormente actúan dichas especies y cuáles son los cambios morfo-anatómicos que el boro induce en las mismas.

"Contaminación por boro: estudio anatómico y capacidad fitoextractora de especies vegetales creciendo en el Valle de Lerma, Provincia de Salta".

Mi trabajo de tesis podría dividirse en dos partes.....

Por un lado, el estudio de cómo afecta la contaminación por boro a la estructura y las características de las plantas (*Nicotiana glauca*, *Atriplex* sp, *Brassica* sp. Y *Phaseolus vulgaris*). Para esto, por una lado se toman muestras de las plantas cuando crecen en lugares contaminados y se las compara con muestras de las mismas plantas que han crecido en suelos sin contaminación.

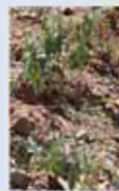
Por otro lado, se realizan experimentos en laboratorio para observar cómo es la germinación, el crecimiento y las características de las plantas cuando hay contaminación con boro y cuando no la hay.

Experimento realizado para estudiar la germinación, se colocan semillas en recipientes y a cada recipiente se le agrega agua con y sin boro.



Plántula de Poroto (*Phaseolus vulgaris*)

La segunda parte consiste en tomar muestras de plantas que crecen en suelos contaminados con boro y analizar cómo es la concentración de este elemento en las diferentes partes de la planta. Para poder hacer esto, se mide cuál es la concentración de boro en el suelo en el que creció la planta, en sus raíces y en sus tallos y hojas. Aquellas plantas que puedan absorber el boro del suelo y transportarlo a sus tallos y hojas, podrían ser utilizadas para remediar suelos con altas concentraciones de boro.



Tallos y hojas
Separamos la planta en Raíces
Se toma muestras de suelo.

Determinamos boro en las 3 porciones.

Plántulas de poroto creciendo en macetas. El objetivo es ver como la presencia o ausencia de boro modifica el crecimiento de las plantas.



RESUMIENDO

A lo largo de la historia, la abundancia de grandes extensiones de tierra, ha permitido el abandono de zonas con riesgo de contaminación o su reutilización con fines alternativos. Debido a esto, la remediación de suelos ha sido uno de los aspectos de la rehabilitación ambiental que menos interés ha recibido en el pasado. En los últimos años, el interés científico y social en las técnicas de fitorremediación se ha incrementado considerablemente debido a varias razones: extensa contaminación de suelos, avances en el conocimiento científico de los mecanismos y funciones de los organismos y ecosistemas, la presión de la opinión pública e intereses políticos y económicos.

Si bien la fitorremediación es una tecnología que se encuentra en desarrollo, tiene un enorme potencial para hacer frente a la creciente contaminación que el hombre genera. El hecho de ser una técnica que se ve muy influenciada por una gran diversidad de factores (características del suelo, condiciones climáticas, biodisponibilidad de contaminantes, etc.), no limita su aplicabilidad, sino que pone de manifiesto la necesidad de generar grupos de estudio multidisciplinarios que contemplen todos estos aspectos y brinden soluciones conjuntas. En este sentido, tampoco se plantea el empleo aislado de la fitorremediación como única alternativa para la recuperación de sitios contaminados, sino que se postula como una herramienta adicional que ayuda al saneamiento de dichas zonas. La comprensión de este aspecto es esencial, particularmente en áreas con un alto grado de contaminación en las cuales cuando se han aplicado técnicas de un solo tipo, en muchos casos han fracasado.

Se espera que en los próximos años, debido a su progresiva aceptación pública, mayor conocimiento y bajo costo, la fitorremediación se contemple en las acciones de los distintos gobiernos tendientes a recuperar sitios contaminados y se impulsen proyectos de investigación que permitan dilucidar aquellos aspectos sobre los cuáles el conocimiento actual es limitado.

Literatura Citada

- Braddock, J. F., M. L. Ruth, P. H. Catterall, J. L. Walworth y K. A. McCarthy. 1997. Enhancement and inhibition of microbial activity in hydrocarbon-contaminated arctic soils: implications for nutrient-amended bioremediation. *Environ.Sci. Technol.* 31: 2078-2084.
- Chappell, US Environmental Protection Agency, 1998.

Literatura Sugerida

- Delgadillo-Lopez et al. Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution. *Tropical an Subtropical Agroecosystems.* 14:597-612. 2011;
- Dimitriou I. Aronsson P. Sauces para energía y fitorremediación en Suecia. Sitio FAO.
- Dietz A. C., Schnoor J. L. *Environmental Health Perspectives.* Vol.109.2001;
- LARENAS PARADA, Giovanna y DE VIANA, Marta L. Germinación y supervivencia del pasto cubano *Tithonia tubaeformis* (Asteraceae) en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. *Ecol. austral.* (2005), Vol.15, Nro.2, pp: 177-181;
- Pilon-Smith. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology,* 56: 15-39. 2005;
- Revista Nuestra Farmacia (Universidad de Buenos Aires). Sección Medio Ambiente. 2007-N°50;
- Libro de Resúmenes INTI "Encuentro de Primavera 2009".