

Sesión Especial

**FITO, BIO Y NANOTECNOLOGÍAS
PARA LA REMEDIACIÓN DE
SITIOS CONTAMINADOS
CON METALES PESADOS
CONSIDERANDO SERVICIOS
AL ECOSISTEMA**

Organizadores:

Rogelio Carrillo González

María del Carmen Angeles González Chávez

SE10-1

REHABILITACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS: UN ENFOQUE HOLÍSTICO

Carrillo González Rogelio y González Chávez Ma. del Carmen Ángeles
Colegio de Postgraduados
 crogelio@colpos.mx

El número de sitios con problemas de degradación química causado por contaminantes es creciente, según las estadísticas oficiales hay más de 480 sitios contaminados en el país. Los volúmenes de residuos y la extensión de suelos contaminados no esta propiamente documentada, se estima que más de 1.5 millones de toneladas de residuos son producidas por mes y depositados a cielo abierto. Así que es económicamente incosteable el uso de los procedimientos físicos o químicos convencionales, para rehabilitar los suelos contaminados. Recientemente el gobierno federal incluyo la rehabilitación de suelos contaminados con metales pesados como prioridad de la región central del país. La presente trabajo consiste en una aproximación integral del uso de plantas y microorganismos para generar tecnología de remediación de sitios contaminados.

La iniciativa se apega a la reglamentación oficial vigente, pero incluye ajustes metodológicos basados en el estado del arte de la información científica sobre el tema. Se plantea hacer la caracterización y diagnóstico de cada sitio, como base para designar prioridades. Asimismo, propone llevar los mejores resultados de invernadero a experimentos en tres estados del país (México, Guerrero e Hidalgo) a nivel de campo para el ajuste tecnológico: incluyendo el acondicionamiento físico de los sitios, evaluación de enmiendas (para mitigar el efecto tóxico de la contaminación), la selección de organismos (microflora y plantas adaptados a crecer en condiciones extremas de contaminación) para la remediación de superficies piloto y el seguimientos del proceso de remediación, considerando el entorno físico y socioeconómico, como involucramiento de la sociedad y empresas responsables de la contaminación. Se considera la participación de expertos internacionales como asesores.

Esta investigación es financiada por el proyecto FORDECYT 191357.

SE10-2

ABSORBER, INMOBILIZAR O ATRAPAR: LA FUNCIÓN DE LAS PLANTAS EN LA REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS POR ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS

Sánchez López Ariadna¹, González Chávez Ma. del Carmen Ángeles² y Carrillo González Rogelio²

¹*Edafología, COLPOS*
²*Colegio de Postgraduados*
 ariadnas@colpos.mx

Los suelos contienen en forma natural elementos potencialmente tóxicos (EPT) como resultado del intemperismo. Sin embargo, las actividades antropogénicas aumentan drásticamente la liberación de éstos al ambiente. Un ejemplo es la minería; la cual al margen de su importancia económica y social tiene consecuencias ambientales adversas. Ante la problemática ambiental y de salud pública que representa la contaminación por EPT han surgido diversas alternativas: físicas, químicas y biológicas. Dentro de estas últimas se encuentra la fitorremediación, una de las alternativas más viables. Debido, a que la información respecto a la fitorremediación ha sido generada rápidamente, se ha llegado a la confusión en el uso de términos, así como en la interpretación de resultados. Por lo que se describirán los términos y definiciones consideradas adecuadas. La fitorremediación consiste en el uso de plantas para rehabilitar la función de sitios degradados. En el caso de los EPT las plantas pueden actuar principalmente por dos vías: fitoextracción y fitoestabilización. La primera se basa en la capacidad de algunas especies para acumular altas concentraciones de EPT en su parte aérea. De este modo se lleva a cabo la remoción de contaminantes del suelo; por lo que se considera el uso de plantas acumuladoras e hiperacumuladoras para este fin. Sin embargo, la fitoextracción tiene algunas limitantes para su aplicación en campo, como la dependencia de la producción y velocidad de regeneración de biomasa; así como el empleo de plantas con capacidad de acumular altas concentraciones de EPT en su parte aérea. La fitoestabilización no depende de los factores mencionados, ya que consiste en la inmovilización de dichos elementos en la raíz de la planta o en su rizósfera. Las plantas útiles para fitoestabilización toleran altas concentraciones de EPT en suelo, sin necesidad de que éstos sean absorbidos y posteriormente transportados a la parte aérea. Este tipo de plantas se denominan estabilizadoras y son más comunes que las extractoras. Se presentarán los criterios de clasificación actuales respecto a la acumulación de EPT por las plantas. Además se describirá en un estudio de caso otra vía de remediación: las plantas como barrera física contra la dispersión de partículas que contienen EPT.

Este trabajo forma parte del proyecto FORDECYT 191357.

SE10-3

ATENUACIÓN INDUCIDA DE METALES PESADOS POR USO DE LEGUMINOSAS Y SUS SIMBIONTES

Noguez Iniesta José Alfredo¹, González Chávez Ma. del Carmen Ángeles¹, Carrillo González Rogelio¹ y Mendoza Hernández José Carlos²

¹*Edafología, COLPOS*
²*Ingeniería Ambiental, BUAP*
 jalfredo_noguez@hotmail.com

La presencia de metales pesados o elementos potencialmente tóxicos (EPT) en los suelos tiene implicaciones importantes para el desarrollo de las plantas. Los efectos negativos de los EPT en los organismos son diversos y dependen de la naturaleza del contaminante, su concentración y la fracción biodisponible. Concentraciones superiores a los límites permisibles de los EPT limita el uso de tecnologías convencionales de remediación. A diferencia de los compuestos orgánicos, los EPT no se degradan, por lo que la remediación de suelos requiere de su extracción o estabilización. La extracción es económicamente incosteable, por lo que la búsqueda de métodos alternativos, rápidos, accesibles, amigables con el ambiente, estéticamente agradables y aplicables a grandes extensiones, ha obligado a pensar en biotecnologías como la fitorremediación. Este estudio se enfoca en la fitorremediación de suelos contaminados con EPT mediante la fitoestabilización y el uso de leguminosas. En sitios contaminados con EPT, las leguminosas pueden ser especies pioneras. Las bacterias que se asocian a su sistema radical, formando nódulos, pueden mejorar la fertilidad del suelo por su capacidad de fijar simbióticamente nitrógeno y favorecen la supervivencia de la planta. La fitoestabilización en el suelo no remueve el contaminante; sin embargo, reduce los efectos tóxicos de los EPT al minimizar su biodisponibilidad mediante la fitoacumulación de éstos en raíz. Por otro lado, existen pruebas de que el uso de enmiendas favorece la disminución de la biodisponibilidad y lixiviación de algunos EPT y en consecuencia sus efectos tóxicos. La combinación del uso de enmiendas con tecnologías de fitorremediación podría ayudar a atenuar los efectos negativos de estos contaminantes.

Este trabajo forma parte del proyecto FORDECYT 191357.

SE10-4

FITORREMIACIÓN ASISTIDA POR MICROORGANISMOS: BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO DE PLANTAS

Perea Velez Yazmin Stefani¹, González Chávez Ma. del Carmen Ángeles², Carrillo González Rogelio² y Mendoza Hernández José Carlos³

¹*Edafología, COLPOS*
²*COLPOS*
³*BUAP*
 steperea0078@yahoo.com.mx

La fitorremediación ha surgido como una alternativa viable para el tratamiento in situ de suelos altamente contaminados con elementos potencialmente tóxicos (EPT). Sin embargo, como parte de un esfuerzo para aumentar la eficiencia de esta tecnología, se propone utilizar la diversidad bacteriana en conjunto con las plantas. La asociación de plantas con microorganismos mejora la eficiencia de la fitorremediación, debido a que los microorganismos son capaces de alterar la biodisponibilidad de los EPT. Además, esta asociación mejora tanto la tolerancia de las plantas a los EPT, como la producción de la biomasa vegetal. Metabolitos como los sideróforos, el ácido indolacético y otros ácidos; así como, enzimas que alteran los niveles de hormonas en las plantas participan en procesos que operan en la rizósfera y tienen funciones destacadas en la absorción de nutrientes, el control de organismos patógenos, la elongación celular y la regulación de la actividad metabólica de la raíz. También mejoran los procesos de desintoxicación de EPT en las plantas. Descubrir cepas bacterianas que sean capaces de sintetizar dichos metabolitos (conocidas como bacterias promotoras de crecimiento de plantas, BPCP), abre áreas de oportunidad prometedoras en el campo de la fitorremediación. Actualmente, existen dos enfoques para buscar BPCP con aplicación en la fitorremediación de suelos contaminados con EPT. El primer enfoque se basa en aislar cepas nativas de los suelos contaminados para utilizarlas como inoculantes. Mientras que el otro, propone usar cepas de BPCP que tienen uso en la agricultura. Sin embargo, se prefiere seguir la primera estrategia, debido a que los microorganismos autóctonos están adaptados a la presencia de EPT. Durante los últimos años los estudios de fitorremediación a nivel invernadero se ha observado que la aplicación de BPCP incrementa la tolerancia de las plantas a los EPT, y al mismo tiempo se ha reportado aumento significativo en la producción de biomasa. No obstante, se requiere de mejor comprensión de los procesos en la rizósfera, lo cual ayudará a escalar a campo los resultados obtenidos en experimentos en macetas y al mismo tiempo, mejorar la eficiencia de la fitorremediación.

Este trabajo forma parte del proyecto FORDECYT 191357.

SE10-5

ASLAMIENTO IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO AISLADAS DE JALES MINEROS DE ZIMAPAN HIDALGO

Mendoza Hernández José Carlos¹, Pérez Osorio Gabriela¹, Arriola Morales Janette¹, González Chávez Ma. del Carmen Ángeles², Carrillo González Rogelio², Perea Velez Yazmin Stefani², Molina Padilla Yedris¹ y Mendoza Roman Victor¹

¹BUAP

²Colegio de Posgraduados
jchartyhm@yahoo.com

La microflora del suelo está cambiando constantemente por las dinámicas ambientales, incluyendo la limitación de los nutrientes, agua disponible, la exposición a elevadas temperaturas, acidez, metales pesados, elevada osmolaridad y alta salinidad. Para soportar estas condiciones adversas, los microorganismos evolucionan por modificación en la expresión de genes, la actividad enzimática y las proteínas transportadoras: Esto les da la habilidad para soportar nuevas condiciones ambientales. Los suelos pueden llegar a ser contaminados con metales pesados de una gran variedad de fuentes antropogénicas como fundidoras, minas, estaciones eléctricas, industrias y la aplicación de metales como plaguicidas, fertilizantes y lodos activados. En la actualidad las investigaciones están dirigidas para aumentar la eficiencia y disminuir el costo de adsorbentes y limitar el impacto ambiental. Los tratamientos biológicos que se basan en los procesos microbianos y la biomasa de las plantas ofrecen amplia aplicación en la reducción de los niveles de metales tóxicos y obtención de límites aceptables para el medio ambiente. Estos tratamientos se usan para remover los iones metálicos de diferentes matrices y son viables por su costo-beneficio. Los mecanismos de biosorción de metales por los microorganismos ocurren a través de la complejación, coordinación, adsorción física, quelación, intercambio iónico, precipitación inorgánica o una combinación de estos procesos. La remoción de los metales por los microorganismos es un proceso complejo que depende de la química de los iones metálicos, composición de la pared celular, la fisiología celular y los factores fisicoquímicos tales como pH, temperatura, tiempo, estado de oxidación y la concentración del metal. En este trabajo de la rizosfera de plantas establecidas naturalmente en residuos de minas de Zimapán, Hidalgo se determinaron las concentraciones de metales totales y extractables con DPTA de Cu, Fe, Cr, Zn, Mn, Pb, Ni, Cd, As y Hg mediante absorción atómica. Se realizó el aislamiento, identificación y caracterización bioquímica de bacterias de la rizosfera, así como la evaluación de éstas en el crecimiento en plantas de *Pisum sativum*. La concentración total de Pb (49-912 mg/kg), de Cd (2.6-1.5 mg/kg) y As (30-15,820) sobrepasaron los límites permisibles establecidos por la (NOM-147-SEMARNAT/SSA1,2004) para uso de suelo agrícola/residencial/comercial. Se aislaron 554 bacterias; de las cuales 22% solubilizó fosfato, 21% produjo la fitohormona ácido indol acético (AIA) en concentraciones de 0.05 a 11.2 µg/mL (concentración bacteriana de 1x 10⁶ bacterias/mL) y solo 10% produjo la enzima ACC deaminasa. Las cepas bacterianas que presentaron la mayor cantidad de AIA, ACCdeaminasa y fueron solubilizadoras de fosfatos se identificaron por biología molecular. Éstas correspondieron a los géneros de *Pantoea*, *Enterobacter*, *Serratia* y *Escherichia*. Por tanto, estas bacterias pueden considerarse como promotoras del crecimiento de plantas. *Pantoea* incrementó significativamente ($p < 0.05$) el volumen radical de plántulas de chícharo (32 cm) en comparación con plantas no inoculadas (22 cm); así como también la elongación del tallo (17 cm vs 11 cm, respectivamente). Estas bacterias son promisorias para su uso en la fitorremediación, se continúan los estudios para probar esta hipótesis.

SE10-6

¿ES POSIBLE USAR SUELOS DEGRADADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE INTERÉS BIOENERGÉTICO?

Ruiz Olivares Alejandro, González Chávez Ma. del Carmen Ángeles y Carrillo González Rogelio
Edafología, CP
sabio_sion@hotmail.com

La creciente demanda energética en el mundo y el agotamiento paulatino de las reservas petroleras ha hecho que se busquen nuevas fuentes de energía. Los biocombustibles son una de las más recurridas en la actualidad. Sin embargo, para su generación, se han desplazado tierras destinadas a la producción de cultivos alimenticios, lo cual ha reducido la oferta y abasto de los mismos. A raíz de esta problemática, algunos investigadores han sugerido aprovechar áreas degradadas de escaso valor agronómico para la producción de bioenergéticos. Un ejemplo, son los suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos (EPT) o metales pesados. En los EPT se incluye un amplio grupo de elementos que en ciertas concentraciones son tóxicos para los organismos y reducen la capacidad de las tierras para soportar el crecimiento de las plantas. La minería, la industria y la agricultura son actividades que liberan EPT al ambiente. Para aprovechar los sitios contaminados, es necesario que los cultivos se adapten a las condiciones de éstos. El presente trabajo, muestra un ejemplo exitoso de ello. *Ricinus communis*, una Euphorbiaceae de origen africano y que se usa

ampliamente como recurso bioenergético por el aceite en sus semilla, posee características útiles en la fitorremediación de suelos contaminados, ya que puede tolerar altas concentraciones EPT y desarrollarse en dichos sitios. El estudio se realizó en Zimapán, Hgo., una zona minera en la que se generan grandes volúmenes de residuos que contaminan el ambiente que los rodea. Se evaluó la capacidad de *R. communis* para desarrollarse naturalmente en estos sitios y producir aceite. Se seleccionaron 18 sitios de muestreo y se incluyó un testigo de un sitio no contaminado. El residuo rizosférico en cada sitio se caracterizó fisicoquímicamente, se determinó el rendimiento de semillas y su porcentaje de aceite, la concentración de EPT en el aceite y en la biomasa vegetal. En la rizósfera se encontraron concentraciones altas de Pb, Cu, Zn y Cd (hasta 238, 123, 1069 y 23 mg/kg, respectivamente), las cuales superaron los umbrales de fitotoxicidad, pero las plantas no presentaron síntomas de daño. En dos sitios se detectaron valores extremadamente bajos de pH (3 y 5). *R. communis* no acumula concentraciones altas de EPT. Así mismo, en siete sitios, las plantas se encontraron produciendo semillas con un alto porcentaje de aceite (41-64%), similar al que se encuentra en plantas que crecen en sitios no contaminados. El aceite tuvo concentraciones bajas de EPT, estadísticamente iguales a las encontradas en el aceite de la planta testigo. Por tanto, este recurso bioenergético, es aprovechable sin el riesgo de transferencia de EPT. Al producir materia prima para biocombustibles en sitios contaminados se pueden enfrentar dos problemas: la producción de materia prima para de la creciente demanda energética y la remediación de los sitios.

Este trabajo forma parte del proyecto FORDECyT 191357.

SE10-7

BIOCHAR Y JATROPHA CURCAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS PRESENTES EN RESIDUOS MINEROS

Hernández Godínez María Isabel, González Chávez Ma. del Carmen Ángeles y Carrillo González Rogelio

Edafología, COLPOSA
isa.hergz@gmail.com

La contaminación de los suelos por elementos potencialmente tóxicos (EPT) representa un problema ambiental muy importante. Los EPT al no degradarse persisten en el suelo por periodos muy largos, al acumularse hacen del suelo un sistema poco apto para soportar la vida y pueden causar la pérdida gradual de los ecosistemas. La magnitud de esta problemática ha sido la pauta para el desarrollo de diferentes alternativas que contribuyen a la reducción de la disponibilidad de los EPT y sus efectos tóxicos. Entre las técnicas que destacan están la fitorremediación y el uso de enmiendas. El presente trabajo plantea la combinación de estas técnicas (*Jatropha curcas* y biochar) para la estabilización de EPT presentes en residuos de minas; las cuales pueden asistir el efecto de remediación física y química. La fitorremediación involucra el uso de ciertas especies vegetales para absorber, metabolizar o transformar contaminantes del ambiente. Dentro de la fitorremediación se considera la fitoestabilización, la cual es una alternativa biológica que emplea plantas con la finalidad de inmovilizar los EPT presentes en la interfase de la raíz y el suelo. Otros alcances de esta técnica son la mejora visual del paisaje y el aumento de la diversidad y actividad de los microorganismos benéficos de la rizósfera (ambiente influenciado por las raíces de las plantas). Los microorganismos actúan sinérgicamente con la planta para inmovilizar los EPT, mediante la alteración de su movilidad y biodisponibilidad. *Jatropha curcas* es una planta que ofrece múltiples beneficios en suelos contaminados. La abundancia de sus raíces puede contribuir a la generación de agregados en el suelo, disminuir paulatinamente el deterioro de la erosión del suelo y el lavado de nutrientes, además proveer una superficie en donde se puede llevar a cabo el restablecimiento de los microorganismos benéficos. Se ha visto que esta planta tiene la capacidad de estabilizar EPT por medio de exudados que alteran el pH, las reacciones de óxido-reducción y el secuestro de EPT en la raíz. El uso de enmiendas favorece el balance del pH, proporciona material orgánico, mejora la textura, porosidad, entre otros efectos benéficos, lo cual contribuye al restablecimiento de la comunidad microbiana de un suelo contaminado. El biochar o biocarbón es un material posiblemente útil para mejorar suelos contaminados. Éste resulta del proceso de pirólisis de materiales orgánicos. Se ha demostrado que este material incrementa el secuestro de carbono y nitrógeno, reduce la biodisponibilidad y lixiviación de los EPT a través de adsorción y otras reacciones físico-químicas.

Este trabajo forma parte del proyecto FORDECyT 191357.

SE10-8

NANOTECNOLOGÍA APLICADA AL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Martínez Gómez Miriam Araceli, Carrillo González
Rogelio y González Chávez Ma. del Carmen Ángeles
Edafología, COLPOS
miriam_amg@hotmail.com

En los últimos años la aplicación de tecnologías novedosas en el suelo se orienta a satisfacer diversas necesidades que incluyen el mejoramiento de la fertilidad, sensores de nutrientes y plaguicidas, protección de cultivos, atenuación de contaminantes, entre las principales. Sin embargo, hay un creciente interés, por las aplicaciones ambientales, debido a la crisis ambiental que vivimos. El presente trabajo aborda las diferentes modalidades potenciales de aplicación de la nanotecnología en la agricultura, pero hace especial énfasis de su aplicación para el control de la contaminación del suelo. Debido a que la nanotecnología ofrece alternativas eficientes para los procesos de transporte, estabilización y extracción de compuestos orgánicos, metales y ciertos metaloides. Así, el avance en el desarrollo de biosensores permite la detección en tiempo real de residuos de plaguicidas organoclorados, organofosforados y carbamatos. Lo anterior representa una ventaja con respecto a las técnicas tradicionales de diagnóstico que implican altos costos y largos periodos de análisis. Por otro lado, se reporta con éxito, el uso de nanomateriales para la degradación fotocatalítica de plaguicidas organoclorados. Además, es posible que el empleo de nanopartículas poliméricas a partir de poli(etileno) mejoren la disponibilidad, en el suelo y fase acuosa, de contaminantes orgánicos hidrofóbicos, p.e. hidrocarburos aromáticos polinucleares. Una vez disponibles, estos contaminantes pueden tratarse a través de la atenuación natural o por métodos químicos. El uso de esta tecnología depende en gran medida de la comprensión de las interacciones entre los componentes del suelo y los factores físicos, químicos y biológicos a los que está expuesto. Asimismo, las escasas investigaciones sobre el empleo de la nanotecnología en el suelo y la complejidad de este sistema, limitan la comprensión integral del comportamiento de las nanopartículas de origen antropogénico. En consecuencia, se dificulta la evaluación de riesgos ambientales (desequilibrio de comunidades microbianas sensibles, alteraciones en los ciclos de nutrientes, magnificación trófica), y toxicológicos que se deriven de la introducción de esta tecnología en el suelo.

Este trabajo forma parte del proyecto FORDECyT 191357.