



BOLETÍN ELECTRÓNICO INFORMATIVO SOBRE PRODUCTOS Y RESIDUOS QUÍMICOS

Año 3 N° 30, Octubre, 2007

Editor: Ing. Jorge Eduardo Loayza Pérez
FQIQ. UNMSM. Lima. Perú

El **Boletín Electrónico Informativo sobre Productos y Residuos Químicos** se publica mensualmente para proporcionar a los lectores una visión integral y actualizada del manejo de los productos y residuos químicos, con la finalidad de proteger la salud y el ambiente.

REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

Los suelos que han sido contaminados con residuos o desechos químicos peligrosos, deben ser tratados con la finalidad de alterar la composición de estas sustancias o evitar su desplazamiento (o migración) a otros medios. Al tratamiento, utilizando diversas tecnologías, se les conoce con el nombre genérico de remediación. La selección de una tecnología requiere tener en cuenta diversos factores, entre los cuales se pueden destacar:

- Características específicas del sitio contaminado (caracterización).
- Propiedades fisicoquímicas del contaminante.
- Disponibilidad de la tecnología.
- Confiabilidad demostrada o proyectada.
- Estado de desarrollo (laboratorio, escala piloto o industrial).
- Costo. (Adaptado de Sellers, 1999).

Las tecnologías de remediación se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios:

a) Según la estrategia de remediación.

Se tienen tres estrategias básicas que pueden usarse separadamente o en conjunto, para remediar la mayoría de los suelos contaminados (sitios).

a.1) Destrucción del contaminante. Esto se logra mediante la modificación de su estructura química. Por ejemplo, incineración de suelos contaminados con plaguicidas organofosforados.

a.2) Extracción o separación. Los contaminantes se extraen y/o separan del sitio contaminado, aprovechando sus propiedades físicas o químicas (por ejemplo, volatilización, solubilidad, carga eléctrica, etc.). Por ejemplo, lavado de suelos contaminados con sales solubles.

a.3) Aislamiento o inmovilización del contaminante. Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos o químicos. Por ejemplo, solidificación de suelos usando cemento tipo Portland.

(Continúa en la Página 2)

TOXICIDAD DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS (Primera Parte) por Adriana Casabella (Argentina)

(adrianacasabella@yahoo.com.ar)

INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas organoclorados han beneficiado a la humanidad con muchas aplicaciones prácticas: esencialmente en el combate de plagas de cultivos, de animales e incluso del ser humano.

El número que existe de familias y de compuestos químicos específicos es muy amplio, y casi se puede decir que, para cada plaga y cultivo existe un formulado definido. Aquí, es necesario resaltar que todos los plaguicidas son tóxicos aunque su grado de toxicidad sea variable.

El DDT, un representante por excelencia, resultó sumamente efectivo como insecticida debido a lo cual se comenzó a usar, junto con sus análogos de grupo, en forma masiva e indiscriminada en campañas contra el paludismo y otras enfermedades insidiosas con resultados muy buenos. Una de las razones de su gran éxito era que resultaba barato pero además, por su modo de empleo simple, bastaba un tratamiento al año, a veces cada dos o tres años, y se podía erradicar cualquier insecto.



Foto N° 1 Campaña de fumigación, DDT y mosquito trasmisor de paludismo
(Fuente: <http://graphics8.nytimes.com/images/2004/04/08/magazine/>)

En orden de toxicidad de mayor a menor figuran: endrín, aldrín, endosulfán, dieldrín, toxaféno, lindano, hexaclorobenceno, DDT, heptacloro, kepone, terpenos policlorados, clordano, dicofol, clorobencilato, mirex y metoxicloro.

En general los insectos tienden a presentar resistencia para cada grupo de insecticidas organoclorados, pero no la desarrollan entre grupos. En el caso de los plaguicidas, se considera residuo químico peligroso, no sólo el producto en sí, sino también sus metabolitos y productos de degradación o de reacción. No es extraño que se diseñen insecticidas en los cuales el producto original debe ser primero degradado para ejercer luego la acción.

Tienen muy alta estabilidad, los enlaces C-C y C-Cl (energía de enlace \cong 80 Kcal) poseen baja reactividad, en consecuencia gran persistencia, y sin una descomposición significativa (caso del DDT, Aldrin y Dieldrin), otra característica es que son solubles en disolventes orgánicos e insolubles en agua, por eso se absorben mejor en aquellas preparaciones con disolventes orgánicos.

(Continúa en la Página 2)

TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN (CONTINUACIÓN)

b) Según el lugar en que se realiza el proceso de remediación.

Se distinguen dos tipos de tecnologías:

b.1) In situ. En este caso el suelo contaminado es tratado, sin necesidad de retirar el sitio. Es decir este tipo de remediación se realiza en el mismo lugar en donde está el suelo contaminado. Por ejemplo, fitorremediación.

b.2) Ex situ. La realización de este tipo de tratamiento requiere excavar el sitio, dragarlo o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado y trasladarlo a otro lugar cercano o lejano. Se tienen dos opciones on site o offsite. Por ejemplo, landfarming.

c) Según el tipo de tratamiento.

Este criterio de clasificación se basa en el principio de la tecnología de remediación y se divide en tres tipos de tratamiento:

c.1) Tratamientos biológicos (o biorremediación). Utilizan las actividades metabólicas de ciertos microorganismos (plantas, hongos o bacterias) para degradar (destruir), transformar o remover los contaminantes hacia productos metabólicos inocuos. Por ejemplo, fitorremediación de suelos contaminados con el lindano (contaminante orgánico persistente).

c.2) Tratamientos fisicoquímicos. En este caso se aprovechan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación. Por ejemplo, extracción con aire de COV.

c.3) Tratamientos térmicos. Estos métodos utilizan el calor para incrementar la volatilización, separación, quemar, descomponer o fundir (inmovilizar) los contaminantes en el suelo. Por ejemplo, tratamiento de suelos con vapor para extraer sustancias con elevada presión de vapor.

c.4) Tecnologías tradicionales. Son tecnologías utilizadas comúnmente a gran escala, cuya efectividad ha sido probada. Entre las tecnologías tradicionales usadas con mayor frecuencia se tienen: la incineración in situ y ex situ, la solidificación / estabilización, la extracción de vapores y la desorción térmica. (Información adaptada de Van Deuren et al. 1997, Sellers, 1999, EPA, 2001).

Jorge Loayza, Tratamiento de suelos contaminados. Apuntes de clase. Curso: Contaminación Ambiental. FQIQ. UNMSM. Lima. 2007

Todos ellos comparten el mismo mecanismo biológico: son compuestos con alta afinidad por los lípidos y difícilmente eliminables por procesos fisiológicos, como consecuencia, tienden a acumularse en mayor o menor proporción en los tejidos grasos, de allí que los animales que se encuentran en la cima de las cadenas tróficas son los que suelen presentar mayor cantidad de estos contaminantes. Su uso ha sido prohibido en la mayoría de los países industrializados por su persistencia en el medio, su acumulación en los seres vivos y sus efectos nocivos a largo plazo, pero aún siguen comercializándose en los países en desarrollo. La mayoría de las intoxicaciones ocurren en las zonas rurales y si bien el DDT dejó de utilizarse, es posible detectarlo en cualquier alimento, aunque se emplee una técnica ecológica (mayormente se encuentra DDE, un metabolito). Los niveles de estos compuestos van descendiendo con el tiempo pero aún falta bastante para que desaparezcan completamente.

EFFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

La persistencia medioambiental, inicialmente considerada una ventaja, pronto se volvió un perjuicio. Siendo prácticamente indestructibles, si no se lo encontraba en un suelo agrícola era porque se había incorporado y concentrado en plantas, hongos o animales. Este fenómeno, propiciado por la hidrofobicidad, se conoce como bioconcentración (o concentración biológica) y explica por qué los tejidos más grasos tienen mayor concentración.

Se mueven a través de los distintos componentes del ambiente de forma tal que aplicados en un lugar pueden ser trasladados hacia otros por distintos fenómenos: erosión hídrica o transporte aéreo en fase de vapor o mediante la absorción de partículas atmosféricas, acumulándose en los océanos, receptáculo natural de los contaminantes.

Muchos pesticidas, prácticamente insolubles en agua son absorbidos por la materia orgánica. Al liberarse los plaguicidas organoclorados de los formulados acontece una transferencia a la materia en suspensión en el agua - fitoplancton - que se impregna con los pesticidas y a través de numerosas cadenas alimentarias los va transmitiendo de un organismo a otro. Siendo el plancton (constituido por diminutas formas de vida: huevos, larvas y embriones que desarrollan su ciclo biológico flotando en el mar o en los ríos, llevados por las corrientes) la fuente de oxígeno fundamental para la vida terrestre, donde el 90 % de la materia orgánica superficial del mar, soporte de los ciclos de vida acuáticos, se halla expuesta al sol; el fitoplancton al que se integran también algas microscópicas genera el 70 % del oxígeno del planeta y es un elemento básico para los ciclos de vida terrestres y marinos. Es evidente que la modificación del desarrollo del plancton puede causar serias alteraciones en el ciclo de vida terrestre.

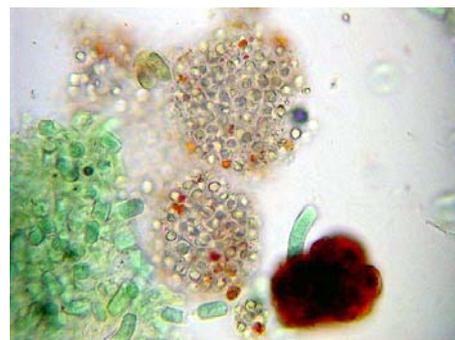


Foto N° 2 Fitoplancton impregnado con plaguicidas
(Fuente: www.advancedaquarist.com)

En algunas zonas marítimas se ha encontrado cantidades variables de DDT en un film oleoso superficial, son áreas con alta actividad biológica y donde el contenido de DDT es 10^5 veces más alto que en las inmediaciones, pudiendo así verse incrementada la concentración de este tóxico más rápidamente en la cadena biológica. Se concentran en los tejidos grasos de peces, mariscos, aves y mamíferos. Se ha encontrado pesticidas en grasa de pingüinos, ballenas, y pájaros de la fauna antártica.

(Continúa en la Página 3)

BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON LINDANO

Un equipo de investigadores del Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), y del Centro Nacional de Biotecnología (CSIC), ha desarrollado una nueva tecnología para la degradación de lindano (insecticida actualmente prohibido por su toxicidad) en suelos contaminados. Esta tecnología consiste en sembrar una planta modificada genéticamente para absorber el lindano y degradarlo en otro compuesto menos tóxico. El método ha sido patentado y actualmente se está trabajando para aplicarlo en entornos reales.

Los investigadores han modificado genéticamente una planta, mediante la incorporación del gen *linA*, procedente de la bacteria *Sphingomonas paucimobilis* aislada de suelos contaminados con lindano. El gen *linA* codifica una enzima que actúa sobre el lindano y lo transforma en triclorobenceno, un producto de menor toxicidad y de más fácil degradación en el ambiente. Aunque el triclorobenceno también es tóxico, "es más volátil y tiene un grado mucho menor de toxicidad que el lindano" (González-Pastor, 2006). El lindano actúa de forma muy específica porque tiene unas dianas muy diferenciadas, mientras que el triclorobenceno actúa de forma más difusa (a cantidades equivalentes de uno y otro compuesto, el lindano resulta mucho más tóxico).

Se ha previsto que la aplicación es sencilla, ya que consiste en sembrar suelos contaminados con las plantas transgénicas hasta observar una reducción importante en las concentraciones de lindano del suelo. Las pruebas en laboratorio se han realizado con la planta modelo *Arabidopsis thaliana*, pero según el grupo que dirige el Dr. González-Pastor, "habría que transferir el gen *linA* a una planta más robusta, que pueda vivir más tiempo y procesar también más lindano".

Un problema de esta técnica es la restricción en el empleo de plantas transgénicas, ya que los suelos tratados deben estar en zonas confinadas para impedir que estas se dispersen, y puedan competir o incluso generar híbridos con otras plantas del entorno. No obstante, los investigadores creen que eso no sería un problema en este caso ya que "los suelos contaminados con lindano se encuentran generalmente en vertederos confinados". Otro de los aspectos que los investigadores están evaluando es qué se haría después con la planta. Una opción es eliminarla por incineración.

(Fuente: www.quimicauniversal.com)

En el caso del petrel de Bermudas que se alimenta exclusivamente de pequeños organismos marinos y cuya nutrición está basada en el plancton, la acumulación de DDT en su organismo y consecuentemente en sus huevos se encontró bastante alta, el éxito reproductivo de esta ave bajó de 60 al 37%, debido a que el cascarón de sus huevos era muy fino y se rompía fácilmente. Algo similar ocurrió con los huevos de otras especies, en 1965 enfrentaron el mismo problema el halcón peregrino y las águilas pescadoras. Algunos estudios afirman que la muerte temprana de peces expuestos es lo primero que se observa pero la sobrevivencia de especímenes resistentes incluye no sólo una selección por la resistencia sino también una gran acumulación de pesticidas que sin duda será pasada a los predadores a través de la cadena trófica.

La toxicidad varía en cada especie según razones fisiológicas. Una exposición larga y continuada con concentraciones subletales de estas sustancias puede provocar efectos menos perceptibles, en tanto menos identificables.

Se estima que menos del 50 % aplicado en un área determinada cumple sus objetivos, el resto es capaz de llegar a zonas muy distantes. El DDT usado para agricultura en África ha sido llevado por las corrientes de aire, en el polvo, hasta Barbados e islas del Caribe, afectando la biodiversidad de los insectos y causando empobrecimiento biológico de los suelos.

El caso más significativo sea tal vez el del DDT, cuya producción está prohibida en muchos países desde la década del setenta, y del que aún se encuentran trazas en lugares inesperados como la Antártica o las sabanas africanas. Ha sido precisamente a partir de estos hallazgos que los organoclorados entraron en la lista de productos nocivos no sólo para el medio ambiente sino también para la salud humana y animal.



Foto N° 3 Espolvoreando DDT en la playa Jones Beach-1945 (Foto: UPI/Bettmann)

Evaluar el impacto de un pesticida en la cadena alimentaria resulta muy difícil. Aunque se aplique a un solo cultivo, puede acabar en función de su persistencia en el ganado, el agua, y de ahí pasar al agua corriente, los insectos, las abejas, la miel o las plantas. Secundariamente provocan biomagnificación, un fenómeno todavía más preocupante que quedó claro en los años 60, no sólo se acumulaban preferentemente en los seres vivos, sino que además su concentración aumentaba a medida que se subía en la escala trófica, es decir, que los valores son más altos para un carnívoro que para un herbívoro, y en éste último registrará mayor concentración que los vegetales con los que se alimenta. Últimamente se ha alertado sobre el salmón criado en cautiverio, que presenta alto nivel de contaminantes, desconociéndose su origen, mientras que por otra parte se insiste en los efectos beneficiosos de los ácidos omega 3 del pescado como factor de protección para enfermedades cardiovasculares siendo el salmón uno de los peces con mayor proporción de estos ácidos.

(Continuará en el N° 31)

Sobre la autora:

Adriana Noemí Casabella es Licenciada en Análisis Clínicos; Bioquímica y Farmacéutica, egresada de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional de Buenos Aires (UNBA). Actualmente es Profesora Adjunta en la cátedra Estudios Ambientales y en la cátedra Ecología y Medio Ambiente de la carrera Gerenciamiento Ambiental en la UCES. Cuenta con numerosos trabajos de investigación relacionados con plaguicidas organoclorados. Asesora técnica de diversas empresas químicas.

NANOPARTÍCULAS DE HIERRO

Una nanopartícula tiene un tamaño de entre 1 y 100 nanómetros; unas diez veces menor al de una célula bacteriana. En el caso del hierro elemental estas nanopartículas presentan una considerable reactividad química, posiblemente como resultado de una extraordinaria superficie específica del orden de 36 metros cuadrados por gramo. Estas características las tornan especialmente aptas para adsorber e inmovilizar especies contaminantes y también promover procesos de óxido-reducción que permiten disminuir el impacto ambiental de una gran variedad de compuestos tóxicos.

Tales propiedades pueden aprovecharse para remediar suelos contaminados o para tratar corrientes residuales de plantas industriales.

APLICACIONES

Existen muchas posibilidades. Una es la descloración de compuestos orgánicos persistentes, como el PCB o el DDT. Estos compuestos incorporan átomos de cloro en su molécula, por lo que no pueden ser incinerados ya que producen dioxinas que son sustancias cancerígenas. Por otro lado, son sintéticos, no se degradan biológicamente. El empleo de nanopartículas permite extraer el cloro de la molécula lo que transforma químicamente el contaminante en especies más benignas y que pueden ser incineradas sin riesgo para la salud. Otra aplicación es la reducción de cationes metálicos -como el cromo hexavalente- presentes en efluentes de sectores industriales como galvanoplastia. En este caso, la nanopartícula promueve una reducción a cromo trivalente, mucho menos tóxico y peligroso que el hexavalente. (Fuente: www.ceride.gov.ar)

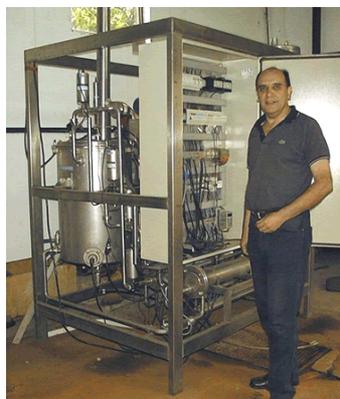


Foto N° 4 Dr. Ing. Ernesto Martínez – Grupo Fenton (Fuente: www.ceride.gov.ar)

NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

“Uno de los temas que más prometen como actividad multidisciplinaria concierne a lo que hoy llamamos la Nanociencia. Ésta consiste en la capacidad de controlar átomos y moléculas para formar nuevas estructuras, nuevas moléculas y nuevos materiales de acuerdo con nuestras necesidades específicas. El prefijo Nano se refiere a escalas de tamaño mil millones más pequeñas que las que observamos a simple vista (1×10^{-9} m). Sabemos que todo lo que existe en nuestro mundo y en el universo está hecho de átomos y que éstos, dependiendo del elemento químico al que pertenezcan, forman materiales con diferentes propiedades. De hecho, un mismo elemento arreglado de manera diferente presenta distintas propiedades. Como ejemplo de lo anterior, podemos citar al carbono, que puede formar grafito, diamante, fullerenos y nanotubos; el diamante es el material más duro que existe y no conduce la electricidad; en cambio, el grafito es blando y conduce la electricidad; los fullerenos forman cristales de fullerita que, al mezclarse con elementos como rubidio y potasio, constituyen superconductores; los nanotubos de carbono pueden ser conductores o semiconductores y son increíblemente rígidos, lo cual nos puede llevar a tener un material hasta 100 veces más resistente que el acero y seis veces más ligero. A la aplicación de la Nanociencia se le llama Nanotecnología” . (Humberto Terrones, Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología. México. 2007).

NANOTECNOLOGÍA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

PROCESO FENTON INTENSIFICADO (PFI)

Es una tecnología eficaz y eficiente para la eliminación de contaminantes orgánicos persistentes mediante la oxidación catalítica avanzada usando peróxido de oxígeno (agua oxigenada) y nanopartículas de hierro a temperaturas de hasta 130 °C. La intensificación de los procesos redox asociados con la producción y empleo de radicales libres hidroxilos y perhidroxilos que son los responsables del ataque a las moléculas del contaminante en tres etapas:

- adsorción del contaminante en las nanopartículas de hierro cerovalente,
- formación in situ de radicales libres,
- oxidación in situ.

Para garantizar la eficacia del PFI (Proceso Fenton Intensificado) se utiliza un esquema dual de temperaturas que permite operar el reactor a temperaturas elevadas sin riesgo de excursiones térmicas ni acumulación de compuestos orgánicos volátiles, utilizando un tanque de reciclo a temperatura ambiente.

En el Proceso Fenton Intensificado (PFI) el uso de nanopartículas (o diminutas partículas) han permitido un avance significativo en distintos aspectos de diseño del proceso. Uno muy importante es la posibilidad de trabajar con independencia del pH. Otro es la posibilidad de tratar corrientes muy diluidas. Finalmente, su elevada reactividad superficial permite una participación activa en los procesos de óxido-reducción.

Fuente: Grupo Fenton. INGAR - Instituto de Desarrollo y Diseño. Avellaneda 3657, S3002 GJC Santa Fe. Argentina.

Contacto: Dr. Ing. Ernesto C. Martínez, Responsable del Grupo Fenton.

Correo electrónico: ecmarti@ceride.gov.ar

En el próximo número (Boletín N° 31):

Toxicología de plaguicidas organoclorados (segunda parte). ¿Qué hacer con los plaguicidas obsoletos? Biorremediación de suelos (segunda parte).

CONSULTAS Y SUGERENCIAS

Dirigirse al Ing. Jorge Loayza (Oficina N° 222). Facultad de Química e Ingeniería Química. Pabellón de Química. Ciudad Universitaria. UNMSM. Lima. Perú.
Correos electrónicos: jeloayzap@yahoo.es / jloayzap@unmsm.edu.pe

Se autoriza la reproducción y difusión del material presentado, citando las fuentes.