

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN SUELOS DE DESECHOS
MINEROS EN LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO**

POR:

ROLANDO ALTUNAR ALTUNAR

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN SUELOS DE DESECHOS
MINEROS EN LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO

TESIS DEL C. ROLANDO ALTUNAR ALTUNAR QUE SE SOMETE A
LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

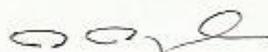
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:


DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

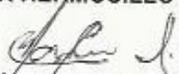
COASESOR:


DR. JOSÉ LUÍS REYES CARRILLO

COASESOR:


DR. LUÍS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR

COASESOR:


BIOL. MARÍA ISABEL BLANCO CERVANTES


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS 
Subsección de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

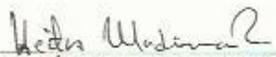
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

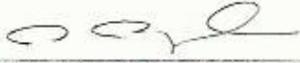
CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN SUELOS DE DESECHOS
MINEROS EN LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO

TESIS DEL C. ROLANDO ALTUNAR ALTUNAR QUE SE SOMETE A
LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

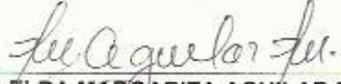
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE: 
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL: 
DR. JOSÉ LUÍS REYES CARRILLO

VOCAL: 
DR. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR

VOCAL SUPLENTE: 
M.C. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2014

DEDICATORIA

A ti Virgen de Guadalupe; generosa tu corazón, de amor lleno para esta humanidad, gracias por estar siempre conmigo, porque has sido mi fuerza, alegría, esperanza, perdón, bondad y por darme la oportunidad de la vida, mil gracias.

*A mis padres; Eusebio Altunar Juárez, a ti papá por ser el mejor padre de este mundo, a ti te dedico mi logro en esta etapa más de mi vida, por tu enseñanza, por tus consejos que nunca voy olvidar, tus regaños, por tu cariño, tu apoyo incondicional, por haber creído en mi, **mil gracias**, a mi mamá Irma Altunar Sánchez, la más hermosa de todas, generosa, bondadosa, por tu alegría, por tu cariño, por tus consejos, por estar siempre ahí en las buenas y en las malas, por haber sido el sostén de nuestro hogar y sobre todo te agradezco de todo corazón por darme la vida, porque sin ustedes no sería nadie, mucha gracias.....Los Amo.*

A mis hermanos; Blanca Beatriz, María Florentina, José Saint, Oliverio Alexis y Eric Rubicel, este logro se los dedico a ustedes, por su apoyo, alegrías, discusiones, regaños, sobre todo sus consejos ya sean bueno o malo, siempre estuvieron ahí, gracias por darme su amistad, por todas las vivencias de nuestra infancia y por ser mi inspiración y motivación para seguir adelante en este camino del saber mil gracias.....Los Amo.

*A mis abuelos; Javier Altunar Pérez (†), Paulina Sánchez Altunar, gracias por brindarme su felicidad, por mimarme, por darme su amistad, muchas gracias, a mi abuelo Domingo Altunar Hernández (†), se que tú no estás aquí, pero donde estés, a ti te dedico este triunfo y sé que estas muy orgullosos de mí, gracias por darme buenos consejos, enseñanzas alegrías, tristezas, tus locuras que nunca voy olvidar, siempre estarás en mi corazón, **mil gracias**, a mi abuela Andrea Juárez Cruz por tus regaños, enojos, alegrías, siempre estuviste conmigo recordando buenos y malos momentos y nunca me dejaste, sin duda eres única, mil gracias.....Los Amo.*

A mis tíos; Alberto, Anastasia, Celedonio, María de Jesús y Emilia, por estar siempre conmigo, por sus grandes consejos, por darme su amistad, les agradezco de todo corazón.....Mil Gracias.

A mis primos; José Luís, Sofía, María Gabriela, Andrea, Rodrigo Alberto, gracias por enseñarme que cuando uno quiere, puede lograr sus metas prometidas y por brindarme su amistad, llevaré siempre los buenos recuerdos de ustedes, sin duda grandes primos, muchas gracias.

*A mi amiga; María Florinda Hernández Altunar (Flori), te agradezco mucho por darme tu amistad, honestidad, sinceridad, y ser cómplices en esta aventura, se que hemos vivido muchas cosas desde que te conocí en la primaria, y ahora que terminamos la carrera, como olvidar nuestras discusiones, enojos, tristezas, alegrías, fracasos, triunfos, tonterías, locuras pero siempre estuviste ahí para apoyarme, eres grande sin duda la mejor amiga que Dios me ha dado, solo puedo decir **Mil Gracias.....Te Quiero Amiga.***

A mis amigas; Luisa (Luy), Irma, María Auxiliadora e Isabel (Chabelita), a ustedes les dedico este logro, porque sin ustedes yo no sería lo que soy ahora, por sus consejos buenos o malos, alegrías, tristezas, inquietudes, sus locuras, maldades, estupideces, siempre estuvieron ahí en las buenas y en las malas, nunca las voy a olvidar.

AGRADECIMIENTO

A mi “Alma Terra Mater” por darme todas las facilidades de obtener una profesión, por abrirme la puerta en esta universidad maravillosa, fue un apoyo inmenso para salir adelante....Gracias.

Al Dr. Héctor Madinaveitia Rjos, por transmitirme sus conocimientos y experiencias, por ser un gran asesor, por brindarme su apoyo, comprensión, paciencia, por ser el mejor tutor, nunca terminaré de agradecerle todo lo que he aprendido de su capacidad moral e intelectual.....Mil Gracias.

A la Biol. María Isabel Blanco Cervantes, por su sencillez, paciencia y por su amistad, por darme todo el apoyo brindado en la realización de este proyecto. Eres admirable, con muchas capacidades demostradas en este aprendizaje gracias Chabelita.....Mil Gracias.

A mis asesores; José Luis Reyes Carrillo, Luis Javier Hermosillo Salazar, Elba Margarita Aguilar Medrano, por darme las armas necesarias con que defenderme, por sus enseñanzas, por compartir un poco de sus conocimientos, sin duda grandes maestros.....Mil Gracias.

A el TQI. Juan Carlos Mejía Cruz, por haber apoyado en el procesos de la realización del análisis de la muestra de suelo y sobre todo agradezco su paciencia, honestidad, el empeño que le puso este proyecto, sin duda una gran persona, mis respetos.....Mil Gracias.

A la QFB. Norma Lydia Rangel Carrillo, por el apoyo brindado por su tiempo, paciencia y facilidad en la realización del análisis de la muestra obtenida.....Mil Gracias.

A amigos y misprofesores; Rolando Loza Rodríguez, Nora Frede, Edgardo Cervantes Álvarez por apoyarme y darme su amistad, los voy a recordar siempre, Muchas Gracias, a mis maestros Cynthia Dinorah, José luís, Rubí, Miguel Ángel, Joel, María de Jesús, Natalia, Luis Román, Salvador, Sonia, Anselmo, Mario, José Candelario, José, Homero Guillermo, Eduardo Aarón, Armando, José Guadalupe, Gerardo, Hugo, a ustedes les agradezco mucho por forjarme como profesionista, y porque son grandes personas.....Mil Gracias.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	VI
Índice de cuadros.....	VI
Índice de figuras.....	VII
RESUMEN.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivo específico.....	2
Hipótesis alternantes.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Suelo.....	3
La minería.....	3
Metales pesados.....	4
Metales pesados nutrientes y contaminantes del suelo.....	7
Cadmio (Cd).....	9
Características físicas y químicas del Cd.....	12
Efectos del Cd en el ecosistema.....	13
Plantas.....	15
Animales.....	17
Seres humanos.....	18
Norma de medición del Cd.....	20
Suelo.....	20
Plantas.....	22
Animales.....	22
Seres humanos.....	23
Metodología de eliminación de Cd en el ecosistema.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
Ubicación del área de estudio.....	26
Trabajo de campo.....	26
Trabajo de gabinete.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
CONCLUSIONES.....	32

RECOMENDACIONES.....	33
LITERATURA CITADA.....	34

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Límites máximos permisibles de metales pesados para uso agrícola/residencial/comercial y para uso industrial. (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.....	21
2.	Concentración de Cd en los estratos 1 (meseta), 2 (ladera) y 3 (valle), la media de la suma de los estratos y la media estadística, de la mina abandonada La Preciosa del ejido La Perla Municipio de Nazas, Durango. 2011.....	29
3.	Análisis de varianza de la variable Cd en los tres estratos 1 (meseta), 2 (ladera) y 3 (valle), de la mina abandonada La Preciosa del ejido La Perla Municipio de Nazas, Durango. 2011.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Fuentes y movimientos del Cd en la industria y en los ecosistemas (Figura tomada de sostenibilidad ambiental, 2012).....	15
2.	Representación esquemática de los procesos involucrados en la fitoextracción de metales desde los suelos (Figura tomada de Singh <i>et al.</i> , 2003).....	17
3.	Representación esquemática de zonas de acumulación de distintos metales en la planta (Figura tomada de Guitart, 1999).....	17
4.	Toxicología del cadmio en los seres humanos (Modelo representativo tomado de Ramírez, 2002).....	20
5.	Tipos de fitorremediación, en donde se indica la zona de la planta en donde ocurre el proceso (Figura tomada de ArgenBio, 2014).....	25

RESUMEN

Este trabajo se llevó a cabo en la mina de uranio llamada La Preciosa en el ejido la Perla Municipio de Nazas, Durango, México. El objetivo fue determinar la concentración de cadmio en suelos aledaños a una mina abandonada. La hipótesis fue “la concentración de Cd en suelos rebasan los límites máximos permisibles en suelo según la norma NOM-SEMARNAT/SSA1-147-2004”. La metodología utilizada fue obtener 3 submuestras de los diferentes estratos (valle, ladera y meseta) para ser analizadas en el aparato de absorción atómica (Perkin Elmer Modelo 2380), según la técnica de (Etchevers *et al.*, 2005) los resultados obtenidos fueron procesados estadísticamente. Se obtuvieron las medias de la concentración de Cd en cada estrato y en los tres estratos. Finalmente se hizo un análisis de varianza, en el cual se encontró que no hay diferencias significativas entre las concentraciones de cadmio en los tres estratos. Asimismo, las concentraciones de Cd obtenidas en los estratos fueron bajas y estuvieron dentro de los límites máximos permisibles según la NOM-147-SEMANAT/SAA1-2004 para cadmio en usos agrícola/residencial/comercial es 37 mgkg^{-1} y para uso industrial de 450 mgkg^{-1} , por lo tanto se rechaza la hipótesis.

Palabras claves: Metales pesados, cadmio, desechos mineros, fitorremediación, contaminación de suelos.

INTRODUCCIÓN

El Cd es un metal pesado y poco abundante en la corteza terrestre, sin embargo en las últimas décadas se ha incrementado su acumulación en el suelo, debido a actividades antropogénicas. La contaminación de suelo con Cd está relacionada con la movilidad, transporte y distribución, no es un nutriente esencial de los seres vivos, por lo cual a altas concentraciones puede ocasionar intoxicaciones y enfermedades no solo en los componentes bióticos de los ecosistemas, sino también en los seres humanos.

En los seres humanos puede ocasionar cáncer pulmonar y prostático, insuficiencia renal y enfermedades cardiovasculares, alteraciones del metabolismo de la vitamina C. Varios estudios atribuyen al Cd alteraciones genéticas e incluso la muerte por exceso de cadmio.

Las fuentes contaminantes de Cd son principalmente las minas en las que se explotan metales apreciados por el ser humano, así como las industrias metalúrgicas (cinc, plomo y acero principalmente), la incineración de residuos, la fabricación de fertilizantes, la industria cementera, la contaminación del agua por causa de los vertidos industriales y urbanos.

En este trabajo se determina la concentración de Cd en suelos aledaños a una mina abandonada; que era explotada con fines de obtención de uranio años antes.

Es importante conocer cuáles son las concentraciones que hay de este metal en los suelos con el objetivo de determinar acciones de remediación en las que se extraiga el exceso de Cd y de esa manera reducir o anular su transferencia en las cadenas tróficas y en los escurrimientos que puede haber como consecuencia de las lluvias y que son arrastrados hacia las parcelas agrícolas cercanas a la mina.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Determinar la concentración de cadmio en suelos aledaños a una mina abandonada de la Región de Nazas, Durango.

Objetivos específicos

- Realizar muestreos y colectas de suelos en el área de estudio.
- Determinar en el laboratorio la concentración de Cd en las muestras colectadas.
- Comparar las concentraciones de Cd calculadas en los suelos con los límites máximos permisibles de Cd en suelos, según normas ecológicas.

Hipótesis alternantes

La concentración de Cd en suelos rebasa los límites máximos permisibles en suelo según la norma NOM-SEMARNAT/SSA1-147-2004.

REVISIÓN DE LITERATURA

Suelo

El suelo es uno de los componentes fundamentales del medio ya que constituye la parte de la superficie terrestre sobre la que se asienta la vida vegetal y sobre la cual se implanta la mayor parte de las actividades humanas, siendo, además, la interfaz entre la tierra, el aire y el agua lo que lo confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso (Sabroso y Pastor, 2004).

La minería

La minería constituye un caso especial en lo que a generación de residuos se refiere. De hecho, se trata de una actividad cuyo comienzo es difícil de fechar en la Península Ibérica, pero con toda seguridad se remonta a más de tres milenios. Abarca actividades tan dispares como la explotación de una gran masa de sulfuros polimetálicos situada a 300 m de profundidad y la extracción de áridos en una gravera próxima al margen de un río (Ingeniería Ambiental, 2007).

En México, la industria minera como tal, empieza propiamente con tiempos de la conquista. El espíritu de aventura y ambición de riquezas dieron la iniciativa a los españoles a ampliar sus horizontes y descubrir nuevos territorios ricos en metales. Posteriormente viene la etapa de la llamada "Minería Colonial". Destacan en esta etapa, la comercialización de la plata. A principios del siglo XX la minería se caracterizó por los signos de modernidad que comenzaban a surgir. Varias empresas extranjeras de explotación emigraron a nuestro país con nueva tecnología para la extracción y refinación. En el siglo pasado, la minería en México

se desarrolló principalmente en la altiplanicie, en Pachuca, Guanajuato, Zacatecas, Fresnillo, Sombrerete, Santa Bárbara y Chihuahua (CICEANA, 2014).

En 1917 la Compañía de Minerales y Metales, entonces subsidiaria de la American Metal Company adquirió la Compañía Metalúrgica de Torreón, S.A. que había iniciado sus operaciones desde el año de 1901. En el año de 1920 la Compañía de Minerales y Metales se fusionó con la Compañía Minera de Peñoles.

Con la reestructuración llevada a cabo entre 1961 y 1969 en que se nacionalizó la empresa, esta cambió de nombre a Industrias Peñoles y las operaciones metalúrgicas quedaron a cargo de una nueva empresa denominada Met-Mex Peñoles, S.A. de C.V. (MMP), ubicada en la Comarca Lagunera. Originalmente en Torreón solo estaba la planta fundidora de plomo y plata, pero en 1973 se instaló una planta electrolítica de zinc y en 1975 se añadió la refinería de Pb y Ag. Finalmente se agregó la planta de Bermejillo, Durango, donde se produce óxido de zinc, polvo de zinc, sulfato de cobre y óxido de antimonio. Esta planta recibe su materia prima de Torreón. Fue así como se conformó uno de los complejos metalúrgicos no-ferrosos más importantes del mundo en Torreón (Valdés, 1999).

Metales pesados

Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a $5 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos).

El término de metales pesados se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en

concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.*, 2005).

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.*, 2002).

Los metales pesados, y en general los elementos traza, están presentes en relativamente bajas concentraciones ($< \text{mgkg}^{-1}$) en la corteza terrestre, los suelos y las plantas. La presencia de concentraciones nocivas (anómalas) en los suelos es una degradación especial denominada contaminación. Los elementos traza en los suelos pueden ser de origen geogénico o antropogénico. Los elementos de origen geogénico proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Los metales pesados antropogénicos derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola, y residuos sólidos urbanos (RSU) (Galán y Romero, 2008).

No obstante, en primer lugar, conviene aclarar que el término “metales pesados” es impreciso. En realidad se pretende indicar con este término aquellos metales que, siendo elementos pesados, son “tóxicos” para la célula. Sin embargo en realidad cualquier elemento que *a priori* es benéfico para la célula, en concentraciones excesivas puede llegar a ser tóxico. Por tanto se seguirá manteniendo el término “metales pesados” para definir dichos elementos (Navarro *et al.*, 2007).

Los metales pesados están presentes naturalmente en el suelo, pero en los últimos años las actividades industriales y la disposición de residuos de todo tipo han contribuido a una acumulación de estos elementos en el suelo.

La minería es una actividad parcialmente agresiva para el medio ambiente, sus impactos sobre la naturaleza y el hombre son visibles en todas las etapas de su desarrollo (Vega, 2007).

Los metales son quizás las sustancias tóxicas, más antiguas que haya conocido el ser humano, la toxicidad de algunos de ellos, tales como plomo y arsénico ha sido conocida desde hace muchos años, a diferencia otros metales como al cadmio y talio cuya toxicidad ha sido recién reconocida. La acción negativa de estos metales sobre la salud es ocasionada al menos por dos vías, transporte medio-ambiente en el aire, agua, polvo y comida, la segunda por alterar la forma bioquímica de los elementos. La habilidad de la vida silvestre para acumular y concentrar metales pesados tales; como, el cadmio, incrementan el riesgo de toxicidad sobre la cadena alimenticia, siendo la dieta una de las principales vías de exposición a metales (Nava y Méndez, 2011).

Los metales pesados son sustancias altamente tóxicas, no biodegradables, que pueden acumularse en los organismos vivos. Cuando están presentes en el suelo, son fijados inicialmente por las plantas y, de este modo, comienza su transferencia a lo largo de la cadena trófica transferencia caracterizada por una biomagnificación, lo que significa que el hombre, último eslabón de la cadena trófica, recibirá una mayor concentración de la sustancias tóxicas en comparación con los organismos de niveles inferiores (Oficina Española de Patentes y Marcas, 2005).

Los metales pesados constituyen un riesgo considerable para la salud por el contacto frecuente laboral y ambiental. Entre los más peligrosos se encuentran el plomo, el mercurio, el arsénico y el cadmio (Pérez y Azcona, 2012).

Los metales pesados, debido a su fuerte resistencia a la degradación natural, conservan por mucho tiempo su carácter tóxico, por tanto, resulta de vital importancia mantener bajo control la concentración de los metales en el medio ambiente, y de modo específico la de los metales pesados (Frery, 1993).

Los metales pesados son uno de los grupos de contaminantes más peligrosos por su persistencia y toxicidad, ya que pueden incorporarse a la cadena alimenticia y ser concentrados por los organismos. Entre ellos, el Cd ha sido detectado en más de 1000 especies de flora y fauna, tanto acuática como terrestre. Sin embargo, no existe evidencia de que sea beneficioso biológicamente (U.S. EPA, 1999).

La remoción de metales tóxicos de las aguas residuales es un asunto de gran interés en el campo de la contaminación del agua, que es una causa grave de degradación. Numerosos metales tales como cromo, mercurio, plomo, cobre, cadmio, manganeso, etc. Son conocidos por ser significativamente tóxicos (Zheng *et al.*, 2008).

Entre los metales que tradicionalmente, están considerados más tóxicos y dañinos para la salud así como fuertemente relacionados con actividades industriales y de combustión cabe destacar: el Cadmio, Aluminio, Zinc, Plomo y Mercurio (Benes *et al.*, 2000).

Metales pesados nutrientes y contaminantes del suelo

Los metales pesados se clasifican en dos grupos:

1. Oligoelementos o micronutrientes. Necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos una vez rebasado cierto umbral. Incluyen: Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Manganeso (Mn), Níquel (Ni), Selenio (Se) y Zinc (Zn).
2. Sin función biológica conocida. Son altamente tóxicos, e incluyen Bario (Ba), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Antimonio (Sb) y Bismuto (Bi), Arsénico (As).

Su persistencia, acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas (Navarro a *et al.*, 2007).

En todo caso con respecto a sus funciones biológicas, los elementos, en general, pueden ser clasificados en:

- Elementos esenciales principales, cuya exigencia es valorada en el orden de algunos gramos y que comprenden seis elementos estructurales (H, C, N, O, P, S) y cinco macro minerales (Na, K, Mg, Ca, Cl);
- Micro minerales esenciales, cuya exigencia es valorada en el orden de algunos miligramos y cuya esencialidad es claramente notable desde hace muchos años como el Fe, Zn y Cu.
- Elementos esenciales, cuya exigencia es valorada en el orden de algunos micro gramos como Si, Mo, Cr, Co, y cuyas funciones son más o menos conocidas;
- Elementos traza como Cd, As, Hg, Al, de los que no se conoce ninguna función esencial y que, por tanto, si son absorbidos en determinadas cantidades, pueden ser tóxicos; este término es correcto, siendo activos a concentraciones suficientemente bajas.

La esencialidad de un elemento puede ser definida en base a distintos criterios:

- La reducida absorción debe un daño funcional;
- La reintroducción en la dieta en cantidades fisiológicas debe prevenir y curar los síntomas de deficiencia;
- La ausencia debe impedir el crecimiento o el cumplimiento del ciclo vital del organismo;
- La influencia sobre el metabolismo de un determinado organismo tiene que ser directa;
- El efecto no puede ser completamente remplazado por la sustitución con otro elemento.

En general, incluso estando los oligoelementos implicados en funciones o estructuras diversificadas, se puede afirmar que su papel principal es el coenzimático en casi el 25 o 35 % de las enzimas actualmente conocidas.

En este contexto, bien un aumento, bien una reducción de estos elementos pueden provocar efectos tóxicos y en especial, una disminución de la aportación puede determinar la aparición de efectos desfavorables.

Algunos de ellos como el flúor en los humanos y el cobre en las oveja, poseen un margen estrecho entre lo benéfico y lo tóxico, mientras que otros como el zinc y manganeso, poseen una alta tolerancia y por tanto un amplio margen entre absorción mínima esencial y la producción de efectos tóxicos en los organismos (Smedman, 1997).

Dentro de los metales pesados, los denominados oligoelementos, y que pueden servir como micronutrientes para los cultivos, ya que son requeridos en pequeñas cantidades y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Como el B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y el metaloide As. También hay metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejada disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, elementos tales como el Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl (García y Dorronsoro, 2005).

Cadmio (Cd)

Lo descubrió Friedrich Stromeyer en 1817. Procede del latín *cadmia*, y éste del griego *kadmeía* = calamina, que es un mineral de zinc (carbonato de zinc anhidro), al que se parece mucho el Cd. La calamina (*Kadmeia*) debe su nombre a

que se extraía en Kadmea, la ciudadela de Tebas que, según la mitología griega fue fundada por Cadmo, hijo de Agenor, rey de Fenicia. Plinio, por su parte, dio el nombre de *cadmia* a un polvo pardo que se acumulaba en las chimeneas de los hornos de fusión que se empleaban en la fabricación del latón. A partir de este polvo pardo (básicamente carbonato de Zinc), aisló Stromeyer el Cd (Ramírez, 2002, Hernández, 2006).

Metal blanco plateado, blando, muy dúctil y maleable. Insoluble en agua y en los disolventes orgánicos corrientes (alcoholes, éteres, cetonas, etc.) Suele presentarse en forma de polvo, con un color grisáceo. Se utilizan también para usos industriales los siguientes compuestos: óxidos de cloruros, sulfatos y carbamatos. Es bastante volátil, emitiendo vapores a temperaturas inferiores al punto de ebullición (SIAFA, 2014).

El Cd es un metal pesado no esencial y poco abundante en la corteza terrestre, sin embargo en las últimas décadas se ha incrementado su acumulación en el suelo, debido a actividades antropogénicas. La contaminación de suelo con Cd está relacionada con la movilidad, transporte y distribución del metal en el perfil del suelo. Esta dinámica del metal se describe mediante procesos de adsorción y desorción que dependen de la forma química del metal y de las propiedades físicas y químicas del suelo, atribuidas a los componentes de éste como son una superficie altamente reactiva, área superficial, presencia de ligandos orgánicos e inorgánicos producto de la descomposición de la materia orgánica, así como también al pH y la presencia de fosfatos (Sánchez, 2011).

El Cd es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos. La contaminación ambiental por Cd ha aumentado como consecuencia del incremento de la actividad industrial que ha tenido lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando de forma progresiva a los diferentes ecosistemas (Pinto *et al.*, 2004).

El Cd es un metal que se encuentra principalmente en la corteza terrestre y siempre se presenta en combinación con el Zn. Es ampliamente utilizado en la industria. Se considera un contaminante y es liberado al ambiente como subproducto de la extracción de cobre, hierro y zinc. La exposición al Cd puede producir una variedad de efectos adversos tanto en el humano como en los animales. Una vez absorbido se acumula en el organismo por tiempos largos (Martínez *et al.*, 2013).

El Cd no se encuentra en el ambiente como un metal puro; es más abundante en la naturaleza en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en el zinc, plomo y minas de cobre. Es relativamente barato, ya que se trata de un subproducto del procesamiento de metales más valiosos, como el zinc y el cobre (Pérez y Azcona a, 2012).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) identifica los sitios de desechos peligrosos más serios en la nación. La EPA luego coloca estos sitios en la Lista de Prioridades Nacionales (NPL) y los designa para limpieza a largo plazo por parte del gobierno federal. El Cd se han encontrado en por lo menos 1,014 de los 1,699 sitios actualmente en la NPL o que formaron parte de la NPL en el pasado. Aunque el número total de sitios de la NPL en los que se ha buscado esta sustancia no se conoce, el número de sitios en que se encuentre cadmio puede aumentar a medida que se evalúan más sitios. Esta información es importante porque estos sitios pueden constituir fuentes de exposición, y la exposición a esta sustancia puede perjudicarlo (ATSDR, 2012).

Características físicas y químicas del Cd

El Cd es un sólido blando de color blanco-azul, metal gris-negro o polvo gris o blanco. Se utiliza en la soldadura de plata, en la fabricación de baterías y metalizado, en plásticos y pigmentos y como catalizador. Es un subproducto de la producción del zinc (NJHealth, 2009).

El Cd es un metal que forma parte del grupo IIB de la tabla periódica, con un peso atómico de 112.41; la forma iónica del cadmio (Cd^{2+}) esta usualmente combinada con formas iónicas del oxígeno (óxido de cadmio CdO_2), cloruro (cloruro de cadmio, CdCl_2) o sulfuros (sulfato de cadmio CdSO_4); se ha estimado que 300,000 toneladas de cadmio son liberadas al medio ambiente cada año de las cuales 4,000 a 13,000 toneladas son derivadas de las actividades humanas (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 2008).

Las propiedades químicas y físicas del (Cd) son muy similares a las del zinc, y con frecuencia coexiste con este metal en la naturaleza. En los minerales y las menas, la proporción de Cd y Zn suele oscilar entre 1:100 a 1:1.000.

El Cd es muy resistente a la corrosión y se utiliza para su electrodeposición en otros metales, especialmente el acero y el hierro. Los tornillos, las tuercas de seguridad, los pestillos y diversas partes de los aviones y vehículos de motor están tratados con Cd con el fin de protegerlos de la corrosión. Actualmente, sin embargo, sólo el 8 % de todo el Cd refinado se utiliza para el galvanizado y los recubrimientos. Los compuestos de Cd se utilizan también como pigmentos y estabilizadores de plásticos (30 % de su uso en los países desarrollados) y en ciertas aleaciones (3 %). Las baterías pequeñas, portátiles y recargables de cadmio que se utilizan, por ejemplo, en los teléfonos móviles representan un uso del Cd cada vez mayor (en 1994, en los países desarrollados, el 55 % de todo el cadmio se utilizó en la fabricación de baterías), (Nordberg, 2014).

El Cd es un metal que no se encuentra libre en la naturaleza y sólo existe un mineral que lo contiene en cantidad apreciable, la greenckonita o sulfuro de cadmio. Es un elemento divalente, con un peso atómico de 48, masa atómica de 112.41, punto de fusión 320.9 °C y punto de ebullición de 767 °C. Es fácilmente soluble en ácidos minerales, con los que forma las sales correspondientes y es insoluble en agua, aunque sus sales de cloro y sulfato sí lo son.

Las características del Cd son parecidas a las del Zn. A temperatura ordinaria y en seco es estable, pero se oxida lentamente en presencia de humedad ambiente. Si se calienta a temperatura elevada, arde desprendiendo vapores amarillo-rojizos de óxidos de cadmio. Es atacado por todos los ácidos, incluidos los orgánicos (los que se encuentran en los alimentos), siendo tóxicas las sales que se forman. Los ácidos fuertes (clorhídrico y sulfúrico) lo disuelven desprendiendo hidrógeno. Con el ácido nítrico diluido se desprenden óxidos de nitrógeno. El Cd, fundido, forma aleaciones con numerosos metales, siendo utilizadas frecuentemente en la industria. En forma finamente dividida puede reaccionar violentamente con los siguientes compuestos con riesgo de inflamación y explosión: azufre, telurio, selenio, zinc, potasio, sulfato sódico, nitrato amónico, ácido nítrico concentrado, ácido hidrazoico, agentes comburentes fuertes, etc. El Cd y alguno de sus compuestos actúan como catalizadores en muchas reacciones de descomposición en las que se pueden desprender humos de óxidos de cadmio, altamente tóxicos (SIAFA a, 2014).

Efectos del Cd en el ecosistema

Uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial es el Cd, Ramírez a, (2002) menciona que este elemento reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

1. Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.

2. Bioacumulación.
3. Persistencia en el medio ambiente.
4. “Viaja” grandes distancias con el viento y en los cursos de agua.

En lo ambiental, el Cd es un elemento relativamente raro en la litosfera. Por afinidad química, se le encuentra junto al Zn, en proporción muy variable. Las principales fuentes de contaminación son: la minería metalúrgica de metales no ferrosos, la metalurgia del hierro y acero, la fabricación de fertilizantes fosfatados, la incineración de residuos de madera, carbón o “plásticos”, la combustión de aceite y gasolina y las aplicaciones industriales de cadmio. La concentración de Cd en aire de áreas industriales varía de 9.1 a 26.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a 0.1 a 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el aire de áreas rurales. El tiempo de permanencia del Cd en suelos es de hasta 300 años y el 90 % permanece sin transformarse (La Dou, 1999).

Emisiones atmosféricas. Se originan a partir de las minas metalúrgicas, ya que el Cd se extrae como subproducto del Pb, Zn, Cu y otros metales, las incineradoras municipales, y emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, baterías de Ni/Cd, e insecticidas (McLaughlin y Singh, 1999).

Depósitos directos. El uso de fertilizantes fosfatados es la principal fuente de contaminación de Cd en suelos agrícolas. Otra fuente de Cd la constituyen los fangos procedentes de aguas residuales que se utilizan en agricultura (Alloway y Steinnes, 1999).

Contaminación accidental. Ocurre eventualmente debido a la contaminación de tierras por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas. Un ejemplo son los vertidos de Aznalcóllar que tuvieron lugar en 1998, en la provincia de Sevilla, como consecuencia de la rotura de una balsa que contenía concentraciones elevadas de metales pesados procedentes de una mina de esta localidad (Aguilar *et al.*, 2003). Como se ejemplifica en la (Figura 1).

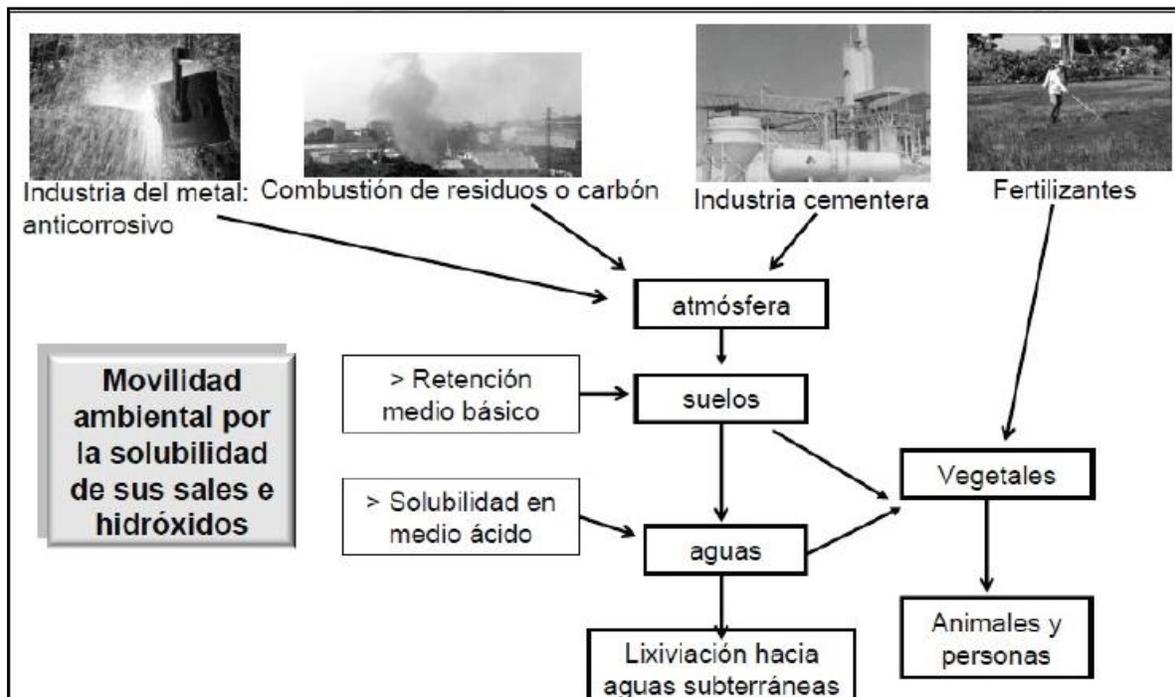


Figura 1. Fuentes y movimientos del Cd en la industria y en los ecosistemas (Figura tomada de sostenibilidad ambiental, 2012).

En plantas. La absorción de Cd por las plantas puede ser facilitada por sustancias ácidas que se producen en la rizósfera. Los exudados radiculares, especialmente los ácidos carboxílicos, incrementan la absorción de Cd. Entre los factores de la planta que pueden influir en la cantidad de Cd absorbido se encuentran: la especie, la edad y el desarrollo radicular. Algunos cultivos como lechuga, espinaca y nabo han sido considerados de alta absorción, mientras que otros como trigo, arroz, avena y trébol absorberían poco cadmio (Nigam *et al.*, 2001).

Las plantas han desarrollado distintas estrategias para evitar la toxicidad de metales pesados. En general, la tolerancia a metales viene determinada por la reducción del transporte del mismo al interior de la célula y/o una mayor capacidad para secuestrar estos metales. La raíz constituye una de las principales barreras

de defensa mediante la inmovilización del Cd por pectinas de la pared celular. Los carbohidratos extracelulares (mucílago y calosa) de la raíz también pueden intervenir en la inmovilización del metal (Benavides *et al.*, 2005).

Generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta.

En plantas, el concepto de bioacumulación se refiere a la agregación de contaminantes; algunos de ellos son más susceptibles a ser fitodisponibles que otros (Kabata-Pendias, 2000).

Algunas especies de plantas tienen ventajas sobre otros organismos biológicos, como por ejemplo, el poder almacenarse en forma de semilla por un año o más; costos de mantenimiento mínimos; las muestras no requieren aireación; muestras con altas turbiedades no requieren filtración adicional y las pruebas se pueden llevar a cabo sin ajuste de pH (Iannacone y Alvarino, 2005).

Algunos cultivos como el de maíz, cuando crece en un suelo típicamente arcilloso, tienen una capacidad asimilativa más alta que para el límite de absorción de Cd, Ni, Pb y de Cu que en otros suelos y que marcan la diferencia también con otros cultivos (Mahdy *et al.*, 2007).

Otros metales como el cadmio (Cd) y el zinc (Zn), se pueden absorber en mayor grado en plantas como rábanos y zanahorias, en las hojas de los rábanos se llegan a acumular mayores contenidos del metal, provocando en la hojas un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa, para zanahorias se reporta en igual grado acortamiento en raíces y acumulación mayor en las mismas del metal (Intawongse y Dean, 2006). Como se representan en las (Figuras 2 y 3).

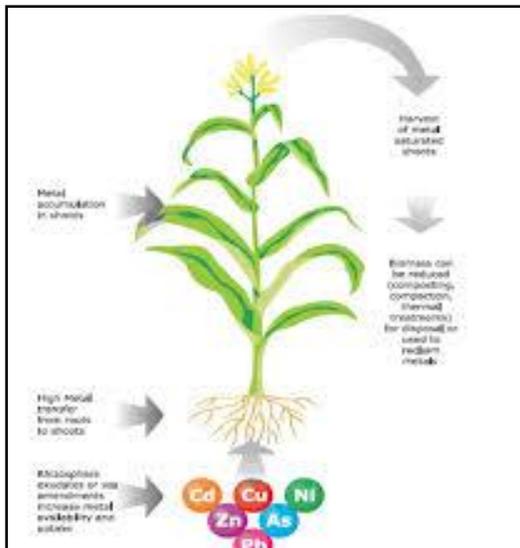


Figura. 2. Representación esquemática de los procesos involucrados en la fitoextracción de metales desde los suelos (Figura tomada de Singh *et al.*, 2003).



Figura. 3. Representación esquemática de zonas de acumulación de distintos metales en la planta (Figura tomada de Guitart, 1999).

En animales. El Cd es un metal tóxico y un importante contaminante ambiental que puede afectar fuertemente la función mitocondrial y la bioenergética en animales. Se investigaron los mecanismos de acción Cd sobre la unción mitocondrial de un molusco marino (el ostión, *Crassostrea virginica*) mediante la realización de un análisis de control de arriba hacia abajo de los tres subsistemas principales mitocondriales (oxidación del sustrato, de fugas de protones y fosforilación) (Kurochkin, 2011).

La absorción de cadmio por los animales es baja, particularmente en rumiantes, donde los porcentajes de absorción no sobrepasan el 1 %, pero la retención en el organismo es muy elevada, particularmente en los riñones, donde la vida media puede ser de varios años en rumiantes. En animales de abasto donde el tiempo de crianza es muy reducido, particularmente en monogástricos,

las acumulaciones de cadmio serán muy reducidas con prácticas normales de manejo (Underwood y Suttle, 1999).

Las enormes cantidades de productos de desecho animal pueden originar contaminación del suelo, el agua y el aire. La mayoría de los efectos son causados por emisiones provenientes del estiércol en forma de nitrógeno (N), fósforo (P) y metales pesados (cobre, zinc y cadmio). Las emisiones proceden del estiércol en los establos, durante el almacenamiento, después de la aplicación a los suelos o simplemente cuando éste es eliminado. La producción de estiércol tiene un efecto potencial sobre el aire (amonio, gases invernadero y olores), sobre el agua superficial y subterránea (filtración, escorrentía, lavado) y sobre el suelo (saturación con minerales, toxicidad). Hay un efecto potencial indirecto sobre la vegetación (lluvia ácida) y la biodiversidad (como resultado de los ecosistemas de suelo y plantas). Mediante la eutroficación y agotamiento del oxígeno de las aguas superficiales existe una pérdida potencial de recursos acuáticos (por ejemplo, peces). (FAO, 2014)

Seres humanos. El (Cd) es un metal pesado que presenta toxicidad sobre el ser humano. Sus principales orígenes son antropogénicos. Niveles altos de Cd se asocian a graves efectos sobre la salud, en tanto la exposición a niveles menores se asocia a cáncer pulmonar y prostático, insuficiencia renal y enfermedades cardiovasculares, alteraciones del metabolismo de la vitamina C y trastornos gastrointestinales agudos. Varios estudios atribuyen al Cd alteraciones genéticas, entre ellas aberraciones cromosómicas e hipoploidía (Tchernitchin *et al.*, 2008).

El Cd es un metal pesado presente de forma natural en el suelo, dado que está disponible para absorción por las plantas y la posterior absorción humana, supone un riesgo grave para la salud a los seres humanos. Es un carcinógeno que se acumula en la corteza renal del riñón y es una causa de enfermedad renal en etapa terminal diferencia de los metales pesados esenciales tales como cobre y

zinc que son necesarios para una gama de procesos fisiológicos de la planta (Vestergaard, *et al.*, 2008).

El Cd y sus compuestos figuran como carcinógenos humanos en el Duodécimo Informe sobre Carcinógenos publicado por el Programa Nacional de Toxicología porque se sabe que causan cáncer. La exposición a largo plazo a concentraciones elevadas de cadmio puede causar cáncer del pulmón. También puede existir una relación entre la exposición al cadmio y el cáncer de la próstata, los riñones y la vejiga urinaria.

La inhalación de polvo o de vapores de Cd por un tiempo prolongado puede causar intoxicación crónica que produce dolores en el pecho, dolor de cabeza y debilidad. La inhalación de sales de Cd por un tiempo prolongado puede ocasionar intoxicación que se manifiesta con convulsiones, dolor de cabeza, calambres musculares y vértigo. La inhalación de polvo o de vapores de cadmio por un tiempo breve puede causar tos, dolor de cabeza, dolor en el pecho, irritabilidad, bronconeumonía e irritación de la nariz y la garganta (U.S. National Library of Medicine, 2012).

El Cd es un elemento ubicuo que se encuentra en los fertilizantes de fosfato, los polvos industriales, humo de tabaco, alimentos y algunos suministros de agua. Fue clasificado como grupo 1 carcinógeno humano por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer y recientemente se ha agregado a la lista de factores de riesgo de cáncer de mama humano ya que imita los efectos in vivo de los estrógenos en el útero y la glándula mamaria. Debido a que el selenio (Se) se sabe que interactúan con Cd in vivo y reducir su toxicidad, también podría proteger contra los efectos de mama que promueven el cáncer del Cd, siempre y cuando está presente en exceso sobre el Cd. Si está presente en exceso sobre Se, el Cd podría aumentar el riesgo de cáncer de mama también porque su interacción con Cd podría fisiológicamente inactivar él Se, creando una condición similar a la deficiencia de Se (Schrauzer, 2008). Como se puede representar en el modelo esquemático de la toxicocinético de la (Figura 4).

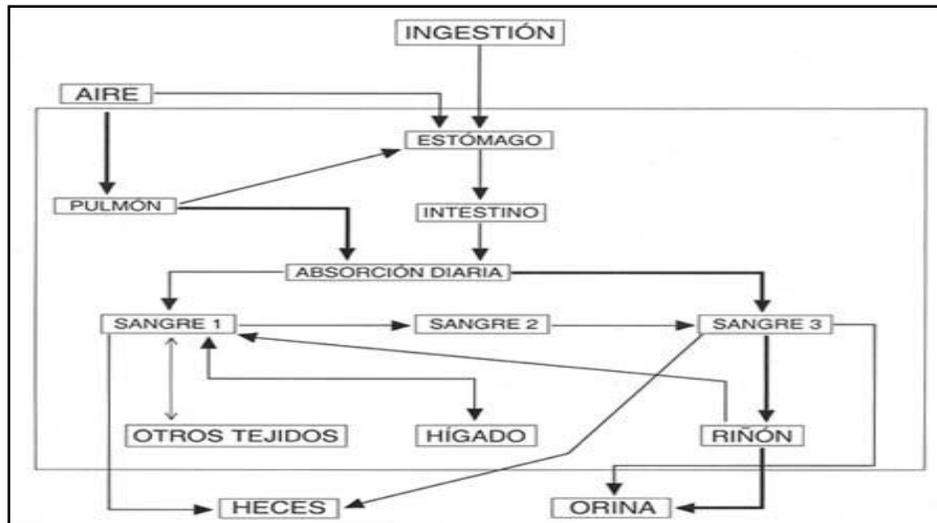


Figura. 4. Toxicología del cadmio en los seres humanos (Modelo representativo tomado de Ramírez, 2002).

Norma de medición del Cd

En suelo. En virtud de que los elementos contaminantes pueden estar presentes en el suelo de manera natural y en ocasiones en concentraciones tales que pueden representar un riesgo para la salud de la población humana o de los ecosistemas, es importante establecer criterios para determinar la contaminación antropogénica en suelos y en su caso las concentraciones de remediación. Existen límites máximos permisibles que establecen criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio, y/o vanadio. Cuando al menos una de las concentraciones de estos elementos se encuentre por arriba de los límites máximos permisibles es necesario implementar acciones de remediación NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Como se representa en el siguiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Límites máximos permisibles de metales pesados para uso agrícola/residencial/comercial y para uso industrial. (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Contaminante	Límite máximo permisible uso agrícola/residencial/comercial (mg/kg)	Límite máximo permisible Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Bario	5400	67000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plata	390	5100
Plomo	400	800
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	78	1000

Nota:

- a. En caso de que se presenten diversos usos del suelo en el sitio, debe considerarse el uso que predomine.
- b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos del suelo se usaran el valor residencial.

En plantas. La Norma para Prevenir la Contaminación Ambiental de la República de Paraguay establece una concentración máxima de 0.001 mg/l para el Cd, en aguas destinadas al riego de hortalizas o plantas frutícolas u otros cultivos destinados al consumo humano (Estándares de Calidad Ambiental de Paraguay, 2014).

La Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de agua de Venezuela, establece un valor de 0.003 mg/l como límite máximo de concentración de Cadmio Total, en aguas destinadas al riego de hortalizas, legumbres consumidas en crudo, cereales, y cultivos arbóreos (Normativa Ambiental Venezolana, 1995).

En algunas plantas como los Cereales, excluido el salvado y el germen, el trigo y el arroz, establece un valor de 0.10 mg/kg, para los hortalizas y frutas, excluidas las hortalizas de hoja las hierbas frescas, las hortalizas de hoja del genero *Brassica*, las setas, los tallos jóvenes, las hortalizas de raíz y tubérculo y las algas marinas, establece un valor de 0.050 mg/kg, para hortalizas de hoja, hierbas frescas, hortalizas de hoja del genero *Brassica*, *apionabos* y las siguientes setas, *Agaricus bisporus* (champiñón), *Pleurotus ostreatus* (seta de ostra) y *Lentinula edodes* (setas shiitake), establece un valor de 0.20 mg/kg (CATICE, 2013).

En animales. La Comisión conjunta FAO/OMS del Codex Alimentarius, estable que para productos animales, los valores máximos de plomo de 0.02 mg/kg en leches (en peso fresco) y 0,1 mg/kg para carnes y 0,5 mg/kg para despojos comestibles. Para cadmio, los niveles fijados son de 0,05 mg/kg para carnes, 0.5 mg/kg para hígado y 1.0 mg/kg para riñones. Para mercurio solo se fijan límites para pescado (FAO/OMS, 2000).

Seres humanos. La Administración de Drogas y Alimentos ha determinado que la concentración de cadmio en agua en botella no debe exceder 0.005 mg/l. (FDA, 2012).

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional limita la exposición de trabajadores a un promedio de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante una jornada diaria de 8 horas, 40 horas a la semana (OSHA, 2012).

El límite recomendado de exposición en es de 0.01 mg/m^3 en forma de cadmio elemental y de 0.002 mg/m^3 en forma de compuestos de cadmio (fracciones respirables), como promedio durante un turno laboral de 8 horas (ACGIH, 2012).

Metodología de eliminación de Cd en el ecosistema

El concepto de usar plantas para limpiar suelos contaminados no es nuevo, desde hace 300 años las plantas fueron propuestas para el uso en el tratamiento de aguas residuales. En Rusia en los años sesentas se realizaron investigaciones utilizando plantas para recuperar suelos contaminados con radionucleótidos. Existen reportes sobre el empleo de plantas acuáticas en aguas contaminadas con plomo, cobre, cadmio, hierro y mercurio. La remediación de la acumulación de metales pesados en suelos utilizando plantas es también ampliamente reconocida (Ernst, 2000).

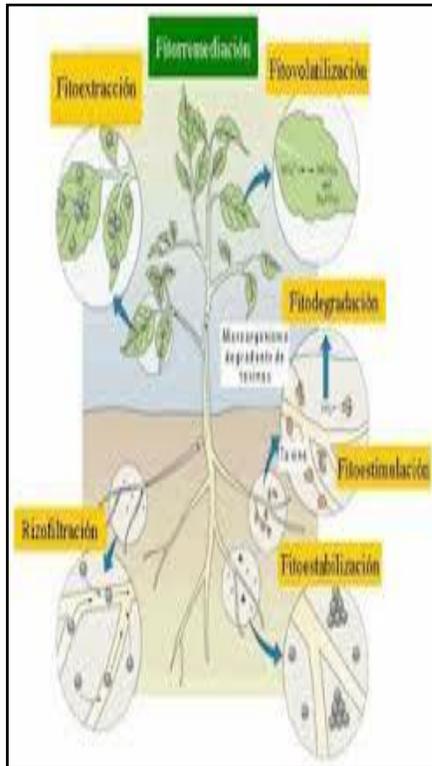
La fitorremediación no es un sencillo remedio o receta que sea aplicable para todos los suelos contaminados, antes de que esta tecnología pueda volverse técnicamente eficiente y económicamente viable, hay algunas limitaciones que necesitan ser superadas. Por ejemplo, sus mecanismos tanto moleculares, bioquímicos y fisiológicos, son pocos conocidos e insuficientemente entendidos; sin embargo, a pesar de esto, un gran número de plantas definidas como

hiperacumuladoras, todavía pueden darse a conocer e identificarse (Freitas *et al.*, 2004).

La fitorremediación es el uso de plantas para recuperar suelos contaminados, es una tecnología *in situ* no destructiva y de bajo costo y está basada en la estimulación de microorganismos degradadores. Consiste en el uso de plantas, sus microorganismos o enzimas asociadas, así como de la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar al contaminante. Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación, la fitorremediación ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable, útil para remediar simultáneamente una gran variedad de contaminantes (Merkl *et al.*, 2004).

Los pastos son el género más adecuado para la fitorremediación de formas orgánicas e inorgánicas de metales, por su hábitat de crecimiento y adaptabilidad a una variedad de condiciones edáficas y climáticas. En las *Asteraceae* se ha reportado por ejemplo tolerancia al plomo en *Sonchus oleraceus* y se le ha propuesto como especie fitoremediadora de ambientes contaminados con este metal (Singh *et al.*, 2003).

La especie en suelos contaminados con zinc y cadmio. Logra eliminar más de 8 mg/kg de cadmio y 200 mg/kg de zinc, representado estos valores el 43 y 7 % de estos metales en un suelo agrícola, respectivamente (Lombi *et al.*, 2001). El girasol (*Helianthus annuus* L.) es la especie que absorbe los metales pesados en mayor cantidad acumulándose más en sus raíces que en sus brotes si se cosecha la biomasa entera de la planta, por lo que se considera una planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de Cd, Zn, Pb y elementos radiactivos (Christie *et al.*, 2004). Como se puede representar en la (Figura 5).



Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. 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
Fitolatitización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	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.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzono, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Figura 5. Tipos de fitorremediación, en donde se indica la zona de la planta en donde ocurre el proceso (Figura tomada de ArgenBio, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El área de estudio fue la mina de uranio llamada La Preciosa que se encuentra inactiva o abandonada. Se localiza en las coordenadas 25°20'.703" de latitud norte y a 104°04'.085" de longitud oeste, al suroeste del municipio de Nazas, Durango. El poblado más próximo es el ejido la Perla municipio de Nazas, Durango que se localiza entre las coordenadas geográficas 25°13' 34" de latitud norte y 104° 06'39" longitud oeste a una altura de 1250 msnm. la superficie territorial es de 2,412.80 km² y cuenta con 33 poblados.

El método empleado se dividió en dos partes:

Trabajo de campo y trabajo de gabinete

Trabajo de Campo. Se hicieron recorridos en el área de estudio y se definieron sitios de muestreo de suelos en bloques completamente al azar. El área a muestrear se dividió en tres estratos: bajo (valle) que se muestreó el 16 de abril de 2011, medio (ladera) muestreada el 14 de Mayo de 2011, alto (meseta) muestreada el 22 de junio de 2011. En el estrato bajo se tomaron 9 muestras. En el estrato medio 7 muestras y en el estrato 9 muestras. A una profundidad de 0 a 15 cm y con un diámetro aproximado de 10 cm. En total se hicieron 25 muestreos. Cada una de aproximadamente ½ kg de suelo, que fueron colectadas en bolsas

de plástico y se etiquetaron. Fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la UAAAN-UL.

Trabajo de gabinete. Las muestras de suelo fueron procesadas en el laboratorio de suelos. Los análisis de laboratorio se hicieron de la siguiente manera, de acuerdo a la metodología (Etchevers *et al.*, 2005) del programa de calidad e intercalibración de análisis de suelo y plantas que consistió en:

Para cada estrato, se mezclaron cada una de las muestras. Aun así se hizo la mezcla de las muestras de suelo, una vez mezclado se extendió sobre el piso y se dividió en cuatro partes, de cada una de las partes se tomó una porción y se colocó en una bolsa de plástico, se repitió dos veces más y así se obtuvieron 3 submuestras de cada estrato. Dando resultados de 9 muestras en total.

1. Se tamizó el suelo de cada submuestra con una malla de 2 mm.
2. Se peso 5 gr de suelo de cada una de las muestras, las cuales se colocaron en botes de plástico con tapón.
3. Se les adicionó 50 ml acido nítrico (HNO_3) 4 molar (260 ml/litro).
4. Se colocaron a baño María a una temperatura de 70 °C permaneciendo durante 12 horas.
5. Se sacó a Baño María, dejándolo reposar a temperatura ambiente, para nivelar el volumen que tenia, y se sellaron bien.
6. Pasado ese tiempo las submuestras se colocaron en un agitador durante 1 hora.
7. Cada una de las submuestras se filtró en vaso de precipitados de 50 ml con papel filtro de 12.5 de diámetro, de poro medio el liquido obtenido se almacenó en refrigerador a una temperatura de 7 °C,
8. Se Analizaron las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Modelo 2380) del laboratorio de Suelos de la UAAAN-UL.

Cálculos:

$$\text{Ppm Cd} = (\text{CAA}) (\text{DM}) (\text{DV})$$

Donde:

Ppm = Partes por millón

Cd = Cadmio

CAA = concentración de cadmio leída en el aparato de absorción atómica.

DM = Dilución en masa 50/5

DV = En caso de ser necesario

Con los datos obtenidos se hizo un análisis estadístico que consistió en: obtener la media de Cd y un análisis de varianza de acuerdo al paquete estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León, versión 1.1 de Olivares, (2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los resultados obtenidos se encontró que el Cd en la media total obtenida es de 9.9 mgkg^{-1} , lo cual dice que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo a lo que establece la presente NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004; que dice que para uso agrícola/residencial/comercial las concentraciones límites permisibles es de 37 mgkg^{-1} , y para uso industrial las concentraciones límites permisibles es de 450 mgkg^{-1} , (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de Cd en los estratos 1 (meseta), 2 (ladera) y 3 (valle), la media de la suma de los estratos y la media estadística, de la mina abandonada La Preciosa del ejido La Perla Municipio de Nazas, Durango. 2011.

Numero de submuestras	E1 Cd (mgkg^{-1})	E2 Cd (mgkg^{-1})	E3 Cd (mgkg^{-1})	Media total Cd (mgkg^{-1})	NOM-147-SEMARNAT/SAA1-2004	
					Uso agrícola/residencial/comercial Cd (mgkg^{-1})	Uso industrial Cd (mgkg^{-1})
1	9.7	9.9	10.2	9.933		
2	9.5	10.1	9.5	9.7		
3	10.6	9.4	10.2	10.066	37	450
Media	9.933	9.8	9.967	9.9		

Ramírez a (2002) menciona que uno de los mayores agentes tóxicos asociado a la contaminación ambiental e industrial es el Cd, este elemento reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

5. Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.
6. Bioacumulación.
7. Persistencia en el medio ambiente.
8. “Viaja” grandes distancias con el viento y en los cursos de agua.

En lo ambiental, el Cd es un elemento relativamente raro en la litosfera. Por afinidad química, se le encuentra junto al Zn, en proporción muy variable. Las principales fuentes de contaminación son: la minera, metalurgia de metales no ferrosos, la metalurgia del hierro y acero, la fabricación de fertilizantes fosfatados, la incineración de residuos de madera, carbón o “plásticos”, la combustión de aceite y gasolina y las aplicaciones industriales de cadmio.

Aunque este metal se encuentra acumulado en estos suelos en concentraciones relativamente bajas, no significa que no ocasione contaminación, si hay contaminación, lo que ocurre es que está dentro de los límites máximos permisibles porque para uso agrícola/residencial/comercial las concentraciones límites permisibles en suelo es de 37 mgkg^{-1} , y para uso industrial las concentraciones límites permisibles en suelo es de 450 mgkg^{-1} .

Como se muestra en el Cuadro 3, se pueden observar los resultados obtenidos en el análisis de varianza efectuado con los datos calculados. Claramente se ve que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de Cd en los tres distintos estratos.

Cuadro 3. Análisis de varianza de la variable Cd en los tres estratos 1 (meseta), 2 (ladera) y 3 (valle), de la mina abandonada La Preciosa del ejido La Perla Municipio de Nazas, Durango. 2011.

Estratos	Media	Sig = 0.05
Cd (mgkg⁻¹)		
1	9.933	a
2	9.8	a
3	9.967	a

CONCLUSIONES

No existen elevadas concentraciones de cadmio en el suelo de las muestras obtenidas de los diferentes estratos del sitio ya mencionado, de acuerdo a los límites establecidos en suelo según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Las bajas concentraciones de cadmio permiten que las plantas puedan adaptarse en el suelo aledaño a la mina. Esto posiblemente indica también que plantas que radican cercanas a la mina pueden ser ellas a través del proceso de fitorremediación, las que acumulen los metales presentes en el sitio.

El análisis de varianza indicó que no existen diferencias significativas en las concentraciones de Cd en los tres estratos muestreados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar más a profundidad el sitio de la mina abandonada porque años antes, en ese lugar se extraía uranio, ya que es un metal radiactivo, puede haber altas concentraciones de este metal tanto en suelo y planta. Se recomienda determinar concentraciones de uranio en estos suelos.

No se recomienda el pastoreo de animales domésticos en las cercanías de este sitio, aunque se haya encontrado bajas concentraciones de Cd, puede haber otros metales tóxicos presentes tanto en el suelo como en las plantas, estas al ser consumidas por animales y a su vez, por los seres humanos puede haber daños en el organismo, y a largo plazo al estar expuesto por metales pueden existir efectos graves.

LITERATURA CITADA

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasto, E., Sarzanini, C. and Barberis, R. 2002. Distribution and Mobility of Metales in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution. Vol. 119, Pág. 177.
- ACGIH. 2012. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Defining the Science of Occupational and Environmental Health. <http://www.acgih.org/about/>. (Consulta el día 23 de Enero 2014).
- Agency for Toxic substance and Disease Registry. Toxicological Profile for Cadmium. 2008. U.S. Department of Health and Humans Services. Public Health Service. Centers for Diseases Control. Atlanta. GA. Págs. 1-3.
- Aguilar, J., Dorronsoro, C., Bellver, R., Fernández, E., Fernández, J., García, I., Iriarte, A., Martin, F., Ortiz, I., Simón, M. 2003. Contaminación de los Suelos tras el Vertido Tóxico de Aznalcóllar. Universidad de Granada-Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. España. Págs. 1-40.
- Alloway, B.J., Steinnes, E. 1999. Anthropogenic additions of cadmium to soils. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. Págs. 97-123.
- ArgenBio. 2014. Biorremediación: Organismos que Limpian el Ambiente. Remediación con Planta (Fitorremediación). Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología. <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=36>. (Consulta el día 24 de Enero 2014).
- ATSDR. 2012. División de Toxicología y Ciencia de la Salud. http://www.atsdr.cdc.gov/es_phs5.pdf. (Consulta el día 24 de Enero 2014).

- Benavides, M.P., Gallego, S.M., Tomaro, M. 2005. Cadmium Toxicity Inplants. Brazilian Journal of Plant Physiology. Vol. 17, Págs. 21-34.
- Benes, S., Spevackova, V., Smid, J., Cerna, M. y Marecek, J. 2000. The Concentration Levels of Cd, Pb, Hg, Cu, Zn and Se in Blood of the Population in Relation to the Czech Republic. Cent. Eur. J. Publ. Health. Vol. 8, Núm. 2, Págs. 11-19.
- CATICE. 2013. Unión Europea. Contenidos Máximos en Metales Pesados en Productos Alimenticios. Págs. 1-5.
- Christie, P., Li, X., Chen, B. 2004. Arbuscular Mycohriza Can Depress Translocation of Zinc to Shoots of Host Plants in Soils Moderately polluted With Zinc. Plant an Soil. Vol. 261, Núm. 1-2, Págs. 209-217.
- CICEANA. 2014. Contaminación del Suelo. <http://www.ciceana.org.mx/recursos/contaminación%20del%20suelos.pdf>. (Consulta el día 25 de Enero 2014).
- Ernst, W.H.O. 2000. Evolution of Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation. New Phytol. Vol. 146, Pág. 357.
- Estándares de Calidad Ambiental de Paraguay. 2014. Parámetros para Agua de Riego de Vegetales. http://www.digesa.sld.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20U50%203.pdf. (Consulta el día 26 de Enero 2014).
- Etchevers Barra J.D., Goijberg de E. G., López R. R. Ma., Padilla C. J., Alvarado L. J., Hidalgo M. C., Cruz H. Ma. de L., Guerrero P. A., Gutiérrez B., Miranda C. E. 2005. Programa de Calidad e Intercalibracion de Análisis de Suelo y Planta. Manual de Procedimiento Analíticos para Análisis de Suelo y planta del Laboratorio de Fertilidad de Suelos IRENAT-Colegio de Postgraduados. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Págs. 1-200.

- FAO. 2014. Sistema Industrial de Producción Animal. <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/indust/inanprs/htm>. (Consulta el día 28 de Enero 2014).
- FAO/OMS. 2000. Informe 32° Reunion del Comité Codex sobre Aditivos Alimentarios y Contaminantes de los Alimentos. www.codexalimentarius.net. (Consulta el día 1 de Febrero 2014).
- FDA. 2012. U.S. Food and Drug Administration. U.S. Department of Health and Human Services. <http://fda.gov/>. (Consulta el día 1 de Febrero 2014).
- Freitas, H., Prasad, M.N.V. and Pratas, J. 2004. Heavy Metals in the Plant Community of Sao Domingo an Abandoned Mine in SE Portugal: Possible Applications in Mine Remediation. *Environmental International*. Vol. 30, Págs. 65-72.
- Frery, N., Nessmann, C., Girard, F., Lafond, J., Moreau, T., Blot, P., Lellouch, J. y Huel, G. 1993. Environmental Exposure to Cadmium and Human Birthweight. *Toxicology*. Vol. 79, Págs. 109-180.
- Galán Huertos, E. y Romero Baena, A. 2008. Contaminación por Metales Pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. Sevilla. Págs. 89-96.
- García, I. y Dorronsoro, C. 2005. Contaminación por Metales Pesados. En *Tecnología de Suelos*. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Págs. 1-50
- Guitart, R. 1999. Impacto Ambiental del Plomo Empleado en Caza, Tiro y Pesca Deportivo. Laboratorio de Toxicología. Facultad Veterinaria. Universidad Autónoma de Barcelona. E08193 Bellaterra. XIII Congreso Español de Toxicología. Granada. 22-24 de Septiembre 1999. *Rev. Tóxicol*. Vol. 16, Pág. 141.

- Hernández J. 2006. Los Elementos Químicos y sus Nombres. Núm. 4, I. Págs. 1-60.
- Iannacone, O., y Alvariño, F.L. 2005. Efecto Ecotoxicológico de Tres Metales Pesados sobre el Crecimiento Radicular de Cuatro Plantas Vasculares. Agricultura Técnica. Chile. Vol. 65, Núm. 2, Págs. 198-203.
- Ingeniería Ambiental. 2007. Residuos Mineros. <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Mineros.pdf>. (Consulta el día 2 de Febrero 2014).
- Intawongse, M. y Dean, J. 2006. Uptake of Heavy Metals by Vegetable Plants Grown on Contaminated Soil and Their Bioavailability in the Human Gastrointestinal Tract. Food Additives and Contaminants. Vol. 23, Págs. 36-38.
- Kabata-Pendias, A. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton, USA. Págs. 365-413.
- Kurochkin I.O., Etkorn, M., Buchwalter, D., Leamy, L. and Sokolova, I.M. 2011. Top-Down Control Analysis of the Cadmium Effects on Molluscan Mitochondria and the Mechanisms of Cadmium-Induced Mitochondrial Dysfunction. Am J. Regal. Integr. Comp. Vol. 300, Págs. 21-31.
- La Dou, J. 1999. Medicina Laboral y Ambiental. El Manual Moderno. 2ª Edición México. Págs. 1-141.
- Lombí, E., Zhao, F.J., Dunham, S.J. and McGrath S.P. 2001. Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation Versus Chemically-Enhanced Phytoextraction. Journal of Environmental Quality. Vol. 30, Págs. 119-126.
- Lucho, C.A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. and Poggi, H. 2005. A Multivariate Analysis of the Accumulation and Fractionation of Major and Trace

Elements in Agricultural Soils in Hidalgo State, Mexico Irrigated With Raw Wastewater. Environmental International, on Line: 0160-4120-D 2004.

Mahdy, A.M., Elkhatab, E.A. and Fathi, N.O. 2007. Cadmium Copper, Nickel, and Lead Availability in Biosolids-Amended Alkaline Soils. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. Vol. 1, Págs. 354-363.

Martínez Flores, K., Souza Arroyo, V., Bucio Ortiz, L., Gómez Quiroz, L.E., Gutiérrez Ruíz, M.C. 2013. Cadmio: Efectos sobre la Salud. Respuesta Celular y Molecular. Acta Tóxicol. Argent. Vol. 21, Núm. 1, Págs. 33-49.

McLughlin, M.J. y Singh, B.R. 1999. Cadmium in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. Págs. 97-123.

Merkel, N.R., Schultze-Kraft and C. Infant. 2004. Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils in the Tropics-pre-selection of Plant Species from Eastern Venezuela. Journal of Applied Botany and Food Quality. Vol. 78, Núm. 3, Págs. 185-192.

Nava R., C. y Méndez A. M. 2011. Efectos Neurotóxicos de Metales Pesados (cadmio, plomo y talio). Arch Neurocién (Mex). Vol. 16, Núm. 3, Págs. 140-147.

Navarro-Aviño, J.P., Aguilar, A.I. y López-Moya, J.R. 2007. Aspectos Bioquímicos y Genéticos de la Tolerancia de Metales Pesados en las Plantas. Ecología. Vol. 16, Núm. 2, Págs. 10-23.

Navarro-Aviño, J.P., Aguilar, A.I. y López-Moya, J.R. (a). 2007. Aspectos Bioquímicos y Genéticos de la Tolerancia de Metales Pesados en las Plantas. Ecología. Vol. 16, Núm. 2, Págs. 10-23.

Nigam, R., Srivastava, S., Prakash, S., and Srivastava, M.M. 2001. Cadmium Mobilisation and Plant Availability-the Impact of Organic Acids Commonly Exuded from Roots, plant soil. Vol. 230, Págs. 107-113.

- NJHealth. 2009. Special Health Hazard Substance List. <http://nj.gov/health/eoh/rtweb/documents/fs/0305sp.pdf>. (Consulta el día 2 de Febrero 2014).
- Nordberg, G. 2014. Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad. <http://www.insht.es/inshtweb/contenidos/documentación/textosonline/enciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>. (Consulta el día 3 de Febrero 2014).
- Normativa Ambiental Venezolana. 1995. Normas para Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Decreto N°883. Gacet Oficial N° 5.021 extraordinario del 18 de Diciembre de 1995.
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que Establece Criterios para Determinar las Concentraciones de Remediación de Suelos Contaminados por Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cromo Hexavalente, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio y Vanadio. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el Viernes 2 de Marzo de 2007.
- Oficina Española de Patentes y Marcas. 2005. Método para la Descontaminación de Suelos Contaminados con Metales Pesados Mediante el Empleo de Residuos Precedentes de la Elaboración de la Cerveza. España. http://www.espatentes.com./pdf/2226515_al.pdf. (Consulta el día 4 de Diciembre del 2013).
- Olivares Sáenz E. 2012. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Programa Versión 1.1 julio 2012.
- OSHA. 2012. Occupational Safety & Health Administration. United States Department of Labor. <http://www.osha.gov>. (Consulta el día 4 de Febrero 2014).
- Pérez García, P.E. y Azcona Cruz, M.I. 2012. Los Efectos del Cadmio en la Salud. Rev. ESP. Med. Quir. Vol. 17, Núm. 13, Págs. 199-205.

- Pérez García, P.E. y Azcona Cruz, M.I (a). 2012. Los Efectos del Cadmio en la Salud. Rev. ESP. Med. Quir. Vol. 17, Núm. 13, Págs. 199-205.
- Pinto, A.P., Mota, A.M., De Varennes, A. and Pinto, F.C. 2004. Influence of organic Matter o the Uptake of Cadmium, Zinc, Copper and Iron by Sorghum Plants. Science of the Total Environment. Vol. 326, Págs. 239-274.
- Ramírez, A. 2002. Toxicología del cadmio. Anales de la Facultad de Medicina. Copyright. Vol. 63, Núm. 1, Págs. 51-64.
- Ramírez, A (a). 2002. Toxicología del cadmio. Anales de la Facultad de Medicina. Copyright. Vol. 63, Núm. 1, Págs. 51-64.
- Sabroso G., M.C. y A. Pastor E. 2004. Guía sobre Suelos Contaminados. CEPYME ARAGÓN. Págs. 1-136.
- Sánchez, N., Subero, N. y Rivero, C. 2011. Determinación de la Adsorción de Cadmio Mediante Isotermas de Adsorción en Suelos Agrícolas Venezolanos. Acta Agronómica. Vol. 60, Núm. 2, Págs. 190-197.
- Schraúzer, G.N. 2008. Interactive Effects of Selenium and Cadmium on Mammary Tumor Development and Growth in MMTV-Infected Female Mice. A Model Study on the Roles of Cadmium and Selenium in Human Breast Cancer. Biol. Trace Elem. Res. Vol.123, Págs. 27-34.
- SIAFA. 2014. Cadmio (Cd). <http://www.siafa.com.ar/notisiafa/fichas/cadmio.pdf>. (Consulta el día 5 de Febrero 2014).
- SIAFA (a). 2014. Cadmio (Cd). <http://www.siafa.com.ar/notisiafa/fichas/cadmio.pdf>. (Consulta el día 5 de Febrero 2014).
- Singh, O.V., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R. and Jain R.K. 2003. Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination From Soil. Applied Microbiology and Biotechnology. Vol. 61, Págs. 405-412.

- Smedman, M., Potempska, A. Rubentein, R., Ju, W. and Ramakrisma, N. 1997. Effects of Cadmium, Copper and Zinc and Bet APP processing and Turnover in Cos-7 and PC12 Cells. Mol. Chem. Neuropathol. Vol. 31, Págs. 13-28.
- Sostenibilidad Ambiental. 2012. Análisis Ecológico del Mundo. [Http://sostenibilidadambiental.blogspot.mx/2012/07/pascua-lama-amenaza-un-recurso-muy.html](http://sostenibilidadambiental.blogspot.mx/2012/07/pascua-lama-amenaza-un-recurso-muy.html). (Consulta el día 15 de Febrero 2014).
- Tchernitchin, A., Olivares, F., Aranda, C., Bustamante, R.A., Gaete, L., Ferrada, K., Villagra, R., Vera, J., Iturbe, R.J., Kim, Y.A., Hernández, N.B., Bizjak, T. y Novsak, S. 2008. Efectos de Exposición Aguda a cadmio en la Acción de Estrógenos en Útero de Rata Impuber. Rev. Chil. Pediatr. Vol. 79, Núm. 4, Págs. 373-380.
- U.S. EPA. 1999. Integred Approach to Assessing the Bioavailability and Tóxicity of Metals in Surface Water and Sediments. Washington. D.C. Office of Water. Págs. 73-78.
- U.S. National Library of Medicine. 2012. Inquietudes de Salud Ambiental y Sustancias Químicas Tóxicas en su Lugar de Residencia, Trabajo y Diversión. <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=64>. (Consulta el día 20 de Marzo de 2014).
- Valdez Perezgasga, F. 1999. La Contaminación por Metales Pesados en Torreón, Coahuila, México, en Defensa del Ambiente, A.C. Texas Center for Policy Studies. Págs. 1-50.
- Vega M. R. 2007. Los impactos sobre la salud humana de los polvos de minerales y el desarrollo sustentable de la minería como alternativa para mitigar sus efectos futuros. Núm. 18, Págs. 1-13.

- Vestergaard, M., Matsumoto, S., Nishikori, S., Shiraki, K., Hirata, K. and Takagi, M. 2008. Chelation of Cadmium Ions by Phytochelatin Synthase: Role of the Cystein-Rich C-Ter-minal. *Analytical Science*. Vol. 24, Págs. 277-281.
- Zheng, W., Li, X.M., Wang, F., Yang, Q., Deng, P. and Zeng, G.M. 2008. Adsorption Removal of Cadmium and Copper from Aqueous Solution by Areca-A Food Waste. *Journal of Hazardous Material. Science Direct. Elsevier*. Vol. 157, Págs. 490-495.