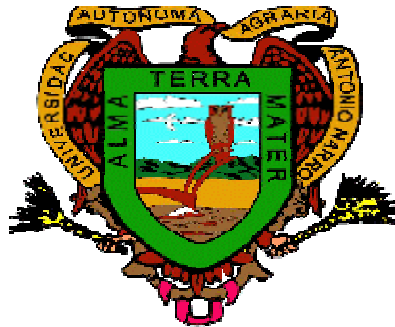


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**ADAPTACIÓN DEL TABAQUILLO (*Nicotiana glauca* Graham.) AL
CADMIO APLICADO A DISTINTAS DOSIS**

POR

ANNA VIRGINIA MATUL MORALES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA MÉXICO

DICIEMBRE 2009.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

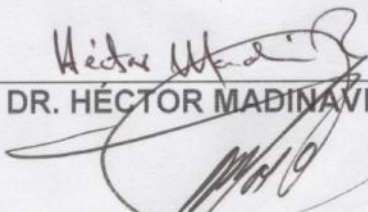
ADAPTACIÓN DEL TABAQUILLO (*Nicotiana glauca* Graham.) AL CADMIO
APLICADO A DISTINTAS DOSIS

TESIS DE LA C. ANNA VIRGINIA MATUL MORALES QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL COMITE PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

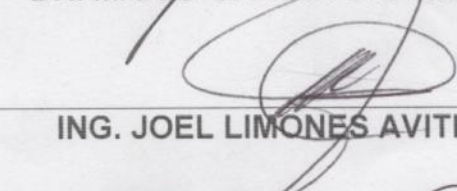
ASESOR PRINCIPAL:


DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

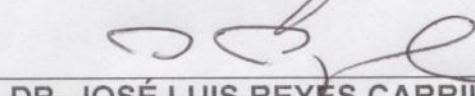
COASESOR:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

COASESOR:

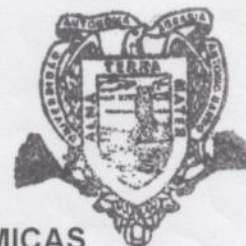

ING. JOEL LIMONES AVITIA

COASESOR:


DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO


MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA MÉXICO

DICIEMBRE 2009

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

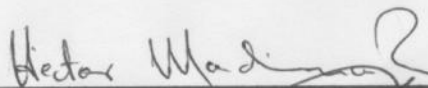
**ADAPTACIÓN DEL TABAQUILLO (*Nicotiana glauca* Graham.) AL CADMIO
APLICADO A DISTINTAS DOSIS**

**TESIS DE LA C. ANNA VIRGINIA MATUL MORALES, QUE SE
SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR
Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TITULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:



DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL:



ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL SUPLENTE:

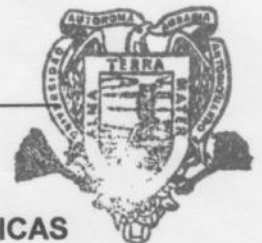


DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO



M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA MÉXICO

DICIEMBRE 2009

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por el don de la vida y permitir la realización de éste sueño, que ahora es realidad, todo por su ayuda y por su gran amor hacia mí.

A mis padres:

Adrian Matul Velázquez y Eluvia Morales Guzmán

...y familia:

Victorico, Guadalupe, Cielo, Adriancito y Araceli.

Gracias por todo el apoyo económico y moral que siempre me han brindado, lo cual hizo posible este hermoso sueño. Gracias por confiar en mí, por ser mi ejemplo a seguir y hacerme entender que todo es posible siempre y cuando uno quiera y que no hay obstáculo alguno para alcanzar nuestras metas. Los quiero mucho.

A MI ALMA TERRA MATER “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro”:

Por cobijarme en su seno durante los cuatro años y medio, por formarme como profesional y darme el conocimiento para enfrentarme al mundo laboral y por el apoyo brindado en todo aspecto.

A MIS ASESORES:

Dr. Mario García Carrillo

Ing. Joel Limones Avitia

Dr. José Luis Reyes Carrillo

Por colaborar en la realización de la presente, por compartir sus conocimientos y dedicación.

...y en especial al ***Dr. Héctor Madinaveitia Ríos***

Mil gracias por su infinito apoyo moral y ser parte de mi formación profesional, gracias por considerarme parte de su familia, por el cariño que siempre me demostró, lo quiero mucho biólogo siempre estará presente en mis recuerdos.

Bióloga María Isabel Blanco Cervantes:

Por su apoyo incondicional en la realización de este proyecto, eres una gran persona a la cual admiro y estimo mucho, por tu humildad, paciencia y porque siempre brindas ayuda sin esperar nada a cambio, muchas gracias Chabelita nunca te olvidare te deoco lo mejor hoy mañana y siempre.

**Téc. Acad. Norma Lydia
Rangel Carrillo:**

Por su tiempo y dedicación en la realización de los análisis lo cual hizo posible este proyecto.

INIFAP, Matamoros, Coahuila

En especial al Dr. Uriel Figueroa Viramontes, por abrirme las puertas del laboratorio de Suelos a su cargo para la realización de análisis finales de este proyecto. Muchas gracias.

Sr. Román Ramírez y familia:

Agradeciéndole su buena voluntad y disposición en brindarnos el área de experimentación y por su gran generosidad.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por el maravilloso amor que me tiene y a pesar de todo siempre ha estado conmigo en los momentos más difíciles de mi vida.

A mí querida familia:

Como un reconocimiento a su infinito amor, apoyo y dedicación, aunque con sacrificios, es recompensado con este logro. Los Amo.

A mis compañeros:

Por el apoyo mutuo y por haber compartido momentos inolvidables, que como hermanos, les deseo lo mejor.

A las personas muy especiales:

Selene, Polita, Renesín, Cristian, Naye, Lupita, Elmi, Ing. Hernán, Mary, Miriam y Paul.

Gracias por su apoyo incondicional, por los momentos maravillosos que convivimos juntos. Los quiero mucho nunca los olvidare y éxito en todo.

A mi novio:

Ing. Idahi N. Ortiz Roblero

Por ser parte importante en mi vida, por el apoyo en los momentos más difíciles de mi vida, gracias porque en tu libertad me elegiste para compartir nuestros logros y derrotas juntos. Gracias amor por tu infinita paciencia y por todo el cariño y amor que siempre me has dado.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.1.2 Objetivos específicos.....	4
2.2 Hipótesis.....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 Problemática ambiental del Cadmio.....	5
3.1.1 Problemática en Torreón, Coahuila.....	5
3.2 Metales pesados.....	6
3.2.1 Efecto de los metales pesados en el suelo.....	7
3.2.2 Movilización de metales pesados en el suelo.....	8
3.3 El cadmio.....	10
3.3.1 Fuentes de contaminación.....	11
3.3.2 Toxicidad del cadmio.....	12
3.3.3 Ingreso, transporte y acumulación.....	14
3.3.4 Ingreso en la cadena trófica.....	15
3.3.5 Estrategias de tolerancia.....	16
3.3.6 Hiperacumulación y fitoextracción.....	17
3.3.7 Efectos ambientales.....	18
3.3.8 Toxicología en el ser humano.....	19
3.3.9 Daños en animales.....	20
3.4 Límites máximos permisibles de Cd.....	21
3.4.1 Agua.....	21
3.4.2 Vida acuática en sistemas de agua dulce (ríos, lagos).....	21

3.4.3 Vida acuática estuarina o en zonas de costas.....	21
3.4.4 Suelo.....	22
3.4.5 Alimentos.....	22
3.4.6 En fuentes de trabajo.....	22
3.5 Fitorremediación.....	23
3.5.1 Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	24
3.5.2 Mecanismos y fases de la fitorremediación.....	25
3.5.3 Estrategias de adaptación de las plantas a la contaminación por metales pesados.....	27
3.5.4 Investigaciones sobre fitorremediación.....	28
3.6 <i>Nicotiana glauca</i> G.....	30
3.6.1 Clasificación taxonómica.....	30
3.6.2 Descripción botánica.....	31
3.6.3 Composición química.....	32
3.6.4 Características fitorremediadoras sobre <i>Nicotiana glauca</i> G...	32
3.6.5 Investigaciones efectuadas sobre fitorremediación en <i>Nicotiana glauca</i> G.....	33
3.7 Técnicas de regresión y correlación.....	33
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
4.1 Localización geográfica del lugar experimental.....	35
4.2 Desarrollo del experimento.....	35
4.2.1 Preparación del área experimental.....	35
4.2.2 Diseño experimental.....	35
4.2.3 Recolección de <i>Nicotiana glauca</i> G.....	36
4.2.4 Trasplante.....	36
4.2.5 Riego.....	36
4.3 Preprueba.....	36
4.3.1 En suelo.....	36
4.3.2 En agua.....	37
4.3.3 En planta.....	37
4.4 Preparación de la dosis de los tratamientos.....	37

4.4.1 Aplicación de los tratamientos.....	38
4.5 Posprueba.....	38
4.5.1 En lixiviado.....	38
4.5.2 En planta.....	38
4.5.3 En suelo.....	39
4.6 Análisis y acumulación de Cd en la planta.....	39
4.7 Análisis estadístico de los resultados.....	39
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
5.1 Variables evaluadas en suelo y agua en preprueba y posprueba...	40
5.2 Cd en suelo y agua.....	40
5.3 Número de hojas, altura, flores y sobrevivencia en preprueba y posprueba.....	42
5.4 Concentración de Cd en órganos de la planta.....	43
5.5 Posprueba en suelo, agua y planta.....	44
5.6 Valores estadísticos en <i>Nicotiana glauca</i> G.....	45
5.7 Modelo de predicción.....	46
5.8 Correlación simple.....	49
VI. CONCLUSIONES.....	51
VII. RECOMENDACIONES.....	53
VIII. LITERATURA CITADA.....	55
APÉNDICE.....	75

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Parámetros analizados en agua y suelo en preprueba y posprueba. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre 2009.....	42
2	Medias de número de hojas, altura (cm), número de flores y sobrevivencia (%) en <i>Nicotiana glauca</i> G. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.....	44
3	Concentraciones de Cd en los diferentes órganos de la planta <i>Nicotiana glauca</i> G. Vivero ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero- Diciembre de 2009.....	45
4	Valores totales de Cd (mg kg^{-1}), encontrados en suelo, agua y planta. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.....	46
5	Valores estadísticos básicos de las variables evaluadas en <i>Nicotiana glauca</i> G. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.....	47
6	Modelo de predicción de regresión y análisis de varianza para la predicción de raíz de los tratamientos a los que se les aplicó Cd en <i>Nicotiana glauca</i> G. Vivero del ejido la perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.....	49
7	Correlación simple entre las variables evaluadas en <i>Nicotiana glauca</i> G. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.....	51

RESUMEN

En este estudio se determinó la capacidad de acumulación de Cd en cada órgano de la planta tabaquillo (*Nicotiana glauca* G), el experimento se realizó en el vivero del Ejido La Perla Municipio de Nazas, Durango, en el periodo de Febrero-Diciembre de 2009. Se utilizó un diseño experimental totalmente al azar, con tres tratamientos de Cd y un testigo con nueve repeticiones. Se utilizaron macetas con plántulas tomadas de su hábitat natural, con suelo y agua de riego previamente analizados, se aplicó se aplicó dosis de Cd en concentraciones de 200, 300, 400 y 0 mg kg⁻¹. Se tomaron datos de altura, número de hojas, flores y sobrevivencia en las plantas antes de aplicar los diferentes tratamientos de Cd para distinguir los efectos después de la aplicación del metal. Posteriormente se hicieron análisis de posprueba en suelo, agua y planta, comparando el antes y después de la aplicación así como la retención del metal en los mismos. Los análisis de concentración de Cd se realizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. En la posprueba se observó una disminución del metal de 0.08 mg L en agua en relación a la preprueba, También se observó que a mayor concentración de Cd (400 mg kg⁻¹) es más dañina para la planta ya que presentó disminución de altura, menor números de hojas y de flor. Se obtuvieron resultados hasta 37, 16, 26 y 21 % de acumulación de Cd en raíz, tallo, hoja y flor respectivamente, en la raíz se registró una mayor concentración de este metal. Se logró confirmar la capacidad de *Nicotiana glauca* G. en la remoción de Cd del suelo a la planta. Lo que permite reafirmar que esta planta puede ser utilizada para el tratamiento para la remoción de metales pesados en el suelo bajo restricciones.

Palabras clave: Metales pesados, contaminación, fitoquelatinas, *Nicotiana glauca*

G. fitorremediación, regresión múltiple y correlación simple.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales de mayor importancia en el mundo, es la contaminación del agua, suelo, aire, etc. Los tipos de contaminación que más está afectando los ecosistemas es la producida por la acumulación excesiva de metales pesados no esenciales. Una buena técnica para la eliminación de estos metales es la fitorremediación, que es un tratamiento pasivo, donde se aprovechan los procesos biológicos como las plantas acuáticas y terrestres ya que tienen cierta capacidad de precipitar, absorber o descomponer contaminantes, entre los cuales están los metales pesados, que por su efecto tóxico en los organismos provocan problemas ambientales. Los metales pesados no esenciales, son contaminantes estables y persistentes del medio ambiente, los cuales tienden a acumularse en los suelos y sedimentos, en el agua y en aire.

Algunos metales son esenciales para la vida y sólo se convierten en tóxicos cuando se acumulan excesivamente, la biota se ve afectada, produciendo efectos perjudiciales en los organismos. Las plantas necesitan tomar metales, como el hierro (Fe), el cobre (Cu) o el zinc (Zn), para llevar a cabo muchas de sus funciones como señalización, expresión genética, fotosíntesis, reacciones enzimáticas, pero principalmente, en el metabolismo de la planta, etc. Normalmente se requiere cantidades muy pequeñas para satisfacer estas necesidades, de allí que los metales esenciales se incluyan en el grupo de micronutrientes. Por otro lado, en lugares donde la concentración de metales no esenciales como el cadmio (Cd) o el plomo (Pb), es muy elevada o se encuentran

en la disolución del suelo, que al ser absorbidos, pueden provocar distintas alteraciones en procesos vitales como la transpiración, la fotosíntesis y el mantenimiento de la integridad de la membrana plasmática (Di Marco y Bombi, 2006).

El Cd es un metal pesado no esencial muy tóxico que está incrementando sus niveles en el ambiente de manera alarmante debido a las actividades humanas, y al transporte de los mismos, a través del aire y redes tróficas, (Luna *et al.*, 2002). La importancia de la eliminación del Cd es que por su toxicidad afecta al hombre y otros organismos, en el hombre afecta a órganos principales como hígado y riñón, también es un elemento que compite con el Fe, Zn, manganeso (Mn), selenio (Se) y Cu por los ligantes (quelatos) del sistema biológico alterando funciones metabólicas. En general el Cd interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (calcio, magnesio fósforo y potasio) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta, también reduce la absorción de nitratos y el transporte de los mismos de la raíz al tallo, además de inhibir la actividad de la enzima nitrato reductasa en tallos. Los síntomas más extendidos de la toxicidad por Cd es la clorosis producida por una deficiencia en Fe, fosfatos o por la reducción del transporte de Mn. La tensión oxidativa producido por el Cd se manifiesta por daños oxidativos a membranas tales como peroxidación lipídica (Lozano *et al.*, 1997).

Las plantas pueden tener un potencial para acumular metales pesados, ya que adoptan diversos mecanismos de defensa para contrarrestar los efectos

nocivos de una concentración excesiva de los metales. El tabaquillo (*Nicotina glauca* Graham.) se ha convertido en una de las soluciones más ambiciosas a la hora de acabar con la polución de los suelos, mediante el tratamiento genético de esta planta, que es una planta que genera una gran cantidad de biomasa con la consiguiente capacidad de extracción de metales pesados del suelo y por consiguiente, es capaz de acumular alta cantidad de metales pesados (López, 2006 y Sanchís, 2009).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la adaptación del Tabaquillo (*Nicotiana glauca* Graham.) como fitorremediadora del suelo usando Cd en agua de riego a diferentes dosis.

2.1.2 Objetivos específicos

Determinar la adaptación de la planta Tabaquillo (*Nicotiana glauca* Graham.) a las dosis aplicadas de Cd de 0, 200, 300 y 400 mg kg⁻¹.

Determinar la concentración de Cd en raíces, tallos, flores y hojas del Tabaquillo (*Nicotiana glauca* Graham).

Determinar las concentraciones de Cd en suelo que contienen Tabaquillo (*Nicotiana glauca* Graham).

Determinar las concentraciones de Cd en el agua lixiviada de macetas con Tabaquillo (*Nicotiana glauca* Graham).

2.2 HIPÓTESIS

La planta (*Nicotiana glauca* Graham) se adapta a distintas concentraciones de Cd aplicado en suelo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Problemática ambiental del Cadmio

La persistencia de los metales pesados tiene un gran impacto en el medio ambiente, es desfavorable para la flora y fauna, con repercusiones indeseables para los humanos. De igual manera se manifiesta en los sistemas acuáticos, debido a que en algunos casos las reacciones de esos elementos desembocan en formas más tóxicas de los metales (Sienko, 1986). Uno de los problemas más graves es la amplificación biológica de los elementos en la cadena trófica. Los metales están entre los tóxicos más antiguos conocidos por el hombre en el industrializado mundo actual las fuentes de exposición a metales son ubicuas tanto en el campo laboral como a partir de agua, los alimentos o el ambiente contaminado (Navarra, 2003). Una de las formas para atender las necesidades básicas sin afectar el entorno ecológico es el desarrollo sustentable; en el cual se enfatiza una visión integral en el que intervienen tres rubros principales de igual importancia entre sí: protección ambiental, eficiencia económica e igualdad social (Guillén 1996).

3.1.1 Problemática en Torreón, Coahuila

El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el arsénico (As), tres elementos altamente dañinos para los

humanos (Valdés y Cabrera, 1999). El envenenamiento por metales pesados se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora más importante del mundo, Met-Mex Peñoles que es la fundidora y refinadora principalmente de Pb en México y en América Latina y la cuarta en el mundo por su nivel de producción, también es la productora de Plata (Ag) más importante en todo el mundo. Se estableció en Torreón en la zona conocida como la Comarca Lagunera (América, 2004).

3.2 Metales pesados

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública (Navarro *et al.*, 2007). Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1 % y casi siempre menor del 0.01 % (García y Dorronsoro, 2005).

El problema de la contaminación por metales tóxicos surge como resultado de actividades humanas, principalmente de la industria, agricultura y de la eliminación de residuos mineros. Estos contaminantes son descargados al medio ambiente alcanzando concentraciones por encima de los valores permisibles por legislaciones internacionales (Brief *et al.*, 1971).

Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden

presentarse, y más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio (Higuera y Oyarzun, 2008).

Los metales pesados más comunes en sitios contaminados son el cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), zinc (Zn) Pb, y Cd (Henry, 2000).

3.2.1. Efecto de los metales pesados en el suelo

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Martín, 2000).

En el suelo, los metales pesados están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. La contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales (Wang y Chao, 1992).

El pH es un factor esencial, para que la mayoría de los metales tiendan a estar más disponibles en un pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino es una variable importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos (Alloway, 1995).

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cu, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente. La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Pineda, 2004).

3.2.2 Movilización de Metales Pesados en el Suelo

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo,

éstos pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004). Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de la especie del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han *et al.*, 2003).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua, subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópica y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Burt *et al.*, 2003).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son: características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura; naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición y condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad (Sauquillo *et al.*, 2003).

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos

sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos; pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasan a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

Para elucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales se requiere la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos (Banat *et al.*, 2005). La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino *et al.*, 2002).

3.3 El cadmio

El Cd es un metal pesado que ha adquirido una gran importancia toxicológica y ecotoxicológica (Nriagu y Pacyna, 2001). Es uno de los mayores agentes tóxicos asociado a la contaminación ambiental e industrial debido a su alta movilidad y a que en pequeñas concentraciones tiene efectos nocivos en las plantas (James, 2002).

El Cd industrialmente tiene los siguientes usos: se utiliza en el chapado metálico de aplicaciones de alta tensión, en ciertos filtros de vidrio, en la fabricación de pigmentos y plásticos y como catalizador químico. También se puede utilizar en tintas de película gruesa de placas de circuitos, en fotodetectores y detectores de enfoque automático y en baterías (Klaassen y Jansen, 1996).

El Cd reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico: efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, bioacumulación, persistencia en el medio ambiente y “viaja” grandes distancias con el viento y en los cursos de agua (Alarcón, 1994).

3.3.1 Fuentes de contaminación

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).

Entre los factores antropogénicos de contaminación de Cd, caben destacar los siguientes:

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. 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 (Aguilar *et al.*, 2003).

3.3.2 Toxicidad del cadmio

Los efectos tóxicos del Cd sobre las plantas, han sido ampliamente estudiados sin embargo, los mecanismos de su toxicidad aun no se conocen completamente. En general el Cd interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales como el calcio (Ca), magnesio ((Mg), fósforo (P) y potasio (K) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (Singh y Tewari, 2003). El Cd también reduce la absorción de nitratos y el transporte de los mismos de la raíz al tallo, además de inhibir la actividad de nitrato reductasa en tallos (Gouia *et al.*, 2000). Las plantas expuestas a suelos contaminados con Cd presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración (Sandalo *et al.*, 2001). Uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por Cd es la clorosis producida por una deficiencia en Hierro (Fe), fosfatos o por la reducción del transporte de Manganeso (Mn) (Goldbol y Hutterman, 1985 y Benavides *et al.*, 2005).

El tratamiento con Cd produce reducción de la actividad ATPasa y alteraciones en la membrana plasmática (Astolfi *et al.*, 2005 y Fodor *et al.*, 1995) y desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto, inhibiendo la síntesis de clorofila

y reduciendo la actividad de enzimas implicadas en la fijación del dióxido de carbono (CO₂) (Ali *et al.*, 2000 y Maksymiec *et al.*, 2007).

La toxicidad por metales pesados se debe en parte al estrés oxidativo producido por las especies de oxígeno reactivo (ROS) generadas a través de diferentes mecanismos dependiendo del metal de que se trate (Stohs y Bagchi, 1995). Los cationes metálicos Cd²⁺ + Pb²⁺ no experimentan cambios redox y por lo tanto, a diferencia del Fe²⁺ + Cu²⁺, no actúan directamente en la generación de ROS. Sin embargo, pueden actuar como prooxidantes a través de la reducción del contenido de GSH, necesario para la síntesis de PCs (fitoquelatinas), disminuyendo así su disponibilidad para la defensa antioxidante (Pinto *et al.*, 2003). El estrés oxidativo producido por el Cd se manifiesta por daños oxidativos a membranas tales como peroxidación lipídica (Lozano *et al.*, 1997; Wua *et al.*, 2003 y Balestrasse *et al.*, 2004), y también se han descrito daños oxidativos a proteínas por formación de grupos carbonilo (Romero *et al.*, 2002).

Las actividades de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD), glutathion reductasa (GR), ascorbato peroxidasa (APX), peroxidasas (POD) y la catalasa (CAT), encargadas de la defensa celular frente a las ROS experimentan reducciones o incremento de su actividad en función de la concentración de Cd incluida en el medio de crecimiento, la duración del tratamiento, el tipo de tejido y la especie vegetal de que se trate (Benavides *et al.*, 2005).

Los daños a membranas van acompañados de un incremento en la síntesis de etileno, que junto con el agua (H₂O) van a regular la expresión de un gran

número de proteínas de defensa (quitinasa o antioxidantes, entre otras). (Del Río *et al.*, 2004 y Rodríguez *et al.*, 2006).

3.3.3 Ingreso, transporte y acumulación

Por ser un metal no esencial se asume que no existen mecanismos de entrada específicos para el Cd a la planta. Entre las proteínas responsables de la entrada de Cd a la célula cabe destacar el transportador específico de calcio LCT1 y la proteína IRT1, perteneciente a la familia de transportadores de Zn y Fe (Clemens *et al.*, 1998 y Guerinot, 2000). Otra familia de transportadores implicados es la Nramp (proteína de macrófago natural asociada por resistencia), localizada en la membrana de la vacuola, por lo que probablemente tenga una función en la movilización del metal y no en el ingreso del mismo a la raíz (Thomine *et al.*, 2003).

Una vez dentro de la célula el Cd puede coordinarse con ligandos de S como glutatión (GSH) o PCs y ácidos orgánicos como el citrato (Clemens 2006 y Domínguez *et al.*, 2004). Otras posibles moléculas responsables de la quelación del Cd son pequeñas proteínas ricas en cisteína denominadas metalotioneínas (MTs). De esta forma, los complejos Cd-ligando pueden ser transportados al interior de la vacuola o a otras células (Shah y Nongkynrh, 2007).

En la planta, el Cd se acumula preferentemente en la raíz secuestrado en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas (Chan y Hale, 2004). En células de levadura se ha demostrado que el Cd

ingresa en la vacuola unido a las PCs a través de un transportador de tipo ABC (Ortiz *et al.*, 1995).

Otro posible mecanismo de entrada del Cd en la vacuola es mediante un cotransportador de $\text{Cd}^{2+} + \text{H}^+$ ubicado en la membrana de la misma (Salt y Wagner, 1993). Los transportadores de cationes CAX (cambiadores de catión/protón), implicados en el transporte de calcio a la vacuola, también transportan otros metales como el Cd (Park *et al.*, 2005). Una vez en la raíz, el Cd puede pasar al xilema a través del apoplasto y/o a través del simplasto (Clemens *et al.*, 2002).

3.3.4 Ingreso en la cadena trófica

La principal fuente de contaminación de Cd en el ser humano es la ingesta de vegetales contaminados con este metal (Norvell *et al.*, 2000). Químicamente, el Cd se puede encontrar disuelto en el agua contenida en el suelo, adsorbido en superficies orgánicas e inorgánicas, formando parte de minerales, precipitado con otros compuestos del suelo o incorporado a estructuras biológicas. Sin embargo la biodisponibilidad del Cd para la planta depende de numerosos factores físicos, químicos y biológicos que modifican su solubilidad y el estado del metal en el suelo (Christensen y Haug, 1999).

3.3.5 Estrategias de tolerancia

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). La acumulación del metal en los tricomas de la superficie foliar también es un mecanismo de inmovilización y defensa celular (Salt *et al.*, 1995). Otro mecanismo consiste en la reducción del transporte o aumento de la extrusión del Cd por transportadores de cationes de la membrana plasmática (Thomine *et al.*, 2003). Una vez dentro de la célula, el Cd u otros metales, pueden ser secuestrados por ácidos orgánicos, aminoácidos, PCs y metalotioneínas, y posteriormente compartimentalizados en la vacuola para prevenir su toxicidad. Las PCs constituyen uno de los principales mecanismos de defensa frente a metales pesados. Su síntesis tiene lugar a partir del glutatión y se induce en presencia de metales pesados (Clemens, 2006). Las plantas que sobreexpresan la enzima fitoquelatina sintasa muestran una mayor tolerancia frente al Cd (Pomponi *et al.*, 2006). Otras posibles moléculas responsables de la acumulación del Cd son las metalotioneínas (MTs), pequeñas proteínas ricas en cisteína, si bien en las plantas no son las principales responsables de la detoxificación del Cd, como ocurre en células animales (Hamer, 1986).

3.3.6 Hiperacumulación y fitoextracción

Las plantas hiperacumuladoras son, en muchos casos, endémicas de suelos ricos en metales pesados. El contenido en Cd de estas plantas es aproximadamente 100 veces superior al de plantas no hiperacumuladoras cultivadas en las mismas condiciones (Brooks, 1998). La mayoría de estas plantas pertenecen a los géneros *Thlaspi*, *Silene* o *Arabidopsis* y *Nicotiana L.* Shah y Nongkynrich (2007), comentan que los mecanismos responsables de la hiperacumulación pueden variar dependiendo de la especie y consisten, básicamente, en una o varias estrategias de tolerancia mencionadas en el apartado anterior. En *Thlaspi caerulescens* la hiperacumulación de Cd y Zn se debe a una estimulación del transporte de los metales a la raíz y alteración del transporte intracelular con disminución de la acumulación del metal en la vacuola y aumento del transporte a la parte aérea (Raskin *et al.*, 1997).

Diferentes autores han propuesto aprovechar la característica inusual de estas plantas para la limpieza de terrenos contaminados. Sin embargo, la limitación principal de este tipo de fitoextracción es la pequeña biomasa de estas plantas, y el escaso tamaño y poca profundidad de sus raíces. Es por ello, que se ha potenciado el uso de plantas de mayor biomasa y crecimiento rápido modificadas genéticamente para sobre expresar genes responsables de la hiperacumulación (Yang *et al.*, 2005), así, se han obtenido plantas transgénicas tolerantes que sobreexpresan genes que codifican enzimas del metabolismo del

glutathione, PCs, o transportadores de cationes. El estudio de los mecanismos de tolerancia en nuevos mutantes, así como la identificación de sensores de metales y factores de transcripción implicados en la respuesta celular a metales serán de gran relevancia en un futuro para el desarrollo de nuevas estrategias de fitorremediación (Salisbury y Ross, 1994).

3.3.7 Efectos ambientales

De forma natural grandes cantidades de Cd son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este Cd es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación (Lewis, 1992). Las aguas residuales con Cd procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de Zn, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. Brief *et al.* (1971), mencionan que el Cd de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de Cd entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias (Sunderman y Oskarsson, 1991). Otra fuente importante de emisión de Cd es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte de éste terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto terminará en las aguas

superficiales cuando los residuos del fertilizante es vertido por las compañías productoras (Berner, 1987).

3.3.8 Toxicología en el ser humano

La exposición en los humanos ocurre generalmente a través de dos vías, la primera de ellas es la oral, por ingestión de agua y alimentos que contengan el metal, y representan del 5 al 10 % del total de Cd absorbido en el organismo (Salt, 2006). Los alimentos que son ricos en Cd pueden en gran medida incrementar la concentración de Cd en los humanos, ejemplos son patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas (Tripathi y Upadilla, 2003). La segunda vía por la cual los seres humanos están expuestos al Cd es la inhalación y es muy dañino aun en dosis muy pequeñas (Galván, 2006). La absorción depende del tamaño de las partículas y su composición química (Martens y Boyd, 1994). La cantidad de Cd inhalado depende de la concentración del metal en el aire y causa daño tóxico severo a los riñones e hígado, en donde se ha observado que alrededor del 80 % de este metal se encuentra enlazado a proteínas llamadas metalotioneínas (Webb y Cain, 1982 y Torra *et al.*, 1994). Produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías, hígado, riñón y retraso en la habilidad verbal de los niños (Núñez *et al.*, 2003). No solo se deposita en estos órganos, sino también en huesos y dientes, (Rosas *et al.*, 2002). Desde el punto de vista toxicológico presenta un gran espectro de efectos tóxicos, incluyendo nefrotoxicidad, hipertensión y osteomalacia (Reilly, 1980; Cherian, 1989 y García *et al.*, 1996).

3.3.9 Daños en animales

El Cd es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir (Song *et al.*, 2003). El Cd puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cd en sus riñones debido a esto (Kim *et al.*, 2006). Fergusson (1992), comenta que las lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por este metal pesado. Pueden morir a muy bajas concentraciones y esto tiene consecuencias en la estructura del suelo. Cuando las concentraciones de Cd en el suelo son altas esto puede influir en los procesos del suelo de microorganismos y amenazar a todo el ecosistema del mismo (Flick, 1971). También es un peligro para la vida acuática, ya que es muy tóxico aún en concentraciones relativamente bajas, no son biodegradables y por el contrario se acumulan a lo largo de cadena trófica. Pueden bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. Animales que comen o beben Cd algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado, en nervios y en el cerebro (Cruz, 1996).

3.4 Límites máximos permisibles de Cd.

La Ley General del Ambiente (2008), define como límite máximo permisible como la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o

emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

3.4.1 Agua

La Agencia de protección al ambiente (EPA, 2009) y el Comité Estatal de Normalización (CEN, 1986), han establecido un límite de 0.005 mg L de Cd en agua potable. La Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, en el caso del Cd no debe ser superiores a 0.15ppm.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Establece como límite máximo permisible de Cd de 0.005 mg L, en agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

3.4.2 Vida acuática en sistemas de agua dulce (ríos, lagos)

Scheiner *et al.*, (1989), mencionan que el límite máximo permisible de Cd es de 0.66 ($\mu\text{g l}$) con una concentración promedio en 4 días.

3.4.3 Vida acuática estuarina o en zonas de costas

El límite máximo permisible de Cd es de 8 ($\mu\text{g l}$) con una concentración promedio en 4 días (López, 2004).

3.4.4 Suelo

Los límites máximo permisibles para un suelo de uso agrícola/residencial es de 37 mg kg^{-1} y para un uso industrial es de 450 mg kg^{-1} (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004). Page y Chang (1981) y la OSHA (2008), mencionan que la cantidad máxima de Cd permitida en el suelo regado con aguas residuales es de 5 a 20 kg ha^{-1} . Ésta es la concentración tóxica para los consumidores de productos agrícolas cultivados en estos suelos.

3.4.5 Alimentos

La Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2005, establece como límite máximo permisible $1 \mu\text{g}$ de Cd gr en peso húmedo en moluscos. Los límites máximos permisibles de Cd en concentraciones máximas en peso seco en EU en zanahoria es de 1.18 mg kg^{-1} , en Australia en las papas (tubérculo) es 1.05 mg kg^{-1} y en Suecia en avena (granos) es 0.50 mg kg^{-1} (FAO/WHO, 1993).

3.4.6 En fuentes de trabajo

La administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) limita la cantidad de Cd en el trabajo que es de 100 g m^{-3} en la forma de vapores de Cd y 200 g m^{-3} para polvos de Cd. El límite de exposición permisible en el aire (PEL), es de 0.005 mg m^{-3} como promedio durante un turno laboral de 8 horas (OSHA, 2008). La conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, 2009), menciona que el valor límite umbral (TLV) es de

0.01 mg m³ (como partículas totales) y 0.002 mg m³ (como fracción respirable) como promedio durante un turno laboral de 8 horas.

3.5 Fitorremediación

La fitorremediación (phyto=planta y remediación=mal por corregir), es un tratamiento pasivo, donde se aprovechan los procesos biológicos como plantas acuáticas y terrestres ya que tienen cierta capacidad de precipitar, absorber o descomponer contaminantes entre los cuales están los metales pesados que por su efecto tóxico en los organismos, provocan problemas ambientales (Núñez *et al.*, 2003). La Fitorremediación utiliza las capacidades existentes de las plantas y de los sistemas que apoyan para limpiar los suelos, siendo más rentable que los métodos usados tradicionalmente para la recuperación de suelos contaminados (Taiz y Zeiger, 1998).

Las plantas pueden tener un potencial para acumular metales pesados. Según Brooks (1998), si estas plantas presentan en sus partes alguna cantidad de metales pesados como Pb, Cd, Zn, entre otros, se puede considerar como planta hiperacumuladora. La fitorremediación tiene como objetivo degradar, asimilar, metabolizar o desintoxicar metales pesados, compuestos orgánicos y compuestos radioactivos por medio de la acción combinada de plantas y microorganismos con capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar sustancias contaminantes a formas menos tóxicas, así como la recuperación de la calidad del suelo (Carpena y Bernal, 2007 y Harvey *et al.*, 2002).

Sus limitaciones son: la profundidad de penetración de las raíces; la fitotoxicidad en áreas fuertemente contaminadas; los tiempos de proceso pueden ser muy prolongados, con respecto a las demás técnicas de remediación y la biodisponibilidad de los compuestos que siempre limita la captación. Para superar estas limitaciones es indispensable comprender (i) los mecanismos, (ii) las fases que participan en la fitorremediación y (iii) las interacciones planta microorganismo (Cunningham *et al.*, 1997). Por último es importante destacar el tipo de cultivo del que se trate, ya que no todas las plantas acumulan Cd en igual medida (Prince *et al.*, 2002).

3.5.1 Ventajas y desventajas de la Fitorremediación

Las ventajas de la Fitorremediación es que pueden ser utilizadas para limpiar una gran variedad de contaminantes, por su capacidad de absorción de estos metales en sus raíces así como reducir la entrada de contaminantes en el ambiente, disminuyendo su salida a los sistemas de las aguas subterráneas, por que los contaminantes quedan atrapados en las plantas, implica menos trabajo y no perturba los alrededores naturales del sitio de la contaminación y también constituye una alternativa que puede ser económicamente viable y muy eficaz (Agudelo, 2005).

Sus desventajas son que el metal pesado o el contaminante emplea el ciclo natural de plantas y por lo tanto toma tiempo, trabaja lo mejor posible cuando los contaminantes están al alcance de las raíces de las plantas, típicamente de 90 a

180 cm de profundidad para las plantas herbáceas y 3 a 4.5 m para los árboles. No todas las plantas son ambientalmente compatibles y algunas plantas absorben muchos metales venenosos, lo que implica un riesgo potencial a la cadena alimenticia. The Government of Canada's Biotechnology Resource for Consumers, Industry, Scientists and Educators (GCBRCISE, 2005).

3.5.2 Mecanismos y fases de la fitorremediación

La desintoxicación de contaminantes por fitorremediación se realiza empleando al menos uno de los siguientes mecanismos: fitoextracción, rizofiltración, fitoestimulación, fitoestabilización, fitovolatilización y fitodegradación (Jian *et al.*, 1997 y Alkorta *et al.*, 2003). La fitoextracción o fitoacumulación consiste en la absorción de contaminantes por las raíces; es la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje. Este mecanismo ha sido ampliamente estudiado en plantas que acumulan metales y recientemente con materiales radioactivos (Dushenkov, 2003). La rizofiltración se basa en la utilización de plantas crecidas en cultivos hidropónicos, se prefieren raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar contaminantes. En la fitoestimulación o rizodegradación las plantas generan los exudados radiculares que estimulan el crecimiento de los microorganismos nativos capaces de degradar compuestos orgánicos xenobióticos. La fitoestabilización es un mecanismo que utiliza a la planta para desarrollar un sistema denso de raíces que le permite reducir la

biodisponibilidad y la movilidad de los contaminantes evitando el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera. Dec y Bollang (1994), demostraron que *Raphanus sp.* Desarrolla su sistema radicular en un año y que, durante el mismo tiempo, absorbe compuestos fenólicos que remueve hasta en un 90 % de la concentración inicial. La fitovolatilización se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera. Los álamos, volatilizan el 90 % del tricloroetileno que absorben (Núñez *et al.*, 2004).

Una planta fitorremediadora realiza cualquiera de los mecanismos anteriores siguiendo tres fases: absorción, excreción y desintoxicación de contaminantes. La absorción de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas mediante las células estomáticas y la cutícula de la epidermis (Watt y Evans, 1999). Esta absorción ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por ósmosis dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo. Otros factores importantes que inciden en la penetración del contaminante son su peso molecular e hidrofobicidad que determinan que estas moléculas atraviesen las membranas celulares de la planta. Después de cruzar la membrana, los contaminantes son distribuidos a través de toda la planta (Harvey *et al.*, 2002). Los contaminantes que se absorben por las raíces, se excretan vía hojas (fitovolatilización). Cuando las concentraciones de los contaminantes son elevadas, solo pequeñas fracciones (menos del 5 %) se excretan sin cambios en su estructura química (Kvesitadze *et al.*, 2001). La

desintoxicación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo por la vía de la mineralización hasta dióxido de carbono (Miya y Firestone, 2001).

3.5.3 Estrategias de adaptación de las plantas a la contaminación por metales pesados

La manera como las especies vegetales se adaptan a vivir en ambientes con elevadas concentraciones de metales no esenciales como el Pb y el Cd, es por evitación o por tolerancia. Cuando algunas especies absorben solo en cierto grado, esto representa evitación. En otros casos los elementos se acumulan en las raíces, con transporte escaso hacia las partes aéreas. En otras más, tanto raíces como partes aéreas contienen cantidades muchos mayores de estos elementos que las especies o variedades no tolerantes pueden soportar. Se ha descubierto un mecanismo de tolerancia importante y muy extendida en la filogenia. Los metales pierden su toxicidad al ser quelados con fitoquelatinas, pequeños péptidos ricos en el aminoácido azufrado cisteína. Estos péptidos por lo general tienen de dos a ocho unidades de cisteína en el centro de la molécula, así como un ácido glutámico y una glicina en extremos opuestos. Es casi seguro que los átomos de azufre de la cisteína son esenciales para unir metales, aunque es probable que también participen otros átomos como nitrógeno y oxígeno. Son numerosas las especies que producen fitoquelatinas, pero hasta ahora solo se les ha encontrado cuando se presenta un metal en cantidades tóxicas (Salisbury y Ross, 1994).

Aún a pesar de la extrema toxicidad de los metales pesados, las plantas tienen la habilidad para adaptarse a suelos ricos en metales a través de la selección natural. Especies adaptadas a metales han sido estudiadas en suelos de serpentina (suelos ricos en Ni, Cr, Mn, Mg y Co), suelos uraníferos (suelos ricos en uranio) suelos calamitosos (suelos ricos en Zn y Cd), y suelos ricos en Cr y Co (Sauquillo *et al.*, 2003).

3.5.4 Investigaciones sobre la fitorremediación

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 (Singh *et al.*, 2003). En las *Asteraceae* se ha reportado por ejemplo tolerancia al Pb y al Cd en *Sonchus oleraceus* y se le ha propuesto como especie fitorremediadora de ambientes contaminados con estos metales (Xiong, 1997).

La especie *Thlaspi caurulencens* en suelos contaminados con Zn y Cd, logra eliminar más de 8 mg Kg⁻¹ de Cd y 200 mg Kg⁻¹ de Zn, representando 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, por lo que se considera una planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de Cd, Zn y Pb (Christie *et al.*, 2004).

La fitoextracción mediante mostaza india, una planta agrícola de alta biomasa capaz de acumular los metales en su parte aérea, junto con la mejora de los suelos mediante enmiendas orgánicas y calizas; y la fitoinmovilización mediante el altramuz, que es una leguminosa tolerante a los metales por exclusión en sus raíces y a ciertas condiciones de acidez del suelo (Walter *et al.*, 2008).

Algunos estudios muestran que la *Discaria americana*, hiperacumula Zn a más de 600 kg⁻¹. En el caso de Zn se considera que existe hiperacumulación cuando se alcanzan valores superiores a 10 mg kg⁻¹ de Zn por peso seco. En los experimentos se la considera cuando en un tratamiento alcanza valores 10 veces mayores que los testigos (Cusato *et al.*, 2002).

Se evaluó la capacidad de las gramíneas *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar un suelo contaminado levemente (3 %) con un hidrocarburo de petróleo (HCP) liviano, Sin embargo, a los 240 días, estas gramíneas lograron una reducción de la contaminación, en un 63 % en *Panicum maximum* y *B. brizantha* en un 55 % (Hernández y Marger, 2003).

Se observó que en las raíces del geranio (*Pelargonium spp*) es donde mayor concentración de plomo existió, fue de 287 mg kg⁻¹ en las hojas de 254 mg kg⁻¹ mientras que en los tallos fue menor de 56 mg kg⁻¹, siendo un total de 597 mg kg⁻¹ (UAAAN, 2007).

3.6 *Nicotiana glauca* G.

La contaminación producida por los metales pesados es la más peligrosa, puesto que éstos no se destruyen jamás. Con esta difícil premisa, la planta *Nicotiana glauca* G, se ha convertido en una de las soluciones más ambiciosas a la hora de acabar con la contaminación de los suelos. Mediante el tratamiento genético de la planta *Nicotiana glauca* G, que ya de por sí posee condiciones extraordinarias para la acumulación de biomasa, y el empleo de la tecnología de la fitorremediación, que pone las plantas al servicio de los objetivos ambientales, cada vez estamos más cerca de conseguir la súper planta capaz de descontaminar los lodos y el suelo (Navarro, 2009). Tiene, también, principios tóxicos de los cuales se destacan dos alcaloides: la anabasina y la nicotina, ambos sumamente tóxicos. La anabasina es un isómero de la nicotina y es el que se encuentra en mayor proporción en las hojas (Barboza et al., 2006 y Ragonese y Milano, 1984).

3.6.1 Clasificación taxonómica (Liscovsky, 2007).

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliophyta

CLASE: Magnoliopsida

ORDEN: Solanales

FAMILIA: Solanaceae

GÉNERO: *Nicotiana* L., 1753

ESPECIE: *glauca* Graham, 1828

NOMBRE COMÚN(ES)

Gigante ND

Tabaquillo Tlajomulco de Zuñiga

Tabaquillo

Palan Palan

Virginio.

3.6.2 Descripción botánica

Se trata de un árbol pequeño, perteneciente a la familia de las Solanáceas, caracterizado por presentar una altura entre 2-5 metros; abundante ramaje; las hojas largamente pecioladas (con peciolo de 3-12 cm de longitud), glaucas, aovadas o elípticas, subcarnosas, de 5-15 cm de longitud; flores numerosas de 3-4 cm de longitud, con pedicelos de 3-10 mm de longitud; corola tubulosa de color amarillo cubierta con una suave pubescencia. Cáliz acampanado de 10-15 mm de largo, provisto de 5 dientes triangulares cortos. Florece durante los meses de primavera a otoño y fructifica en verano. El fruto es una cápsula ovoidal incluida en el cáliz, de 1 cm de largo, provista de numerosas semillas pardas y reticuladas en su interior (Alonso, 2007 y Villarreal, 1983).

3.6.3 Composición química

Alcaloides (1-3 %): Son de estructura variada piridínica, peperidínica, pirrolidínica y pirrónicas. El más importante es la anabasina (neonicotina) con una concentración del 1.8–2 % y en menor cantidad nicotina (0.3 %) y nomicotina. Todos estos alcaloides se encuentran combinados con los ácidos cítrico y málico. Ácidos orgánicos: ácidos málico, cítrico, cafeico, clorogénico y nicotínico (β -piridin-carbónico). Otros: Sustancias minerales (15-20 %) con riqueza en K, Na, fosfatos y nitratos; oxidantes (tallos), vitamina D₃; glúcidos tales como el almidón (8-12 %), pectina, amidas clorinadas e hidratos solubles (2-4 %) (Alonso, 2007).

3.6.4 Características fitorremediadoras de *Nicotiana glauca* G.

El tabaquillo (*Nicotiana glauca* Graham), es una planta que genera una gran cantidad de biomasa con la consiguiente capacidad de extracción de metales pesados del suelo y por consiguiente, es capaz de acumular alta cantidad de metales pesados (López, 2006). Se trata de una planta que subsiste por selección natural, crece en los terrenos más áridos y resiste las condiciones más extremas. Además, los alcaloides que produce son sustancias que funcionan como un insecticida natural y, por tanto, incomedible por los herbívoros, lo que impide el paso a la cadena alimentaria de los metales que pudiese haber acumulado (Sanchís, 2009).

3.6.5 investigaciones efectuadas sobre fitorremediación en *Nicotiana glauca*

G.

En el Departamento de Goya (Provincia de Corrientes) en el 2003 se realizó, un experimento con el objetivo de determinar el contenido en Cd de las hojas de tabaquillo, y en los resultados se encontraron concentraciones promedio de 0.61 mg kg^{-1} de Cd en las hojas de tabaco. Una vez dentro de la célula de la planta el Cd puede coordinarse con ligandos de S como glutation (GSH) o PCs y ácidos orgánicos como el citrato (Delfino, 2003).

Ortega (2009), en un trabajo sobre fitorremediación de metales, entre ellos el Cd, encontró concentraciones iniciales de Cd en suelo de 1790 mg kg^{-1} , mientras que la planta *Nicotiana glauca* G, al final de la época de crecimiento retuvo 299 mg kg^{-1} , siendo el 17 % de retención.

3.7 Técnicas de regresión y correlación

El análisis de regresión y correlación es una técnica estadística que puede ser usada para analizar la relación entre una variable dependiente y algunas variables independientes. El objetivo del análisis de regresión múltiple es usar, de las variables independientes, aquellos valores que son conocidos para predecir el valor de la dependiente simple que el investigador desea conocer. El resultado es una variable, es decir una combinación lineal de las variables independientes que mejor predicen la variable dependiente. Las variables son sopesadas en el proceso, su peso denota su contribución relativa para la predicción en su totalidad. De este modo, el análisis

de regresión asegura que el análisis está provisto de la máxima predicción en un formato que también facilita la interpretación de la influencia que cada factor ejerce en la predicción (Hair *et al.*, 1992). La aplicación del análisis de regresión es valiosa para tratar de comprender las interacciones de los factores en la naturaleza, en donde se toman los datos como llegan a través de observaciones de campo (Salisbury y Ross 1994). Con la ayuda de computadoras de alta velocidad es posible incorporar un gran número de variables en una función de regresión y así incrementar nuestra capacidad de predicción del valor de una variable como función de otras variables relacionadas (Hoel, 1988).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización Geográfica del área experimental

El experimento se realizó en el vivero ubicado en los límites del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango, ubicado en la parte suroeste del municipio entre las coordenadas 25°16' 31" latitud norte y 104° 07' 44" longitud oeste, con respecto al meridiano de Greenwich, a una altitud de 1,120 msnm (GPS, 1988), durante el periodo Febrero-Diciembre de 2009.

4.2 Desarrollo del experimento

4.2.1 Preparación del área experimental

Se preparó el terreno colocando una capa de plástico sobre el suelo para evitar la contaminación del suelo con posibles derrames de residuos de Cd del experimento.

4.2.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental totalmente al azar con preprueba y posprueba con grupos de control, utilizando tres tratamientos (200, 300 y 400 mg kg⁻¹) y un testigo con nueve repeticiones cada uno, teniendo un total de 36 unidades experimentales.

4.2.3 Recolección de *Nicotiana glauca* G.

La recolección de las plántulas se llevó a cabo el 17 de abril en los alrededores del vivero, tomadas de su hábitat natural, seleccionando aquellas de mejor calidad con una altura de 20 cm para asegurar su adaptación.

4.2.4 Trasplante

Se realizó depositando una planta en cada maceta de bolsas de polietileno de 10 Kg de capacidad con sustrato de suelo, posteriormente el etiquetado de macetas y acomodo dentro del vivero.

4.2.5 Riego

La aplicación de los riegos fue diariamente durante los primeros 15 días, posterior a estos fue a cada tercer día, procurando tener una humedad constante y óptima durante todo el experimento.

4.3 Preprueba

4.3.1 En suelo

Se tomaron 6 muestras de suelo, 3 dentro del vivero y 3 fuera del mismo, que fueron trasladadas y analizadas en el laboratorio de suelos de la UAAAN UL. Las determinaciones en suelo fueron: conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), densidad aparente (me/L), materia orgánica (%), Cl (meq/lt), sulfatos (meq/lt), nitratos (ppm), Pb (ppm), Cd (ppm) y Zn (ppm), según la metodología recomendada por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH, 1998), utilizando el aparato

PerkinElmer 2830. Para medición de metales pesados en suelo y agua. En el caso del SO_4 , se utilizó Turbidimetría, usando espectrofotómetro merck SQ 118. Para el NO_4 , manejo el método de extracción de (CaOH_2) en ppm. En el caso del Cl fue por volumetría ml/L y para el As uso el Kit de merckoquant con el método colorimétrico o con tiras de ensayo.

4.3.2 En agua

Se tomaron 2 muestras de agua del pozo de donde se extrae el agua para riego del vivero. Las determinaciones en agua fueron Cd y Pb (mg kg^{-1}), empleando la metodología propuesta por la NMX-AA-051, utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica.

4.3.3 En planta

Se realizó la medición de los parámetros de la planta, un mes después del trasplante, antes de aplicar los tratamientos (preprueba) los cuales fueron: altura de la planta y número de hojas, el 17 mayo.

4.4 Preparación de la dosis de los tratamientos

La fuente de Cd fue el Cloruro de Cadmio (CdCl_2), para calcular la dosis de este compuesto a aplicar se calculó el peso molecular (PM), una vez teniendo este dato se procedió a hacer una regla de tres simple; multiplicando cada tratamiento (200, 300 y 400 mg kg^{-1}) por el PM del CdCl_2 y dividiendo entre la masa atómica (MA) del Cd, el resultado obtenido fue en mg de CdCl_2 que posteriormente se multiplicó por el peso de cada maceta, dicho resultado fue en miligramos/maceta

(mg/maceta) que se dividió entre 1000 para convertirlo en g/maceta, dicho resultado de la dosis fue lo que se agregó a las macetas respecto a su peso de contenido de suelo.

4.4.1 Aplicación de los tratamientos

La aplicación de las dosis de los tratamientos se llevó a cabo el 18 junio, depositando la solución en el sustrato.

4.5 Posprueba

4.5.1 En lixiviado

Se recolectó el lixiviado de las 36 macetas, posterior a la aplicación de los tratamientos (posprueba) de la cual se tomó una muestra de 45 ml para su análisis en el laboratorio de suelos para determinar la concentración de Cd filtrado con el agua de riego, el 01 de Julio.

4.5.2 En planta

Se realizó la medición de los parámetros de la planta después de 1 mes de su tratamiento (14 de agosto), con la finalidad de observar la diferencia del antes y después de la aplicación de los tratamientos. Dichos datos fueron utilizados para determinar en que parte de la planta acumulaba más metal y para calcular el coeficiente de variación y la correlación simple.

4.5.3 En suelo

El 26 de septiembre se tomaron 4 muestras de suelo (una por cada tratamiento) de 0-15 cm de profundidad, para su análisis en laboratorio de suelos y, en específico, conocer la concentración de Cd retenido en el mismo, dichas determinaciones fueron realizadas según la metodología de la NOM-021-RECNAT-2000.

4.6 Análisis y acumulación de Cd en la planta

La cosecha de las partes vegetativas de la planta (raíz, tallo, hojas y flores) se llevó a cabo el 15 de agosto, los análisis correspondientes se llevaron a cabo en el laboratorio de Suelos del INIFAP, Matamoros, Coahuila, del 23 al 28 de noviembre, con el objeto de conocer las concentraciones de Cd absorbidas por las diferentes partes vegetativas de la planta, bajo la normativa USDA-ARS. 2006.

4.7 Análisis estadísticos de los resultados

Se calcularon medias, desviación estándar, valor mínimo y máximo, así como la realización de regresión múltiple y correlación simple entre los valores de las variables obtenidas en *Nicotiana glauca* G, empleándose el Microsoft SAS (2001).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Variables evaluadas en suelo y agua en preprueba y posprueba

Suelo y agua. En el Cuadro 1, se observa que los parámetros pH, CE, D.A, M.O Cl, SO₄, Zn y As se encuentra dentro de los límites máximos tolerables. Mientras el NO₃, Pb y Cd presentan valores que están fuera de los límites según la NOM-021-RECNAT-2000.

5.2 Cd en suelo y agua

Suelo. En relación al metal evaluado, en la preprueba se obtuvieron valores de concentración que están por encima del límite máximo permisible (102.5 mg kg⁻¹) para suelos de uso agrícola, que según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 el límite máximo permisible para un suelo de uso agrícola/residencial es de 37 mg kg⁻¹. En la posprueba hubo un incremento del metal de 350.87 mg kg⁻¹, debido a la aplicación de concentraciones del metal que se hicieron en este trabajo.

Agua. En la preprueba se encontró una concentración de Cd de 1.37 mg L y en la posprueba de 1.29 mg L, valores que se encuentran por encima de los límites máximos permisibles de 0.005 mg L de Cd en agua potable, establecidos por la EPA (2009) y el CEN (1986), de los EUA. Se observa una disminución del metal de 0.08 mg L, posiblemente porque en el suelo se retuvo una cantidad considerable que aún no se había disuelto en la solución del suelo para ser

asimilado por la planta, y la parte que fue asimilado es lo retenido por las diferentes partes de la planta de acuerdo con Ortega (2009) y Delfino (2003).

Cuadro1. Parámetros analizados en agua y suelo en preprueba y posprueba.

Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

Variables	Preprueba		Posprueba	
	Suelo	Agua	Suelo	Agua
pH	7.8	7.76		
C.E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	699.78	339		
D.A (mel/L)	1.24			
M.O. (%)	1.59			
Cl (mel/lt)	4.16	0.26		
SO ₄ (mel/lt)	0.18	0.37		
NO ₃ (mg kg ⁻¹ y (mg L).	107.21	7.40		
Pb (mg kg ⁻¹)	1795	1.01		
*Cd (mg kg⁻¹)	102.5	1.37	453.37	1.29
Zn (mg kg ⁻¹)	72.33	0.62		
As (mg kg ⁻¹)	0.025	0		

*metal evaluado en *Nicotiana glauca* G.

5.3 Número de hojas, altura, flores y sobrevivencia en preprueba y posprueba

En el Cuadro 2, en la preprueba el número de hojas fue de 19 en promedio, en la posprueba el testigo tuvo 27, el resto de los tratamientos presentaron valores inferiores a éste, lo que indica que el Cd aplicado probablemente afectó la brotación de hojas en la planta, además produjo clorosis, coincidiendo con Goldbol y Hutterman (1985) y Benavides *et al.* (2005). La variable altura en la preprueba fue de 58.61 cm. En la posprueba, todos los tratamientos mostraron valores superiores al testigo, sobresaliendo el de 400 mg kg⁻¹, antes de perecer frente la presencia de Cd. En el caso de las flores, en la posprueba, el testigo presentó una flor, el resto de los tratamientos presentaron valores superiores. La sobrevivencia, en la preprueba se partió de un 100 %, en la posprueba, todos los tratamientos se mantuvieron igual, a excepción del tratamiento 400 mg kg⁻¹ que presentó mortandad total. Se puede afirmar que el Cd afectó a la planta en el desarrollo de hojas mientras que en altura y número de flores no repercutió, esto es debido posiblemente a la presión ambiental a la que las plantas fueron sometidas, así como al desequilibrio nutricional e hídrico y la inhibición del desarrollo, tal como lo mencionan Lozano *et al.* (1997), Martí, (2000) y Di Marco y Bombi (2006). La sobrevivencia se ve afectada a una concentración de Cd mayor 300 mg kg⁻¹ ya que es tóxico y nocivo en pequeñas cantidades, de acuerdo a James (2002).

Cuadro 2. Medias de número de hojas, altura (cm), número de flores y sobrevivencia (%) en *Nicotiana glauca* G. en preprueba y posprueba. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

Variables	Preprueba		Posprueba			Media	Desv. Est.	Valor min.	Valor Max.
	200 Mg kg ⁻¹ Cd	300 Mg kg ⁻¹ Cd	400 Mg kg ⁻¹ Cd	0					
Número de hojas	19	18	16	15	27	20	25	15	27
Altura (cm)	58.61	55.76	20.51	68.22	11.39	11	9	11.39	68.22
Flores	0	3	6	4	1	22	31	1	6
Sobrevivencia (%)	100	100	100	0	100	100	12	0	100

5.4 Concentraciones de Cd en órganos de la planta

En el Cuadro 3, la variable raíz posee la mayor acumulación del Cd fue 417 mg kg⁻¹ para el tratamiento 300 mg kg⁻¹. En tallo el valor más alto fue 145 mg kg⁻¹ para 400 mg kg⁻¹ y el menor fue de 42 correspondiente al testigo. Con respecto a las hojas el valor más superior fue de 220 mg kg⁻¹ del tratamiento 300 mg kg⁻¹ y de igual manera se observa que el testigo es el que tiene menor concentración de Cd. En relación al número de flores el tratamiento 200 mg kg⁻¹ tiene mayor concentración. La cantidad de Cd encontrada en las partes de la planta coinciden con lo mencionado por Chan y Hale (2004) en orden decreciente, preferentemente

en la raíz secuestrado en la vacuola de las células. La mayor retención de Cd se encontró en el tratamiento 300 mg kg⁻¹ acumulando un total de 939 mg kg⁻¹ en todas sus partes vegetativas, en seguida el tratamiento 400 mg kg⁻¹ pero no hubo tolerancia por las plantas ya que presentaron mortandad total. Por consiguiente el tratamiento 200 mg kg⁻¹ y en última instancia, el testigo debido a que no se le aplicó ninguna cantidad de Cd.

Cuadro 3. Concentraciones de Cd en los diferentes órganos de la planta *Nicotiana glauca* G. Vivero ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

Variables	Tratamientos				retención de Cd %	suma	Media	Desv. Est.
	200 mg kg ⁻¹	300 mg kg ⁻¹	400 mg kg ⁻¹	0				
Raíz	193	417	283	62	37	955	239	150
Tallo	102	134	145	42	16	423	106	46
Hoja	210	220	200	61	26	691	173	75
Flor	249	168	127	0	21	544	136	104
Sumatoria	754	939	755	165	100	2613	653	337
Media	189	235	189	41	25	653	163	84
Desv. Est.	62	127	70	29	9	229	41	44

5.5 Posprueba en suelo, agua y planta

En el Cuadro 4. Se puede ver la cantidad total que se acumuló tanto en suelo, agua y planta (*Nicotiana glauca* G). En la planta fue en la que se acumuló la mayor concentración de este metal (653.25 mg kg⁻¹). Este es un indicativo de que

efectivamente esta especie es fitorremediadora ya que genera una gran cantidad de biomasa con la consiguiente capacidad de extracción de metales pesados del suelo y por consiguiente, es capaz de acumular alta cantidad de metales pesados tal y como lo menciona López (2006), aunque cabe mencionar que se observaron daños físicos originados por el exceso de Cd en la planta. En el suelo también se presentó una concentración considerable de 453 mg kg^{-1} , y en agua fue en donde se encontró la menor concentración de Cd.

Cuadro 4. Valores totales de Cd (mg kg^{-1}), encontrados en suelo, agua y planta (*Nicotiana glauca* G). Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero- Diciembre de 2009.

Variable	Concentración de Cd
	Media
	Mg kg^{-1}
Suelo (mg kg^{-1})	453
Agua (mg L)	1.29
Planta (mg kg^{-1})	653.25

5.6 Valores estadísticos en *Nicotina glauca* G.

Se presentan los valores estadísticos básicos (Cuadro 5), de las variables medidas en *Nicotiana glauca* G, valores empleados para realizar el análisis de regresión múltiple y la correlación simple correspondiente.

Cuadro 5. Valores estadísticos básicos de las variables evaluadas en *Nicotiana glauca* G. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

Variable	Unidades	No. de datos	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Raíz	Mg kg ⁻¹	16	238.43	136.34	43	489
Tallo	Mg kg ⁻¹	16	105.62	42.94	32	165
Hojas	Mg kg ⁻¹	16	169.33	71.81	56	263
Flores	Mg kg ⁻¹	16	135.81	95.90	0	259
Sobrevivencia	%	16	75.00	44.73	0	102
Altura	Cm	16	38.94	24.72	11.30	74.10
Nhojas		16	18.93	10.18	7	46
Nflores		16	3.56	2.18	1	8

5.7 Modelo de predicción

El mejor modelo encontrado fue el que consideró la raíz como la variable dependiente. El Cuadro 6, incluye el modelo de regresión y el análisis de varianza para la predicción de la raíz. Este Cuadro mostró que el modelo de predicción obtenido es altamente significativo con un coeficiente de determinación de 0.97, por lo que de acuerdo al análisis, el 97 % de la variación de la raíz es explicado por las diferencias entre los valores del tallo, hojas, flores, sobrevivencia, altura, número de hojas y número de flores obtenidos después de los tratamientos aplicados al sustrato de las macetas de *Nicotiana glauca* G, el valor del

coeficiente de determinación obtenido considera al modelo bastante aceptable para este tipo de sistemas.

En relación con las variables independientes, la altura (-3.95) y el tallo (2.71) presentaron valores altamente significativos ($P < 0.01$), lo que significa, que estas variables son las que más influyeron en el coeficiente de determinación de la variable dependiente raíz.

Cuadro 6. Modelo de predicción de regresión y análisis de varianza para la predicción de raíz de los tratamientos a los que se les aplicó Cd en *Nicotiana glauca* G. Vivero del ejido la perla municipio de Nazas, Durango. Febrero- Diciembre de 2009.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Probabilidad mayor de F	R ²
Modelo	7	237606	33943	32.786	0.0001	0.97
Error	7	7247	1035			
Total	14	244853				

Variable	Grados de libertad	Parámetros estimados	Error estándar	Probabilidad mayor de T
Intercepto	1	7.47	70.83	0.91
Tallo	1	2.71	0.67	0.0052
Hoja	1	0.67	0.36	0.10
Flor	1	0.14	0.21	0.51
Sobrev	1	-0.47	0.47	0.35
Altura	1	-3.95	0.86	0.0026
Nhojas	1	-0.28	1.06	0.79
Nflores	1	0.45	9.38	0.96

5.8 Correlación simple

En el Cuadro 7, se observa que muchos pares de variables son los que destacan con valores positivos elevados, pero sobresale con mayor correlación la que se obtuvo en número de flores-raíz con un valor de coeficiente de correlación de 0.88, seguida por raíz-tallo con un valor de coeficiente de correlación de 0.86, al presentar valores positivos, por lo que es posible que haya una respuesta sinérgica en la que las variables correlacionadas sean favorecidas.

Las variables que presentaron la correlación más elevada pero negativa fue sobrevivencia-altura con un coeficiente de correlación de -0.70 al presentar un valor negativo indican que posiblemente las respuestas sean antagónicas en la que ambas variables sean perjudicadas.

Cuadro 7. Correlación simple entre las variables evaluadas en *Nicotiana glauca* G. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

Pares de variables	Coefficiente de correlación (r^2)	Valor de P
Número de flores-raíz	0.88	0
Número de flores-tallo	0.81	0
Número de flores- hoja	0.67	0
Número de flores-flor	0.38	0.14
Número de flores-sobrevivencia.	-0.18	0.50
Número de flores- altura	0.19	0.47
Número de flores-Número de hojas	-0.36	0.16
Raíz- tallo	0.86	0
Raíz- hoja	0.76	0
Raíz- flor	0.46	0.06
Raíz- sobrevivencia	-0.19	0.47
Raíz- altura	0.17	0.52
Raíz- número de hojas	-0.41	0.11
Tallo-hoja	0.80	0
Tallo-flor	0.51	0.03
Tallo-sobrevivencia.	-0.53	0.03
Tallo-altura	0.60	0.01
Tallo-Número de hojas	-0.42	0.10
Hoja-flor	0.80	0
Hoja-sobrevivencia	-0.26	0.33
Hoja-altura	0.64	0.01
Hoja- Número de hojas	-0.57	0.02
Flor- sobrevivencia	0.055	0.83
Flor-altura	0.51	0.04
Flor-Número de hojas	-0.38	0.13
Sobrevivencia-altura	-0.70	0
Sobrevivencia-Número hojas	0.25	0.33
Altura-Número hojas	-0.36	0.16

VI. CONCLUSIONES

Las concentraciones de Cd encontradas tanto en suelos como agua están muy por encima de los límites máximos permisibles.

La planta *Nicotiana glauca* G, se adaptó a concentraciones menores de 300 mg kg⁻¹ de Cd, aunque las en las concentraciones menores también afectaron en la altura, en su floración y la presencia de clorosis en hojas.

Cuando las concentraciones fueron mayores de 400 mg kg⁻¹ fue mortal para la planta.

De las variables suelo, agua y planta, en esta última fue en la que se acumuló la mayor concentración con una media de 653.25 mg kg⁻¹, por consiguiente la raíz retuvo un 37 % del total que la planta retuvo.

El mejor modelo de predicción fue el que considero a la raíz como variable dependiente, y fue altamente significativo con un coeficiente de determinación de 0.97.

Las variables independientes, la altura y el tallo presentaron valores altamente significativos ($P < 0.01$), lo que significó, que estas variables son las que más influyeron en el coeficiente de determinación de la variable dependiente raíz.

En la correlación simple los pares de variables, que sobresalieron fueron el número de flores-raíz y raíz-tallo con valores positivos. Mientras que con valores negativos fue sobrevivencia-altura.

VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Es necesario hacer más estudios sobre *Nicotiana glauca* G. en relación a la fitorremediación.
- ❖ *Nicotiana glauca* G. por ser sensible a la contaminación de Cd no se puede establecer en sitios con concentraciones mayores a 300 mg kg⁻¹.
- ❖ Es necesario llevar a cabo un control estricto en la aplicación de agroquímicos contaminantes, lo ideal sería establecer una agricultura orgánica inocua.
- ❖ Antes de llevar a cabo una fitorremediación de un suelo es necesario conocer las características físicas y químicas del mismo, así como el origen del contaminante para poder seleccionar especies que se adapten a las condiciones del suelo a utilizar.
- ❖ Realizar más trabajos sobre fitorremediación ya que reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes.
- ❖ Utilizar plantas fitorremediadoras que tengan gran producción de biomasa aérea y que presente una tasa de crecimiento elevada, para acumular mayor cantidad de metal.

- ❖ Una vez finalizado la utilidad de la planta, es necesario darle un tratamiento adecuado y una disposición final, para evitar más contaminación por metales pesados, de igual manera con las cantidades restantes de suelo y agua.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abollino, O., M. Aceto, M. Malandrino, E. Mentaste, C. Sarzanini y R. Barberis. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environ. I Poll. 177.
- Agudelo, M. L. 2005. Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Colombia. Rev. Las. Inv. 2, (001): 57-60.
- Aguilar, J., C. Dorronsoro, R. Bellver, E. Fernández, J. Fernández, I. García, A. Iriarte, F. Martín. I Ortiz y M. Simón. 2003. Contaminación de los suelos tras el vertido tóxico de Aznalcóllar. Universidad de Granada-Consejería de Medio Ambiente. España.
- Alarcón, A. C. 1994. Contaminación Minero Metalúrgica del Lago Chinchaycocha y del Rio Mantaro. Instituto para el Desarrollo de la Pesca y la Minería. IPEMIN, La Oroya.
- Ali, G. P., S. Srivastava y M. Iqbal. 2000. Influence of cadmium and zinc on growth and photosynthesis of *Bacopa monniera* cultivated in vitro. *Biología Plantarum* 43: 599-601.
- Alkorta, I., A. Aizpurua, P. Riga, I. Albizu, I. Amezaga y C. Garbisu. 2003. Soils enzyme activities as biological indicators of soil health. *Rev. Environ. Health* 18: 65-73.
- Alonso, J. 2007. Tratado de fitofármacos y neutracéuticos. 1ª. reimpresión corregida y renovada. Edit. Corpus. Argentina. 803 p.

- Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic y Professional. Londres. 370 p.
- Alloway, B. J. y E. Steinnes. 1999. Anthropogenic additions of cadmium to soils. In Cadmium in Soils and Plants.
- América, A. L. 2004. Met-Mex Peñoles y niños de Torreón. Consultora en toxicología ambiental y evaluación de riesgos. Xalapa, México.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2009. Recomendaciones sobre los límites de exposición ocupacional a las sustancias químicas (valores límites umbrales).
- Astolfi S., S. Zuchi y C. Passera. 2005. Effect of cadmium on H (+) ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from roots of different S-supplied maize (*Zea mays* L.) Plants. Plant Sci. 169: 361-368.
- Balestrasse, K. B., S. M. Gallego y M. L. Tomaro. 2004. Cadmium-induced senescence in nodules of soybean (*Glycine max* L.) plants. Plant Soil 262: 373-381.
- Banat, K. M., F. Howari y A. A. Al-Hamad. 2005. Heavy Metals in Urban Soils of Central Jordan: Should we worry about Their Environmental Risks. Environ. Res. 97: 258-273.
- Barboza, G., J. J. Cantero, C. Núñez y L. Espinar A. (Eds.). 2006. Flora Medicinal de la Provincia de Córdoba (Argentina). Pteridófitas y Antófitas silvestres o naturalizadas. Ed. Museo Botánico de Córdoba. Argentina.

- Benavides, M. P., S. M. Gallego y M. Tomaro. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiol.* 17: 21-34.
- Berner, E. K. 1987. *The global water cycle Geochemistry and environment.* Prentice Hall. Englewood cliffs. New Jersey. 388 p.
- Brief, R. S., J. W Blanchard, R. A. Scala y J.H Blacker. 1971. Metal carbonyls in the petroleum industry. *Arch Environ Health* 23: 373–384.
- Brooks, R. R. 1998. *Plants that hyperaccumulate heavy metals.* CAB International, Wallingford, UK.
- Burt, R., M. A. Wilson, T. J. Keck, B. D. Dougherty, D. E. Strom y J. A. Lindahl. 2003. Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in Anaconda and Deer Lodge Valley Montana, USA. *Advances in Environ. Res.* 8: 51-67.
- Carpena, R. O. y P. M. Bernal. 2007. Claves de la Fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Rev. Ecos.* 2007/2. *Catena* 39: 53-68. Central Jordan: Should we worry about Their Environmental Risks. *Environ. Res.* 9: 258-273.
- Chan, D. y B. A. Hale. 2004. Differential accumulation of Cd in durum wheat cultivars: uptake and retranslocation as sources of variation. *Journal of Exper. Bot.* 55: 2571-2579.
- Cherian, M. G. 1989. Metallothioneins and their role in the metabolism and toxicity of metals. *Life Sci.* 23: 1-10.

- Christensen, T. H. y P. M. Haug. 1999. Solid phase cadmium and the reactions of aqueous cadmium with soil surfaces. En: Cadmium in Soils and Plants (eds. McLaughlin, M.J. y Singh, B.R.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands. 65-96.
- Christie, P. L. y X. B.Chen. 2004. Arbuscular Mycohrriza can Depress Translocation of Zinc to Shoots of Host Plants in Soils Moderately Polluted with Zinc. *Plant and Soil*, 261 (1-2): 209-217.
- Clemens, S., D. M. Antosiewicz, J. M. Ward, D. P. Schachtman y J. I. Schroeder. 1998. The plant DNA LCT1 mediates the uptake of calcium and cadmium in yeast. *Proc. of the Natl Acad. Sci. USA* 95:1 2043-12048.
- Clemens, S., P. Palmgren y M. G. Kramer. 2002. A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. *Trends in Plant Sci.* 7: 309-315.
- Clemens, S. 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Bioch.* 88: 1707-1719.
- Comité Estatal de Normalización (CEN). 1986. Fuentes de abastecimiento de agua, calidad y protección sanitaria. Cuba. 93: 11-86.
- Cruz, A. R. 1996. Evaluación general de la captura del ostión contaminado con cadmio en las lagunas de Tamaulipas de 1988 a 1994. *Bol. Inf. SEMARNAP, INP, CRIP.* México. Pp.16.

- Cunningham, S., J. Shann, D. Crowley y T. Anderson. 1997. Phytoremediation of contaminated soils and water. En: Phytoremediation of Soil and Water Contaminants (E. L. Kruger, T. A. Anderson y J. R. Coats, Eds.) Am. Chem. Soc. Washington DC. 2-17.
- Cusato, M. S., L. Valiente, R. D. Tortosa, N. Bartoloni, M. M. Puellas y A. D'Ambrogio. 2002. [En línea]. Uso de discaria americana en Fitoremediación. Recursos Naturales y Ambiente. Disponible en: <http://www4.inti.gov.ar/GD/4jornadas2002/pdf/cequipe-141.pdf>. Consultado el 16 de mayo de 2009.
- Dec, J. y J. Bollang. 1994. Use of plant material for the decontamination of water polluted with phenols. *Biotl. Bioeng.* 44: 1132-1139.
- Del Río, L. A., F. J. Corpas y J. B. Barroso. 2004. Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. *Phytochem.* 65: 783-792.
- Delfino, M. R., M. C. Sarno, C. E. Martínez y D. S. Rinaldi. 2003. Cadmio en hojas de tabaco. Universidad Nacional del Noroeste. *Comun. Cient y Tecnol.* 50-82.
- Di Marco, V. B. y G. G. Bombi. 2006. Electrospray mass spectrometry (ESI-MS) in the study of metal-ligand solution equilibria. *Mass Spectrom. Rev.* 25: 347.
- Domínguez, S., M. J. López, M. C. Ager, F. J. Ynsa, M. D. Romero y L. C. Gotor. 2004. Increased cysteine availability is essential for cadmium

- tolerance and accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Biotech. Journal* 2: 469-476.
- Dushenkov, S. 2003. Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil*. 249: 167–175.
- Environmental of Protection Agency (EPA). 2009. Agencia federal responsable de regular los riesgos medioambientales.
- Food and Agriculture y Organization. (FAO) y World Health Organization (WHO). 1993. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Alimentarius Comission, 20th Session, Geneva 28 June-7. July 1993.
- Fergusson, J. E. 1992. The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon press. Nueva York, 502 p.
- Flick, J. G. 1971. Toxic effects of cadmium in soils a review *Environ. Res* 4(2): 71.
- Fodor, A., N. A. Szabó y L. Erdei. 1995. The effects of cadmium on the fluidity and H⁺-ATPase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots. *Journal of Plant Physiol.* 14: 787-792.
- Galván, G. G. E. 2006. Comparación entre dos modelos biológicos para la absorción de cadmio y su posterior aplicación como fitorremediadores en aguas contaminadas”. Tesis Ing. Quím. Amb. UAQ-Santiago de Querétaro.
- García, I. y C. Dorronsoro. 2005. Contaminación por Metales Pesados. En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada [en línea]. Departamento

de Edafología y Química Agrícola. Disponible en:
<http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>. Consultado el 04 abril de
2009.

García, R. L. y M. M. Jara. 1996. Aplicación de microondas en la digestión de hígado de bovino para la cuantificación de metales pesados. *Rev. Int. Contam. Amb.* 12: 40-44.

Goldbol, D. L. y A. Hutterman. 1985. Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation on *Picea abies* (Karst.) seedlings and the significance of these metals to forest die-back. *Environ. Poll.* 38: 375-381.

Gouia, H., M. H. Ghorbal y C. Meyer. 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiol. and Biochem.* 38: 629-638.

Guerinot, M. L. 2000. The ZIP family of metal transporters. *Bioch. Et Biophys.* 1465: 190-198.

Guillén, F. 1996. Educación, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Educación Ambiental, Teoría y práctica.* *Rev. Iberoam.* 11: 55.

Hair, Jr. J. F., R.E. Anderson, R. L. Z. Tatham and W.C. Black. 1992. *Multivariate data analysis.* McMillan Publ. Co. New York. 544pp.

- Hamer, D. 1986. Metallothionin. Hyperaccumulation Versus Chemically-Enhanced Phytoextraction. *Journal of Environ. Quality* 30, 1919-1926. *Annual Review of Biochem.* 55: 913-951.
- Han, F. X., A. Banin, W. L. Kingery, G. B. Triplett, L. X. Zhou, S. J. Zheng y W. X. Ding. 2003. New Approach to Studies of Heavy Metal Redistribution in Soil. *Advances in Environ. Res.* 8: 113-120.
- Harvey, P., B. Campanela, P. Castro, H. Harms, E. Lichtfouse, A. Schäffner, S. Smrcek y D. Werck. 2002. Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenols. *Environ. Sci. Poll. Res. Int.* 9: 29-47.
- Henry, R. J. 2000. National Network of Environmental Management Studies (NNEMS) Fellow. U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation office. Washington.
- Hernández, V. I. y D. Marger. 2003. Uso de *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para Fitorremediar. Suelos Contaminados con un Crudo de Petróleo Liviano. *Bioagro.* 15(3).
- Higuera, P. y R. Oyarzun. 2008. Metales Pesados. Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Universidad Politécnica de Almeda. España.
- Hoel, G. P. 1988. Estadística Elemental. Sexta impresión. Ed. CECSA. Mex. D.F. pp 313 - 315

- James, B. R. 2002. Chemical transformations of chromium in soils: Relevance to mobility, bio-availability and remediation [en línea]. Disponible en: <http://www.Chromium-asoc.com/publications/crfile8feb02.htm>. Consultado el 14 mayo de 2009.
- Jian, W., J. Chen, R. William y R. Cunningham. 1997. Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ. Sci. Technol.* 31: 800-805.
- Kim, D. Y., L. Bovet, S. Kushnir, E. W. Noh, E. Martinoia e Y. Lee. 2006. AtATM3 is involved in heavy metal resistance in Arabidopsis. *Plant Physiol.* 140: 922–932.
- Klaassen, K. y A. E. Jansen. 1996. Selective recovery of heavy metals with emulsion extraction. *Minerals Metals and Environment II*. The Institution of Mining and Metallurgy, Londres.
- Kvesitadze, G., M. Gordeziani, G. Khatisashvili, P. Sadunishvili y J. Ramsden. 2001. Some aspects of the enzymatic basic of phytoremediation. *J. Biol. Phys. Chem* 1: 49-57.
- Lewis, R. J. 1992. *Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials*. 8ª edición, Vol II. Van Nostrand Reinhold. Nueva York. 280 p.
- Ley General del Ambiente. 2008. En su artículo 32, numeral 32.1 de la ley no. 28611 define al límite máximo permisible.

- Liscovsky, I. J. 2007. Estudio comparado de los órganos vegetativos y reproductivos en *Cestrae* G. Don. (Solanaceae) y su implicancia taxonómica en el sistema de la Familia. Tesis Doctoral, F.C.E.F y N., U.N.C. Argentina.
- Lombi, E., F. J. Zhao, S. J. Dunham y S. P. McGrath. 2001. Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation versus Chemically-Enhanced Phytoextraction. *Journal of Environ. Quality* 30: 1919-1926.
- López, G. J. 2004. Límites máximos permisibles de Cd en Vida acuática estuarina o en zonas de costas Gossans [en línea]. Disponible en: <http://www.ucm.es/info/crismine/gossan/gossanapuntes2.htm>. Consultado el 20 abril de 2009.
- López, R. 2006. *Nicotiana glauca*, metales pesados en suelos. *Environ. and Exp. Bot.* 41:105-130.
- Lozano, R., L. E. Hernández, P. Bonay y R. O. Cárpena. 1997. Distribution of Cd in shoot, and root tissues of maize and pea plants: physiological distribution. *Journal of Exp. Bot.* 48: 123-128.
- Luna, J. M., V. O. Rendón y G. L. Alpeluche. 2002. Presencia de Cadmio en agua y Ostión en las Lagunas de Alvarado y La Mancha. Centro de Estudios Ambientales, A.C. Universidad Autónoma de Campeche. Pp: 427.

- Maksymiec, W., M. Wojcik y Z. Krupa. 2007. Variation in oxidative stress and photochemical activity in *Arabidopsis thaliana* leaves subjected to cadmium and excess copper in the presence or absence of jasmonate and ascorbate. *Chemosp.* 66: 421-427.
- Martens, S. N. y R. S. Boyd. 1994. The ecological significance of cadmium hyperaccumulation-a plant chemical defense. *Oecol.* 98: 379-384.
- Martin, C. W. 2000. Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. *Catena* 39: 53-68.
- Miya, K. y K. Firestone. 2001. Bioremediation and biodegradation. *Environ. Qual.* 30: 1911-1918.
- Navarra, S. S. 2003. Intoxicación por metales. Unidad de Toxicología Clínica. Hospital Clínico Universitario. Zaragoza. Vol. 26. Suplemento 1: 1-2.
- Navarro, A. I., A. J. Aguilar y M. López. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Rev. Ecos.* 16 (2): 10-25.
- Navarro, Pedro Juan. 2009. Response to cadmium in higher plants. *Environ. Exp. Bot.* 41: 105-130.
- Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas-Determinación de metales- método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de febrero de 1982.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL.1996. Establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas nacionales a los

sistemas de alcantarillado o municipal. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio de 1998.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites máximos permisibles de calidad y tratamientos que se debe someterse el agua para su potabilización.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio.

Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2005. Productos de la pesca, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba publicada en el diario oficial (DOF). La Paz, B.C.S. 63 p.

Norvell, W. A., J. Wu, D. G. Hopkins y R. Welch. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chlorine and chelate-extractable soil cadmium. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 64: 2162-2168.

Nriagu, J. O. y J. M. Pacyna. 2001. Update of ambient water quality criteria for Cadmium. 333: 134-139.

- Núñez, L. R. A., V. Y. Meas, B. R. Ortega y E. J. Olguín. 2003. Simposio 2003 Concyteq. La investigación y el Desarrollo Tecnológico de Querétaro. México. Pp.1-9.
- Núñez, L., Y. Meas, B. Ortega y J. Olguín. 2004. Fitorremediación fundamentos y aplicaciones. Cienc. 69-82.
- Ortega, M. N. 2009. Fitorremediación de suelo contaminado por plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Arsénico (As) mediante la especie vegetal *Nicotiana glauca* G. Tesis Ing. Proc. Amb. UAAAN-UL.
- Ortiz D.F., T. Ruscitti, K. F. McCue y D.W. Owin. 1995. Transport of metal-binding peptides by HMT1, a fission yeast ABC-type vacuolar membrane protein. Journal Biolog. Chem. 270: 4721-4728.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 2008. Agencia federal que aprueba las normas de salud y seguridad e impone el cumplimiento de las mismas.
- Page, A. y P. Chang. 1981. Trace metal in soils and plants receiving municipal wastewater irrigation in: municipal wastewater in agriculture. Academic Press, Inc., New York. Pp. 351-372.
- Pagnanelli, F., E. Moscardini, V. Giuliano y L. Toro. 2004. Sequential Extraction of Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area: Pollution Detection and Affinity Series. Environ. Poll. 132: 189-201

- Park, S., N. H. Cheng, J. K. Pittman, K. S. Yoo, J. Park, R.H. Smith y K. D. Hirschi. 2005. Increased Calcium levels and prolonged shelf life in tomatoes expressing Arabidopsis H⁺/Ca²⁺ transporters. *Plant Phys.* 39: 1194-1206.
- Pineda, H. R. 2004. Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de *Glomus Intraradices* en la Absorción y Translocación de Zinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus L.*) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis Doctoral. Universidad de Colima. Colima.
- Pinto, A. P., A. M. Mota, A. De Varennes y F. C. Pinto. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Sci. Tot. Environ.* 326: 239-274.
- Pinto, E., T. C. S. Sigaud, M. Leitano, O. K. Okamoto, D. Morse y P. Colepicolo. 2003. Heavy metal-induced oxidative stress in algae. *Journal Phyc.* 39: 1008-1018.
- Pomponi, N., V. Censi, U. Di Girolamo, A. De Paolis, L. S. Di Toppi, R. Aromolo, P. Constantino y M. Cardarelli. 2006. Overexpression of Arabidopsis phytochelatin synthase in tobacco plants enhances Cd²⁺ tolerance and accumulation but not translocation to the shoot. *Plant.* 223: 180-190.
- Prince, W. S., S. P. Kumar, K. D. Doberschütz y V. Subburam. 2002. Cadmium toxicity in mulberry plants with special reference to the nutritional quality of leaves. *Journal Plant Nut.* 25: 689-700.

- Ragonese, A. E. y V. A. Milano. 1984. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Ed. Acme. Argentina.
- Raskin, I., R.D. Smith y D. Salt. 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opin. Biotech.* 8: 221-226.
- Reilly, C. 1980. Metal contamination of foods. *Applied Sci. Publis., Essex.* 3-14.
- Rodríguez, S. M., P. M. C. Romero, A. Zabalza, F. J. Corpas, M. Gómez, L. A. del Río y L. M. Sandalio. 2006. Cadmium effect on the oxidative metabolism of pea roots. Imaging of ROS and NO production in vivo. *Plant Cell and Environ.* 29: 1532-1544.
- Romero, P. M. C. 2002. Metabolismo de especies de oxígeno reactivo en plantas de guisante (*Pisum sativum* L.) y en peroxisomas de hojas en condiciones de estrés por cadmio. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España.
- Rosas, I., R. Belmont y A. Baez. 2002. Some aspects of the environmental exposure to chromium residues in Mexico. *Water, air and soil poll.* 1089: 48-463.
- SAS Institute. Inc., 2001. SAS/STAT. User's guide. Cary N. C. USA. 120 p.
- Salisbury, B. F. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana S.A. de C. V. México D.F. 759 p.
- Salt, D. E. 2006. An extreme Plant Lifestyle: Metal Hyperaccumulation. En: *Plant Physiology Online*. Chapter 26: 2. [En línea]. Disponible en:

<http://4e.plantphys.net/article.php?ch=&id=356>. Consultado el 04 de mayo de 2009.

Salt, D. E., R. C. Prince, I. J. Pickering y I. Raskin. 1995. Mechanism of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. *Plant Phys.* 109: 1427-1433.

Salt, D. E. y G. J. Wagner. 1993. Cadmium transport across tonoplast of vesicles from oat roots. Evidence for a Cd^{2+}/H^{+} antiport activity. *Journal Biolog. Chem.* 268: 12297-12302.

Sanchís, E. 2009. La modificación genética de *Nicotiana glauca* G., respuesta a la polución en suelos, lodos y aguas producidos por metales pesados. *Zentralbl Hyg Umweltmed*; 196 (2): 153-169.

Sandalio, L. M., H. C. Dalurzo, M. Gómez, P. M.C. Romero, y L.A. Del Río. 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal Exp. Bot.* 52: 2115-2126.

Sauquillo, A., A. Rigol y G. Rauret. 2003. Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Anal. Chem.* 22: 152-159.

Scheiner, B. J., F. M. Doyle y S. K. Kawatra. 1989. *Biotechnology in Minerals and metal processing*. Society of Mining Engineers Inc., Littleton (CO), 209 p.

Shah, K. y J. M. Nongkynrih. 2007. Metal hyperaccumulator and bioremediation. *Biolog. Plant.* 51: 618-634.

- Sienko, J. 1986. El Mercurio en el ambiente, Química, principios y aplicaciones. McGraw-Hill. Madrid. Pp. 601-603
- Singh, O. V., S. G. Labana, R. Pandey, M. Budhiraja y R. K. Jain. 2003. Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination from Soil. *Applied Microb. Biot.* 61: 405-412.
- Singh, P. K. y R. K. Tewari. 2003. Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea* L. plants. *Journal Environ. Biol.* 24: 107-112.
- Song, W. Y., E. J. Sohn, E. Martinoia, Y. J. Lee, Y. Y. Yang, M. Jasinski, C. Forestier, I. Hwang e Y. Lee. 2003. Engineering tolerance and accumulation of lead and cadmium in transgenic plants. *Nat. Biot.* 21: 914-919.
- Stohs, S. J., y D. Bagchi. 1995. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. *Free Rad. Biol. Medic.* 18: 321-336.
- Street Pilot GPS. 1988. GARMIN International. Inc. 1200 E. 151 St, Streets. Olathe. KS 66062 U.S.A. Impreso en Taiwan R.O.C.
- Sunderman, F. W. y A. Oskarsson. 1991. Cadmium in Metals and their compounds in the environment, dirigido por Merian E., Weinheim, Alemania: VCH Verlag.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. Road Sunderland. U.S.A. 792 p.

- The Government of Canada's Biotechnology Resource for Consumers, Industry, Scientists and Educators. 2005. *Revi. Las. Inv.* 2: 57-60.
- Thomine, S., R. Wang, J. Ward, N. Crawford y J. Schroeder. 2003. Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in *Arabidopsis* with homology to Nramp genes. USA. *Proc. National Acad. Sci.* 97: 4991-4996.
- Torra, M., T. J. Figueras, M. Brunet, M. Rodamilans y J. Corbella. 1994. Total and metallothionein in Barcelona (Spain). *Bull. Environ. Contam. Tox.* 53: 509-515.
- Tripathi, B. D. y A. R. Upadilla. 2003. Dairy Effluent Polishing by Aquatic Macrophytes. *Water, Air and Soli Poll.* 143: 377-385.
- UAAAN- UL 2007. Determinación de la capacidad de retención del plomo en la planta de geranio (*Pelargonium* spp) en diferentes puntos aledaños y lejanos de la industria Met-Mex Peñoles. Trabajo de tesis. Torreón, Coahuila, México. Julio 2007.
- Universidad Autónoma Chapingo (UACH).1998. Anteproyecto de la Norma Oficial Mexicana de procedimientos de análisis de suelos y certificación de laboratorios. Departamento de Suelos de la UACH.
- USDA-ARS. 2006. Laboratory for Nutrient Management y mineral. Nutrition Program. Agricultura Research Service, soil plant Nutrient Research Unit. For Collins, Co. USA. 45 p.

- Valdés, F. P. y M. V. Cabrera. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. Primera edición. Edit. CILADHAC. 50 p.
- Villareal, J. A. 1983. Maleza de Buenavista Coahuila. UAAAN Saltillo, Coahuila. México. Pp 168.
- Walter, D. J., S. Vázquez, R. Clemente y M. P. Bernal. 2008. Aplicación de la Fitorremediación a los Suelos Contaminados por Metales Pesados en Aznalcóllar. Rev. Cient. Téc. Ecol. Med. Amb. 2.
- Wang, Y. P. y C. C. Chao. 1992. Effects of Vesicular- Arbuscular Mycorrhizae and Heavy Metals on the Growth of Soybean and Phosphate and Heavy Metal Uptake by Soybean in Major Soil Groups of Taiwan. J. Agric. Assoc. China New. Ser. 157: 6-20.
- Watt, M. y J. Evans. 1999. Proteoid roots physiology and development. Plant Physiol. 121: 317-323.
- Webb, M. y K. Cain. 1982. Functions of metallothionein, Biochem. Pharmacol, 31: 137-143.
- Wua, F., G. Zhang y P. Dominy. 2003. Four barley genotypes respond differently to cadmium: lipid peroxidation and activities of antioxidant capacity. Environ. Exp. Bot. 50: 63-78.
- Xiong, Z. T. 1997. Bioaccumulation and Physiological Effects of Excess Lead in a Roadside Pioneer Species *Sonchus Oleraceus* L. Environ. Poll. 97 (3): 275-279.

Yang, X. E., X. F. Jin, Y. Feng y E. Islam. 2005. Molecular mechanisms and genetic basis of heavy metal tolerance/hyperaccumulation in plants. *Journal of Intern. Plant. Biol.* 47:1025-1035. *Ecos.* 17: (3):146.

APÉNDICE

Cuadro 1. Valores obtenidos en la preprueba de suelo, en el laboratorio de suelos de la UAAAN-UL. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

Muestras	pH	C.E	D.A	M.O	Cl	SO ₄	NO ₃	Pb	Cd	Zn	As
		μS/cm	mel/L	%	(mel/lt)	(mel/lt)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
M1S	7.93	833	1.13	2.13	1	0.250	124.28	1780	123	73	0.05
M2S	7.73	652	1.278	1.05	1	0.125	196.03	1800	121	72	0
M3S	7.43	1303	1.36	2.52	1	0.265	261.90	1810	128	69	0
M1V	7.86	804	1.23	1.46	1	0.221	24.21	1810	119	74	0
M2V	8.02	595	1.38	1.27	1	0.042	15.789	1800	113	74	0.1
M3V	7.85	11.7	1.08	1.11	20	0.183	21.052	1770	11	72	0
promedio	7.80	699.78	1.24	1.59	4.16	0.18	107.21	1795	102.5	72.33	0.025

Cuadro 2. Valores obtenidos en la preprueba en agua, en el laboratorio de suelos de la UAAA-UL. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

Muestras	pH	C.E	Cl	SO ₄	NO ₃	Pb	Cd	Zn	As
		μS/cm	(mel/lt)	(mel/lt)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
A1	7.81	307	0.20	0.524	6.332	1.05	1.15	0.6	0
A2	7.72	371	0.32	0.225	8.4715	0.98	1.6	0.64	0
promedio	7.765	339	0.26	0.37	7.40	1.01	1.37	0.62	0

Cuadro 3. Valores obtenidos de aplicación de Cd por maceta y tratamiento en *Nicotiana glauca* G. En el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

No. Maceta	Tratamiento	peso maceta kg	Mg de ClCd_2	Tratamiento por peso	Grs. de Cd	Total de Cd por tratamiento
1	I (200) 1	5	326	1633.9	1.63	
2	I (200) 2	5.5	326	1797.29	1.80	
3	I (200) 3	7.5	326	2450.85	2.45	
4	I (200) 4	9	326	2941.02	2.94	
5	I (200) 5	9	326	2941.02	2.94	
6	I (200) 6	9	326	2941.02	2.94	
7	I (200) 7	8	326	2614.24	2.61	
8	I (200) 8	5.5	326	1797.29	1.80	
9	I (200) 9	5	326	1633.9	1.63	20.75
10	II (300) 1	5.5	490	2695.935	2.70	
11	II (300) 2	5	490	2450.85	2.45	
12	II (300) 3	5.5	490	2695.935	2.70	
13	II (300) 4	5	490	2450.85	2.45	
14	II (300) 5	6	490	2941.02	2.94	
15	II (300) 6	5	490	2450.85	2.45	
16	II (300) 7	5.5	490	2695.94	2.70	
17	II (300) 8	5	490	2450.85	2.45	
18	II(300) 9	10	490	4901.7	4.90	25.73
19	III (400) 1	9	653	5882.13	5.88	
20	III (400) 2	9	653	5882.13	5.88	
21	III (400) 3	7	653	4574.99	4.57	
22	III (400) 4	5.5	653	3594.635	3.59	
23	III (400) 5	5.5	653	3594.635	3.59	
24	III (400) 6	6	653	3921.42	3.92	
25	III (400) 7	6	653	3921.42	3.92	
26	III (400) 8	6	653	3921.42	3.92	
27	III (400) 9	5	653	3267.85	3.27	38.56
28	I (0) 1	5				
29	I (0) 2	6				
30	I (0) 3	5.5				
31	I (0) 4	7				
32	I (0) 5	6				
33	I (0) 6	5				
34	I (0) 7	7				
35	I (0) 8	7				
36	I (0) 9	6				

Cuadro 4. Valores obtenidos en preprueba de altura (cm) y en número de hojas en preprueba de *Nicotiana glauca* G. En el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009

No. Maceta	Tratamiento	Altura (cm)	Hojas
1	200	61	19
2	200	82	21
3	200	59	18
4	200	41	12
5	200	56	17
6	200	25	11
7	200	70	16
8	200	45	22
9	200	48	18
10	300	47	16
11	300	86	21
12	300	81	19
13	300	79	20
14	300	59	18
15	300	83	20
16	300	74	19
17	300	79	36
18	300	63.5	19
19	400	58	39
20	400	52	28
21	400	72	18
22	400	38	16
23	400	51	14
24	400	52	29
25	400	34	27
26	400	66	22
27	400	71	18
28	0	46	16
29	0	63.5	17
30	0	55	17
31	0	57.5	18
32	0	49.5	16
33	0	54	15
34	0	63	19
35	0	31	11
36	0	58	15

Cuadro 5. Valores obtenidos en los distintos tratamientos en altura (cm), número de hojas, número de flores y sobrevivencia (%) en posprueba en *Nicotiana glauca* G. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

No. Maceta	Tratamiento	Altura (cm)	Hojas	Flor	Sobrevivencia (%)
1	200	61	3	0	1
2	200	1.16	22	0	1
3	200	1.15	26	16	1
4	200	56	15	0	1
5	200	100	21	0	1
6	200	25	22	0	1
7	200	74	0	0	1
8	200	98.5	37	7	1
9	200	85	19	8	1
10	300	42	9	0	0
11	300	1.18	6	3	0
12	300	1.16	13	4	1
13	300	90	5	0	1
14	300	1.1	30	18	1
15	300	1.05	17	14	1
16	300	1	18	11	1
17	300	1.14	39	11	1
18	300	46	3	0	0
19	400	80	41	9	1
20	400	74	10	3	0
21	400	120	22	18	1
22	400	30	7	0	0
23	400	44	6	0	0
24	400	76	25	7	1
25	400	30	5	0	0
26	400	66	7	0	0
27	400	94	14	1	0
28	0	1.18	32	0	1
29	0	1.47	32	0	1
30	0	1.22	29	0	1
31	0	1.59	37	0	1
32	0	1.54	25	7	1
33	0	1.66	31	6	1
34	0	1.5	35	0	1
35	0	91	26	0	1
36	0	1.37	0	0	1

Cuadro 6. Valores obtenidos en los distintos tratamientos en altura (cm), número de hojas, número de flores y sobrevivencia (%) en preprueba y posprueba en *Nicotiana glauca* G. En el vivero del ejido la Perla Municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

No. Maceta	Tratamiento	Prepruebas		Pospruebas			Sobrevivencia (%)
		Altura (cm)	Hojas	Altura (cm)	Hojas	Flor	
1	200	61	19	61	3	0	1
2	200	82	21	1.16	22	0	1
3	200	59	18	1.15	26	16	1
4	200	41	12	56	15	0	1
5	200	56	17	100	21	0	1
6	200	25	11	25	22	0	1
7	200	70	16	74	0	0	1
8	200	45	22	98.5	37	7	1
9	200	48	18	85	19	8	1
10	300	47	16	42	9	0	0
11	300	86	21	1.18	6	3	0
12	300	81	19	1.16	13	4	1
13	300	79	20	90	5	0	1
14	300	59	18	1.1	30	18	1
15	300	83	20	1.05	17	14	1
16	300	74	19	1	18	1	1
17	300	79	36	1.14	39	11	1
18	300	63.5	19	46	3	0	0
19	400	58	39	80	41	9	1
20	400	52	28	74	10	3	0
21	400	72	18	120	22	18	1
22	400	38	16	30	7	0	0
23	400	51	14	44	6	0	0
24	400	52	29	76	25	7	1
25	400	34	27	30	5	0	0
26	400	66	22	66	7	0	0
27	400	71	18	94	14	1	0
28	0	46	16	1.18	32	0	1
29	0	63.5	17	1.47	32	0	1
30	0	55	17	1.22	29	0	1
31	0	57.5	18	1.59	37	0	1
32	0	49.5	16	1.54	25	7	1
33	0	54	15	1.66	31	6	1
34	0	63	19	1.5	35	0	1
35	0	31	11	91	26	0	1
36	0	58	15	1.37	0	0	1

Cuadro 7. Valores obtenidos de parámetros analizados en agua y suelo en posprueba de *Nicotiana glauca* G. En el vivero del ejido la Perla Municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

Tratamiento	suelo	Agua (ppm)
200 mg kg ⁻¹ Cd	582	1.22
300 mg kg ⁻¹ Cd	557	1.25
400 mg kg ⁻¹ Cd	572	1.35
0	102.5	1.37
media	453.37	1.29

Cuadro 8. Medias de valores obtenidos sobre número de hojas, altura (cm), número de flores y sobrevivencia (%) en *Nicotiana glauca* G. en preprueba y posprueba. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

No. Maceta	Trat.	Preprueba		Posprueba				Media	Desv. Est.
		No. Hojas	Altura (cm)	No. Hojas	Altura (cm)	Flo r	Sobrev. (%)		
1	200	19	61	3	61	0	1		
2	200	21	82	22	1.16	0	1		
3	200	18	59	26	1.15	16	1		
4	200	12	41	15	56	0	1		
5	200	17	56	21	100	0	1		
6	200	11	25	22	25	0	1		
7	200	16	70	0	74	0	1		
8	200	22	45	37	98.5	7	1		
9	200	18	48	19	85	8	1		
				18	55.76	3	100	20	25
10	300	16	47	9	42	0	0		
11	300	21	86	6	1.18	3	0		
12	300	19	81	13	1.16	4	1		
13	300	20	79	5	90	0	1		
14	300	18	59	30	1.1	18	1		
15	300	20	83	17	1.05	14	1		
16	300	19	74	18	1	1	1		
17	300	36	79	39	1.14	11	1		
18	300	19	63.5	3	46	0	0		
				16	20.51	6	1	11	9
19	400	39	58	41	80	9	1		
20	400	28	52	10	74	3	0		
21	400	18	72	22	120	18	1		
22	400	16	38	7	30	0	0		
23	400	14	51	6	44	0	0		
24	400	29	52	25	76	7	1		
25	400	27	34	5	30	0	0		
26	400	22	66	7	66	0	0		
27	400	18	71	14	94	1	0		
				15	68.22	4	0	22	31
28	0	16	46	32	1.18	0	1		
29	0	17	63.5	32	1.47	0	1		
30	0	17	55	29	1.22	0	1		
31	0	18	57.5	37	1.59	0	1		
32	0	16	49.5	25	1.54	7	1		

33	0	15	54	31	1.66	6	1		
34	0	19	63	35	1.5	0	1		
35	0	11	31	26	91	0	1		
36	0	15	58	0	1.37	0	1		
		19	58.61	27	11.39	1	1	10	12

Cuadro 8. Valores de las variables empleadas para realizar la regresión múltiple y la correlación simple en *Nicotiana glauca* G. Vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Febrero-Diciembre de 2009.

raíz	tallo	hoja	flor	sobrevivencia	altura	Núm. hojas	Núm. flores
193	102	210	249	100	55.76	18	3
190	97	263	236	97	64	10	3
189	105	220	259	102	53	10	3
198	104	145	252	101	50	34	3
417	134	220	168	100	20.51	16	6
365	103	223	234	98	15.3	13	3
489	165	217	135	102	24.5	13	7
397	132	220	134	100	21.7	23	8
283	145	200	127	0	68.22	15	4
295	138	199	99	0	68	23	3
262	156	199	124	0	74.1	13	4
291	140	201	156	0	62.5	7	6
62	42	61	0	100	11.37	27	1
83	32	61	0	100	11.3	12	1
58	48	65	0	99	11.3	46	1
43	47	56	0	101	11.5	23	1