



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

CARRERA DE BIOLOGÍA

***Lolium perenne* y *Trifolium repens*, en la recuperación de suelos de mina.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

PRESENTA

ROJAS GARCÍA MARCO ANTONIO

ÁREA: AMBIENTALISMO

**LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN
Y FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS**

DIRECTORA DE TESIS: Dra. Esther Matiana García Amador

México, D.F. Agosto de 2014



PROYECTO FINANCIADO POR PAPIME, PE202311



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"Es preciso entender la tesis como una ocasión única para hacer algunos ejercicios que nos servirán mientras vivamos." Umberto Eco

AGRADECIMIENTOS

A la FES Zaragoza por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta honorable casa de estudios

A mi familia por la infinita paciencia que me tuvieron al realizar este trabajo

A mis hermanos Jorge Erick de la cruz Gamboa y José Arturo García Reyes por animarme en mis momentos de flaqueza

A mis amigos Fabián Posadas Alvares y Gonzalo Adrián Vargas Muños por hacerme regresar a la realidad cuando esta me había abandonado

A la maestra Verónica Mitsui Zaito Quezada y la doctora Irma Gisela Nieto Castañeda, por mostrarme de la manera difícil la importancia de un trabajo bien hecho en el laboratorio

A todos los compañeros y compañeras que conocí a lo largo de la carrera y que de alguna u otra forma han sido parte importante en la formación de mi carácter

A mis maestros que sin sus enseñanzas y sabios consejos Jamas habría llegado hasta este punto de mi vida.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con especial cariño y respeto a dos mujeres muy importantes en mi vida, la primera, mi madre, María de la luz Patricia García Velarde, quien me dio la vida, me ha llenado de amor, cuidados, esperanza, y a pesar de no ser el hijo que ella se merece, aun así se siente orgullosa de mi y espero algún día poder demostrarle que su sentimiento no es en vano.

Y finalmente a mi asesora la doctora Esther Matiana García Amador, la cual le pido perdón y le doy las gracias por las incontables horas de paciencia y respeto que me brindó desde el momento en que la conocí, gracias por sus consejos y palabras de aliento que en más de una ocasión me sacaron de la desesperación que yo mismo me había provocado, y en especial gracias por hacerme ver que incluso alguien como yo, puede superarse.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Suelo	2
2.2 Contaminación del suelo	3
2.3 Características de los metales pesados	4
2.4 Recuperación de cubierta vegetal	7
3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES	9
3.1 <i>Lolium perenne</i>	9
3.2 <i>Trifolium repens</i>	10
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. PREGUNTAS A RESOLVER	11
6. HIPÓTESIS	12
7. OBJETIVOS	12
7.1 Objetivo general	12
7.2 Objetivos particulares	12
8. ÁREA DE ESTUDIO	12
9. MÉTODO	14
9.1 Trabajo de vivero y laboratorio	14
9.2 Determinación de parámetros del suelo	15
10. RESULTADOS	17
11. DISCUSIÓN	28
12. CONCLUSIONES	33
13. LITERATURA CITADA	34
ANEXO	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Área de colecta de suelo	13
Figura 2.-Supervivencia de pasto perenne y trébol blanco	20
Figura 3.- Crecimiento de pasto perenne y trébol blanco	21
Figura 4.- Número de hojas en pasto perenne y trébol blanco	22
Figura 5.- Número de tallos en pasto perenne y trébol blanco	23
Figura 6.- Supervivencia de pasto perenne	42
Figura 7.- Supervivencia de trébol blanco	42
Figura 8.- Altura de trébol blanco testigo y mina	43
Figura 9.- Altura de pasto perenne testigo y mina	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Parámetros físicos y químicos del suelo	17
Cuadro 2.- Porcentaje de germinación	19
Cuadro 3.- Concentración de micronutrientes en las diferentes estructuras de la planta	24
Cuadro 4.- Concentración de los metales en las diferentes estructuras de las dos especies	25
Cuadro 5.- Secuencia de acumulación	26
Cuadro 6.- Factor de traslocación (FT) e Índice de tolerancia (IT)	27

RESUMEN

El principal impacto que se produce por la actividad minera es la pérdida de la cubierta vegetal, que es el principal control de la erosión. El objetivo de este trabajo es evaluar a *Lolium perenne* y *Trifolium repens* para la recuperación de la cubierta vegetal de la mina La Blanca en Pachuca Hidalgo. Para lo cual se tomaron muestras al azar de diferentes puntos de la zona y posteriormente formar una muestra compuesta a la que se le realizaron análisis físicos y químicos. Se seleccionaron 100 semillas comerciales de cada especie, una vez emergida la radícula, se trasplantaron a bolsas de plástico negras para los dos tratamientos y se emplearon 20 individuos para cada uno, para el testigo se empleó suelo de vivero, semanalmente se midió la altura, número de hojas, tallos y supervivencia; ya cosechadas, se lavaron, pesaron, se midió la raíz y parte vegetativa, se separaron en sus diferentes órganos y se secaron hasta peso constante para realizarles digestión triácida y poder cuantificar los metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados que se obtuvieron fueron un porcentaje de germinación para *Trifolium repens* del 75% y 52% para *Lolium perenne*, la supervivencia en suelo de mina fue del 65% para *Lolium perenne* y 80% para *Trifolium repens*. En el suelo de ambos tratamientos se presentó un pH moderadamente ácido (5.96 para pasto perenne y 6.27 para trébol blanco), bajo porcentaje de Materia orgánica (1.26% para pasto perenne y 1.45% para trébol blanco), bajas concentraciones de fósforo (P) (0.66 mg/kg para pasto perenne y 1.1 mg/kg para trébol blanco), potasio (K) al contrario de fósforo presentó altas concentraciones (2.72 mg/kg para pasto perenne y 2.61 mg/kg para trébol blanco); zinc (59.63 mg/kg) presentó concentraciones normales en el suelo original al igual que cobre (8.37 mg/kg), plomo (57.19 mg/kg), níquel (13.01 mg/kg), para Cd (3.46 mg/kg) fue crítica. En el suelo de ambos tratamientos se presentaron concentraciones críticas de zinc en suelo de pasto perenne (43.63 mg/kg) y de trébol blanco (49.63 mg/kg); cobre (90.33 mg/kg en pasto perenne y 99.7 mg/kg en trébol blanco); plomo (83.83 mg/kg) en suelo de pasto perenne y (88.83 mg/kg) en suelo de trébol blanco) al igual que níquel (13.01 mg/kg, 13.78 mg/kg en suelo de

pasto perenne y (17.8 mg/kg) en suelo de trébol blanco), a diferencia de Cd donde no se detectó en ambos tratamientos. Se calculó un Índice de tolerancia para suelo de mina del 144.10% en ***Lolium perenne*** y 104.42% para ***Trifolium repens***, lo cual indica que ambas especies son plantas adecuadas para la recuperación de la cubierta vegetal de suelos contaminados por actividades minero – metalúrgicas.

1. INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades económicas de mayor tradición en México, practicada desde la época prehispánica y fuente de la expansión regional desde la Colonia. En el desarrollo del país fue un factor importante de modernización y avance, al suministrar insumos a prácticamente todas las industrias, entre las que destacan las de la construcción, metalúrgica, siderúrgica, química y electrónica. La actividad minera en México se realiza principalmente en los estados del norte, con clima predominantemente árido y en menor proporción en el centro del país. Los residuos, producto de la actividad minera son usualmente depositados a cielo abierto, en donde sufren procesos de intemperismo (Hernández-Acosta *et al.*, 2009).

Si por algo se caracteriza a la minería es el de depender de la extracción de recursos no renovables y finitos, y porque su localización está sujeta a la presencia de yacimientos minerales, cuya ubicación, tipo y riqueza dependen, a su vez, de los rasgos geológico-tectónicos que definen cada provincia metalogénica, determinando a su vez los ritmos de explotación y los métodos de extracción. En sus primeras etapas de desarrollo, la minería fue una actividad puramente extractiva, pero con la Revolución Industrial se transformó en una actividad industrial integrada verticalmente, ahora conocida como industria minero-metalúrgica, en virtud de que para ser utilizados, los recursos minerales necesitan forzosamente de una transformación industrial. Asimismo, la minería hace un uso intensivo pero temporal del espacio, cuyas repercusiones se extienden a largo plazo (Saavedra Silva y Sánchez Salazar, 2007).

La disposición de grandes volúmenes de residuos mineros sólidos en los suelos, tales como los depósitos de jales, puede resultar en la generación de diversos impactos ambientales, particularmente cuando su disposición, manejo y abandono son inadecuados. Estos impactos varían entre la disminución en la calidad estética del paisaje, la pérdida de hábitats naturales y de terrenos con

otros usos potenciales, la contaminación de los suelos y de las aguas con metales/metaloideos y los efectos negativos potenciales para la salud humana. La intensidad y diversidad de los impactos ambientales posibles de ocurrir a partir de un desecho minero masivo cualquiera, dependerán sin embargo de las características específicas del área de emplazamiento (ej. clima, topografía, cercanía a centros poblados, ecosistemas naturales), de las características fisicoquímicas del desecho en cuestión y de las medidas de manejo utilizadas por parte del propietario del desecho minero (Ginocchio y Leon, 2011).

Por lo que en este trabajo se pretende comprobar que el pasto perene y el trébol blanco son plantas adecuadas para la recuperación de la cubierta vegetal de suelos contaminados por actividades minero - metalúrgicas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 SUELO

El suelo es un cuerpo natural, no consolidado, compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que se caracteriza por tener horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad, constituye un recurso natural de gran importancia, que desempeña funciones en la superficie terrestre como reactor natural y hábitat de organismos, así como soporte de infraestructura y fuente de materiales no renovables (Volke *et al.*, 2005) es un elemento filtrante, amortiguador y transformador, que regula los ciclos del agua y los biogeoquímicos. Tiene la propiedad de retener sustancias mecánicamente o fijarlas por adsorción, contribuyendo a la protección de aguas subterráneas y superficiales contra la penetración de agentes nocivos. Además, promueve fenómenos de evapotranspiración o transpiración del aire a través de la

superficie, constituye, junto con el agua, el aire y la luz solar, el fundamento de la vida en los ecosistemas terrestres, alberga una gran diversidad de organismos y microorganismos, por sus características físicas, químicas y mecánicas, el suelo posee propiedades de soporte para el desarrollo de actividades forestales, recreativas y agropecuarias, además de socioeconómicas como vivienda, industria y carreteras, entre otras, es un yacimiento de materias primas, como minerales no metálicos de interés para la construcción (piedra, mármol, caliza, yeso, arena), los cuales provienen de las rocas, y minerales metálicos (blenda, galena, siderita, pirita) y combustibles fósiles como el petróleo que se encuentran en la corteza terrestre (Jaramillo, 2001).

2.2 CONTAMINACIÓN DEL SUELO.

Los contaminantes de los suelos pueden tener un origen natural o en las actividades del hombre; los de origen natural son los que afectan produciendo alteraciones en la morfogénesis de sus perfiles, como las erupciones volcánicas, terremotos, inundaciones, deslaves, etc., y los otros son aquellos en donde el hombre incorpora a los suelos materiales de desecho, por ejemplo las industrias, ya que sus desechos pueden ser transportados por lluvia o aire, alterando la composición del suelo original (Barceló y Poschenrieder, 2003).

Una de esas actividades industriales es la minería la cual en México se realiza principalmente en los estados del norte, con clima predominantemente árido y en menor proporción en el centro del país (Volke *et al.*, 2005). Los minerales se extraen y se concentran al utilizar métodos físicos, posteriormente se separa la fracción económicamente redituable por gravimetría y los materiales con baja concentración de metal se retiran en forma de lodos que contienen altas cantidades de elementos potencialmente tóxicos (EPT); estos lodos son depositados en tinajas que en México denominamos presas de jales, a cielo abierto en donde sufren procesos de intemperismo (Volke *et al.*, 2005); estos materiales

son difíciles de eliminar, ya que pueden permanecer durante décadas en el suelo e incorporarse en la cadena trófica ya que pueden acumularse en un organismo e ir ascendiendo en los eslabones tróficos del ecosistema (Kabata-Pendias, 2004).

Las plantas que crecen en zonas mineras han desarrollado mecanismos muy específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000); sin embargo, algunos metales y metaloides aunque no son esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos esenciales (Souza *et al.*, 2005). La fitotoxicidad ocasionada por las altas concentraciones de metales pesados da como resultado clorosis, crecimiento débil de las plantas y puede incluso ocasionar reducción en la captación de los nutrientes así como desórdenes en el metabolismo (Chaudri *et al.*, 2000; Broos *et al.*, 2005; Dan *et al.*, 2008).

La excavación de minas, remoción de minerales y proceso extracción de metales causan daños ambientales, en casos extremos, se destruye el ecosistema dañando tierras de cultivo, favoreciendo la erosión y contaminación de cuerpos de agua con sales solubles de elementos potencialmente tóxicos (EPT), como Zn, Cu, Pb, Ni, Cd entre otros (Volke *et al.*, 2005).

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES PESADOS

Níquel (Ni)

Es un elemento natural muy abundante, se encuentra en todos los suelos; es liberado por emisiones volcánicas, también se encuentra en meteoritos y en el suelo de los océanos. Es liberado a la atmósfera por industrias que manufacturan o usan níquel, sus aleaciones o compuestos, también son liberados por industrias que queman petróleo o carbón y por incineradores de basura (ATSDR, 2005).

Puede ser absorbido en menor concentración en los suelos y más en las plantas y llegar a ser ligeramente tóxico en estas, es un elemento móvil en sus tejidos, acumulándose preferiblemente en hojas y semillas si la concentración es alta, el efecto es tóxico, provocando clorosis, débil crecimiento, e incluso reducción en absorción de nutrientes y trastornos en su metabolismo (Prieto-García *et al.*, 2005).

Plomo (Pb)

Existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos, no es biodegradable y persiste en el suelo, aire, agua. Las fuentes de contaminación por Pb, son múltiples tales como plantas fundidoras, fábricas de baterías y algunas pinturas, Cuando es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos. Puede resultar tóxico para los sistemas endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones (ATSDR, 2005).

Aunque el plomo no es un elemento esencial para las plantas, se absorbe fácilmente y se acumula en diferentes partes de estas. El exceso de plomo provoca una serie de síntomas de toxicidad en plantas como retraso del crecimiento, clorosis, y ennegrecimiento de raíces, inhibe la fotosíntesis, altera la nutrición mineral y el balance de agua, afecta la estructura de la membrana y la permeabilidad (Akinci *et al.*, 2010).

Zinc (Zn)

Está involucrado en diversos procesos biológicos en los organismos (Wang *et al.*, 2009). Cierta cantidad de Zn es liberada al ambiente por procesos naturales, pero la mayor parte proviene de actividades humanas tales como minería, se adhiere al suelo, sedimentos y a partículas de polvo en el aire (ATSDR, 2005).

igual que otros metales pesados el exceso de Zinc puede tener efectos negativos sobre las plantas como inhibir la germinación de las semilla, crecimiento de las plantas, y causar clorosis (Wang *et al.*, 2009).

Cobre (Cu)

Se presenta naturalmente en rocas, suelo, agua y aire. Es un elemento esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida; por lo tanto se debe absorber cobre de los alimentos o bebidas que se ingieren, o del aire que respiran, este metal es liberado por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura, por liberación de aguas residuales a ríos y lagos; también es liberado desde fuentes naturales como volcanes, polvo que sopla el viento, vegetación en descomposición e incendios forestales. El cobre no se degrada en el medio ambiente. La inhalación de niveles altos de Cu puede producir irritación de nariz y garganta. La ingestión de niveles altos de este metal puede producir náusea, vómitos y diarrea. Cantidades muy altas pueden dañar el hígado y los riñones y puede causar la muerte (ATSDR, 2005).

Cadmio (Cd)

Es un elemento natural de la corteza terrestre. Todos los suelos y rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen una cantidad de este metal. El Cd, entra al suelo, agua y aire durante actividades industriales, de minería, combustión de carbón y desechos domésticos, no se degrada en el ambiente, pero si cambia de forma, no se corroe fácilmente y tiene muchos usos tales como baterías, pigmentos, revestimiento de metales y plásticos. (ATSDR, 2005). En algunas plantas el Cd es fácilmente absorbido por las raíces y se trasloca hacia hojas, se ha demostrado que este metal causa la inhibición del crecimiento de raíz, tallo y hojas; clorosis y finalmente muerte de la planta debido a reducción de

actividad enzimática, fotosíntesis, respiración, transpiración y absorción de nutrimentos (Manousaki *et al.*, 2008).

2.4. RECUPERACIÓN DE CUBIERTA VEGETAL

La recuperación de cubierta vegetal, es la práctica común en la rehabilitación de áreas donde el ecosistema original ha sido degradado ya sea por efectos naturales o antropógenos. Existen diversos estudios sobre las especies vegetales que pueden crecer en suelos contaminados por residuos de minas (Flores-Tavison *et al.*, 2003; Armienta *et al.*, 2008; Hernández-Acosta *et al.*, 2009), e información sobre las concentraciones de elementos que pueden acumular las especies (Prieto-García *et al.*, 2005; Armienta *et al.*, 2008; Hernández-Acosta *et al.*, 2009).

Marrero *et al.*, (2012) mencionan que existen 415 diferentes especies incluidas en 45 familias botánicas con capacidad para acumular selectivamente diferentes metales, en tres tipos de mecanismos fisiológicos: acumulación, indicación y exclusión, permitiéndole a la planta tolerar altas concentraciones de metales pesados que serían nocivas para otras especies vegetales. El conocer las características de las diferentes especies, ayudará a seleccionarlas adecuadamente. Así como el tipo de suelo, su variación de humedad, drenaje y todas las demás características de cada sitio que condicionan las especies a utilizar. Es decir, hay que procurar que la vegetación se adapte al medio y no se les ponga en peligro por ubicaciones poco propicias (GDF, 2001).

La selección de especies está sujeta a los objetivos de uso del suelo en correspondencia con las características específicas del sitio y que las especies pioneras que invaden las zonas afectadas deben ser consideradas en primera instancia en los planes de re vegetación (Guevara *et al.*, 2005).

Piñón *et al* (2009) señalan que en la primera fase de establecimiento de la vegetación se recomienda se establezca una cobertura estabilizadora del terreno usando una diversidad de especies herbáceas nativas o naturalizadas. Además de incluir algunas especies vegetales fijadoras de nitrógeno (Duarte, 2005).

También usualmente se realizan estudios pilotos en parcelas experimentales, en las que se ensayen con diferentes especies vegetales, se evalúan los resultados de las parcelas experimentales y se escogen las especies vegetales exitosas (Piñón *et al.*, 2009).

Los procesos de sucesión vegetal son clave en la restauración de estas funciones, de allí la importancia de una adecuada selección de las especies que puedan servir en el diseño de programas de recuperación de cubierta vegetal que resulten exitosos en el largo plazo con mínimos tratamientos posteriores (Guevara *et al.*, 2005).

Una especie vegetal debe ser elegida cuando sus condiciones biológicas la habiliten para desarrollar su actividad, aspecto importante de los procesos de re vegetación (López y Pérez, 2003). Las condiciones para la selección de las plantas son:

Climáticas: Hay que tener siempre en cuenta el clima de la zona para elegir correctamente las especies. Las condiciones climáticas están determinadas por la altura, precipitaciones, evaporación, temperatura y vientos. Es necesario abordar estas propiedades importantes por influenciar el crecimiento de las plantas.

Edáficas: El conjunto de plantas que se utilicen deben ser compatibles con la textura de los suelos (arcilloso, limoso, arenoso) en los que mejor se establece. La estructura, retención de humedad, espacio intersticial, su aireación, condiciones de drenaje, pH, materia orgánica y capacidad de intercambio

catiónico, que en conjunto determinan las condiciones para el enraizamiento (Crow, 2005). Todas estas propiedades edáficas son factores que directamente tienen influencia en el establecimiento de las plantas.

Nutrimientales: Cada especie tiene requerimientos particulares que cambian dependiendo de la etapa del desarrollo (Birchler *et al.*, 1998).

Condiciones del sistema radicular: Se debe seleccionar especies vegetales que presenten un sistema de raíces secundarias, es decir perennes.

Resistencia a plagas y especies invasoras: Por lo que el uso de plantas nativas en la vegetación aumenta las posibilidades de supervivencia de las plantas y sustitución de plantas perdidas a las infestaciones de plagas, ya que están adaptadas para defenderse de las plagas indígenas (Graber, 1999). En contraparte, las especies exóticas no están favorecidas por las condiciones locales de patógenos.

También se debe seleccionar plantas que puedan crecer en suelos que contengan niveles de iones tóxicos letales para otras especies (Fitter y Hay, 1991).

Finalmente a las condiciones atmosféricas pueden afectar a las plantas, debido a los contaminantes del aire ya que afecta negativamente a las plantas (Martínez, 2008).

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

3.1 *Lolium perenne* L.

Gramínea herbácea anual, bianual o perenne de crecimiento anual o de corta duración, sistema radical superficial concentrado en los primeros 10 a 15 cm,

es una hierba que forma matas aglomeradas (cespitoso), erecta o doblada en los nudos; presenta raíces fibrosas; hojas con limbo de hasta 22 cm de largo y 8 mm de ancho, planas, lisas en el envés, opacas y ásperas en el haz, cuando los brotes son jóvenes están plegadas, membranosas, casi transparentes, lígulas de 0.5-2.5 mm de largo y redondeado. Espiguillas solitarias sésiles, alternas de 10 a 20 mm de largo con 4 a 22 flores. Semillas (cariópside) sin arista y de tamaño medio, rodeada de la lema y pálea. Planta de hasta 100 cm de alto. Su viabilidad se mantiene con facilidad durante 4 ó 5 años. Es una de las hierbas más comúnmente sembrada para forraje, césped, y el control de la erosión, se encuentra distribuida en Aguascalientes, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Durango, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas, Baja California Norte, Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Tlaxcala, Veracruz y se ha introducido en todo el mundo (Mateo, 2005).

3.2 *Trifolium repens* L.

El trébol blanco (*Trifolium repens* L.) es cosmopolita, al aparecer en distintos ambientes dentro del clima templado húmedo. Es muy importante como forrajera, ya que es una leguminosa de excelente adaptación al pastoreo, se trata de una especie herbácea perenne. De porte rastrero, puede alcanzar una altura de hasta 40 cm, generalmente más baja (alrededor de 20 cm). Tallo rastrero con raíces en los nudos, muy ramificado, glabro a casi glabro. Hojas son glabras (sin pelos o tricomas), con el pecíolo de 5 a 25 cm de largo, foliolos 3, casi sésiles, anchamente elíptico-ovados o casi orbiculares de 1 a 3 cm de largo, frecuentemente con una marca blanca, ápice redondeado o emarginado, base cuneada, estípulas ovado-lanceoladas de 8 a 15 mm de largo.

Su inflorescencia es una umbela globosa, densa de 1-2 cm de diámetro con pedúnculos más largos que las hojas (1-6 mm de largo) con 50 a 200 flores blancas o blanco-rosadas de 6 a 10 mm de largo. Los frutos son legumbres

oblongo-lineares de 4 a 5 mm de largo con tres o cuatro semillas en forma de corazón, sumamente pequeñas y de color variable del amarillo al marrón-rojizo. En México se registró en Baja California Norte, Chiapas, Distrito Federal, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Sonora, Tlaxcala, Veracruz (Espinoza y Sarukhán, 1997).

4. JUSTIFICACIÓN

Toda actividad minera tiende a degradar intensamente las zonas en que se ubican, ya que producen movimientos de suelo y depósitos de desechos, a veces contaminantes, provocando un impacto importante en el suelo y lo primero que se afecta es la cubierta vegetal, que es el principal factor para el control de la erosión, por medio de la estabilización y mejoramiento de la estructura del suelo, aumentando su fertilidad, razón por la cual se debe recuperar esta cubierta empleando especies tolerantes a las condiciones de estrés de estos sitios (falta de agua, de nutrimentos, contaminación), por lo que se propone el empleo de una leguminosa (*Trifolium repens* L.) que aumentará la concentración de nitrógeno y de un pasto (*Lolium perenne* L.) que por su forma de crecimiento en estolón protegerá un área más amplia de suelo para evitar su erosión.

5. PREGUNTAS A RESOLVER

¿*Lolium perenne* y *Trifolium repens* se desarrollarán en suelos de mina?

¿*Lolium perenne* y *Trifolium repens* aumentarán la concentración de N, K, P en el suelo?

6. HIPÓTESIS

Lolium perenne y *Trifolium repens* se consideran aptas para la recuperación de la cubierta vegetal de suelos de mina.

7. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de *Lolium perenne* y *Trifolium repens* para la recuperación de la cubierta vegetal de suelos de mina.

7.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Evaluar el porcentaje de germinación de las semillas de las dos especies seleccionadas.

Cuantificar altura, número de hojas, número de tallos y supervivencia de los individuos semanalmente.

Analizar el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, cadmio, cobre, níquel, cinc, plomo en el suelo antes y después del tratamiento.

Analizar el contenido de cadmio, cobre, níquel, cinc, plomo en las plantas después de la cosecha.

8. ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Hidalgo es rico en yacimientos de oro, plata, cobre, zinc y mercurio, que se envían a otras entidades de México y al extranjero, para su industrialización. En el estado las compañías mineras Real del Monte y Pachuca, S.A. y Minera Atlán son las más importantes (COREMI, 1992). La ciudad de

Pachuca, Hidalgo., tiene jales de mina que resultaron de la acumulación de más de 200 años; el método de beneficio empleado en este distrito minero para la extracción del Au y Ag fue principalmente por amalgamación con Hg y por cianuración.

La Mina “La Blanca” en Pachuca Hidalgo, se encuentra a 2541 msnm, latitud $20^{\circ} 07.054'$ Norte y longitud $98^{\circ} 41.387'$ Oeste (Figura 1), en una zona accidentada que cuenta con un 60% de roca y restos de lo que fue un matorral xerófilo crasicaule (opuntias y agaves) y algunos pirules (*Schinus molle*) y con un suelo muy erosionado.



Figura 1 Área de recolecta de suelo

9. MÉTODO

Se tomaron submuestras simples al azar de 25 diferentes puntos de la mina La Blanca (el área a estudiar comprende aproximadamente 1000 m²), el suelo colectado (0 a 25 cm de profundidad) se empleó para preparar la muestra compuesta (NOM-021-RECNAT-2000), la cual se utilizó para los tratamientos y análisis.

9.1 Trabajo de vivero y laboratorio:

Se seleccionaron 100 semillas comerciales de cada especie, las cuales se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 5% por 10 minutos, posteriormente se enjuagaron con agua desionizada; se prepararon cajas Petri (colocando algodón humedecido como base y una capa de papel filtro), se colocaron 10 semillas por caja y se usó una germinadora marca Friocell modelo 111, a 80 % de humedad, 12 horas de luz y 12 de oscuridad a 28°C para la germinación.

Una vez emergida la radícula, se trasplantaron a bolsas de plástico negro de 15 x 15 cm. Para los testigos se empleó suelo de vivero y el suelo de mina como tratamiento, en ambos casos se emplearon 20 individuos, los cuales se colocaron en un bancal del vivero de la Facultad (2.80 m de largo, 1.80 m de alto y 90 cm de ancho) las muestras se etiquetaron y rotaron cada semana para que todas tuviesen las mismas condiciones ambientales. Se mantuvieron a capacidad de campo con agua destilada.

Semanalmente, se midió la altura, supervivencia número de hojas y tallos de los individuos, a la semana 24 se llevó a cabo la cosecha, las plantas se lavaron con agua desionizada para eliminar cualquier rastro del suelo, se pesaron y midieron (raíz y parte vegetativa); los individuos fueron separados en raíz, tallo, hojas, y se secaron a 50°C hasta peso constante y se molieron.

Posteriormente, las estructuras por separado (raíz, tallo y hojas) de cada tratamiento se sometieron a una digestión triácida (Radojevic y Bashkin, 1999).

Finalmente se cuantificaron los metales pesados disponibles por espectrofotometría de absorción atómica, en el equipo marca Varian Spectra 2000.

9.2 Determinación de Parámetros del suelo.

Las muestras de suelo antes y después del experimento fueron secadas, molidas, pesadas y almacenadas de acuerdo con NOM-021-RECNAT-2000 para su posterior análisis, mismo que consistió en las siguientes determinaciones:

- El pH relación suelo agua 1:2 (Etchevers, 2001).
- Textura por el método del Bouyoucos, método AS-09 de la NOM-021-RECNAT-2000.
- Materia Orgánica se realizó con el método de Walkley y Black, método AS-07 de la NOM-021-RECNAT-2000.
- Conductividad eléctrica (Etchevers, 2001).
- Densidad aparente por el método de la probeta (Gaucher, 1971).
- Densidad real por el método del picnómetro (Gaucher, 1971).
- Nitrógeno por el método micro Kjeldahl (Etchevers, 2001).
- Fósforo extractable por el método de Olsen, método AS-10 de la NOM-021-RECNAT-2000
- Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio por el método de Acetato de amonio, método AS-12 de la NOM-021-RECNAT-2000.

-Índice de tolerancia (Wilkins, 1978):

$$\frac{\text{Medida de la longitud de la raíz en solución con metal}}{\text{Medida de la longitud de la raíz en solución sin metal}} \times 100 \%$$

-Factor de traslocación (Shu *et al.*, 2002; Sung *et al.*, 2011):

Tf= C Tallos / C Raíces, donde C representa la concentración del metal en tallos y raíces.

- Determinación de Metales pesados totales (Radojevic y Bashkin, 1999) por el método de agua regia; la cuantificación se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, en un equipo marca Varian Spectra 2000.

10. RESULTADOS

Cuadro 1 parámetros físicos y químicos del suelo

Parámetros	Suelo mina	Suelo vivero	PPM (Pasto perenne mina)	PPV (pasto perenne vivero)	TBM (trébol blanco mina)	TBV (trébol blanco vivero)
pH	6.81 Neutro	5.26 Moderada mente ácido	5.96 Moderada mente ácido	4.46 Fuertemente ácido	6.27 Moderada mente ácido	4.27 Fuertemente ácido
DR (g/cc)	2.51	2.27	2.13	2.26	2.2	2.59
DA (g/cc)	1.12	0.84	1.26	0.85	1.18	0.84
Espacio poroso (%)	55.37	62.99	28.40	62.38	46.36	67.56
CE (mmhos)	0.1096 efectos despreciables de salinidad	0.27 Efectos despreciables de salinidad	0.0602 Efectos despreciables de salinidad	0.0604 Efectos despreciables de salinidad	0.0675 Efectos despreciables de salinidad	0.0927 Efectos despreciables de salinidad
MO (%)	1.53 Bajo	9.50 Muy alto	1.26 Bajo	7.71 Muy alto	1.45 Bajo	8.44 Muy alto
Clase textural	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco	Franco arcillo arenoso	Franco
% Arena	50	59.48	61.64	49.64	59.64	46.92
% Arcilla	20	7.8	36.16	19.8	20.36	17.8
% Limo	30	32.72	2.2	30.56	20	35.28
Ca (Cmol kg ⁻¹)	2.43 Baja	0.17 Muy baja	18.75 alta	16.46 alta	20.47 alta	17.63 alta
Mg (Cmol kg ⁻¹)	2.83 Media	1.49 Media	3.58 Alta	1.1 Baja	3.97 Alta	1.22 Baja
Na (Cmol kg ⁻¹)	0.17	1.45	0.86	0.46	0.89	0.64
K (Cmol kg ⁻¹)	1.2 Alta	0.15 Muy baja	2.72 Alta	2.21 Alta	2.61 Alta	1.94 Alta
N (%)	0.076 Mediana mente pobre	0.47 Extremada mente rico	0.062 Pobre	0.38 Extremada mente rico	0.071 Mediana mente pobre	0.42 Extremada mente rico
P (mg kg ⁻¹)	4.87 Bajo	4.12 Bajo	0.66 Bajo	0.14 Bajo	1.1 Bajo	0.18 Bajo
Zn (mg kg ⁻¹)	59.63	18.53	43.63	93 ⁽²⁾	49.63	68.75
Cu (mg kg ⁻¹)	8.37	17.35	90.33 ⁽²⁾	102 ⁽²⁾	99.7 ⁽²⁾	110.65 ⁽²⁾
Cd (mg kg ⁻¹)	3.46 ⁽²⁾	3.38 ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND
Ni (mg kg ⁻¹)	13.01	11.12	13.78	3.68	17.8	3.7
Pb (mg kg ⁻¹)	57.19	10.5	83.83	79.16	88.83	83.5

Nota: De acuerdo a Kabata-Pendias & Pedías (2001), (1) concentraciones normales (mg kg⁻¹) de metales en suelo: Zn 1-900, 2: Cu 2-250, 3: Cd 0.01-2.0, 4: Ni 2-750, Pb: 2-300, (2) concentraciones críticas (mg kg⁻¹) de metales en suelo: Zn: 70-400, Cu: 60-125, Cd: 3-8, Ni: 100, Pb: 100-400.

En el cuadro 1 se observan los resultados de los diferentes parámetros analizados; en suelo de mina, el pH es neutro y moderada mente ácido después de la cosecha de pasto perenne (PPM) y trébol blanco (TBM); a diferencia del suelo de vivero, que es moderada mente ácido y fuerte mente ácido después de

la cosecha de pasto perene de vivero (PPV) y trébol blanco (TBV), (NOM-021-RECNAT-2000).

La densidad aparente en suelo de distintos tratamientos, se encuentra entre los valores que presentan de manera general los suelos (0.85 a 1.9 g/cc) (Gaucher, 1971) y la densidad real se encuentra ligeramente por debajo de la que presentan la mayoría de los suelos (2.60 y 2.75 g/cc), de acuerdo a Gaucher (1971), debido a la materia orgánica.

Los suelos de los distintos tratamientos presentan efectos despreciables de salinidad (NOM-021-RECNAT-2000).

La Materia Orgánica (cuadro 1) encontrada en el suelo, (1.53% para el suelo de mina y 9.50% para suelo de vivero), disminuyó después del tratamiento, en el suelo de vivero a pesar de la disminución aún se consideran concentraciones elevadas (7.71% para PPV y 8.44% para TBV), y en el caso de suelo de mina las concentraciones disminuyeron y se siguen considerando como bajas (1.26% para PPM y 1.45% para TBM).

La clase textural del suelo de mina y vivero es franco arenoso, las de mina (PPM y TBM) son franco arcillo arenoso, y las de vivero (PPV y TBV) son franca (NOM-021-RECNAT-2000).

De los cationes intercambiables (cuadro 1), el Ca presenta concentraciones bajas y muy bajas en los suelos de mina y vivero respectivamente y altas en todos los tratamientos, en Mg las concentraciones en suelo de mina y vivero son medias, y altas en los tratamientos de mina (PPM y TBM) y bajas en las de vivero (PPM y TBM); por otro lado, el potasio (K) se mantuvo en concentraciones altas en el suelo de mina y en PPM y TBM, mientras que en suelo de vivero las concentraciones al inicio fueron muy bajas y aumentó a alta en PPV y TBV (NOM-021-RECNAT-2000).

Nitrógeno (N) es medianamente pobre en suelo de mina (cuadro 1) y trébol blanco de mina y pobre en Pasto perenne de mina (PPM), contrario a los suelos de vivero donde el suelo de los distintos tratamientos presentan una concentración extremadamente rica (NOM-021-RECNAT-2000).

El Fósforo (P) siempre presentó concentraciones bajas en los distintos tratamientos (NOM-021-RECNAT-2000).

La concentración de potasio (K) es alta en suelo de mina y se mantiene alta en PPM (pasto perenne mina) y TBM (trébol blanco mina), y en suelo de vivero es baja, y es alta en PPV (pasto perenne vivero) y TBV (trébol blanco vivero) (NOM-021-RECNAT-2000).

En cuanto a los micronutrientes, Zn, presentó concentraciones críticas en PPV y normales en el resto de tratamientos, Cu presenta concentraciones normales en los suelos de mina y vivero y concentraciones críticas en todos los tratamientos (Alloway, 1995).

Los metales pesados Ni y Pb en el suelo, mantuvieron concentraciones normales durante todo el experimento (cuadro 1), mientras que Cd comienza con concentraciones críticas, y en los tratamientos no se detectó (Alloway, 1995)

Cuadro 2 Porcentaje de germinación

Especie	Porcentaje de germinación (%)
Pasto perenne	52
Trébol blanco	75

En el cuadro 2 se observa el porcentaje total de germinación de ambas especies, la cual fue mayor por un 23% en trébol blanco (75%) que en pasto perenne (52%).

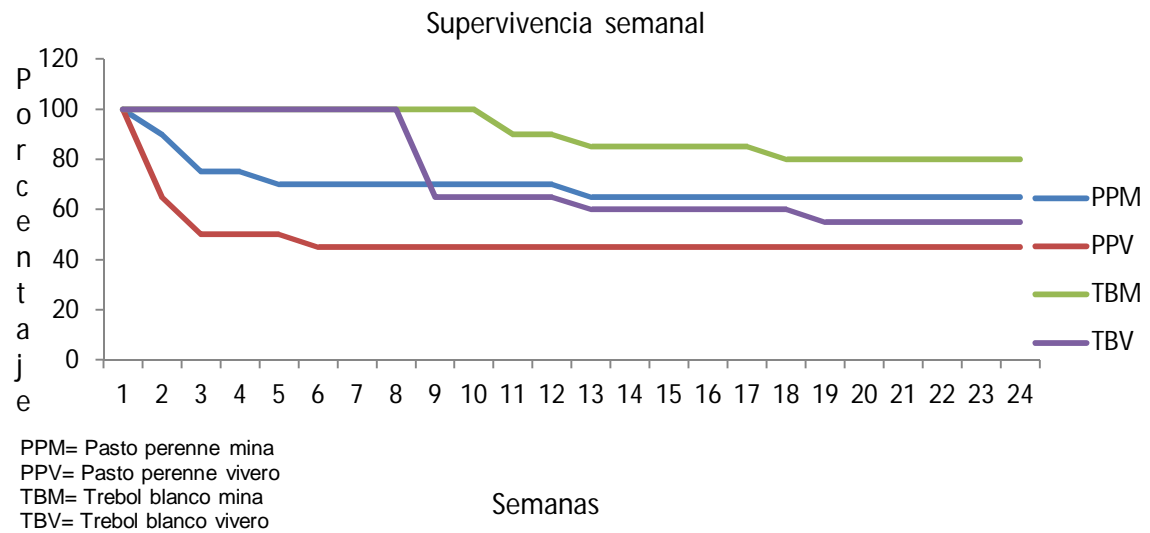


Figura 2 Supervivencia de pasto perenne y trébol blanco

En la figura 2 se observa la supervivencia semanal de ambas especies, la cual fue mayor en pasto perenne mina (PPM 65%) y trébol blanco mina (TBM 80%) que en pasto perenne (PPV 45%) y trébol blanco vivero (TBV 55%); en ambos tratamientos las plantas de mina sobrevivieron en mayor porcentaje (Anexo, figuras 6 y 7).

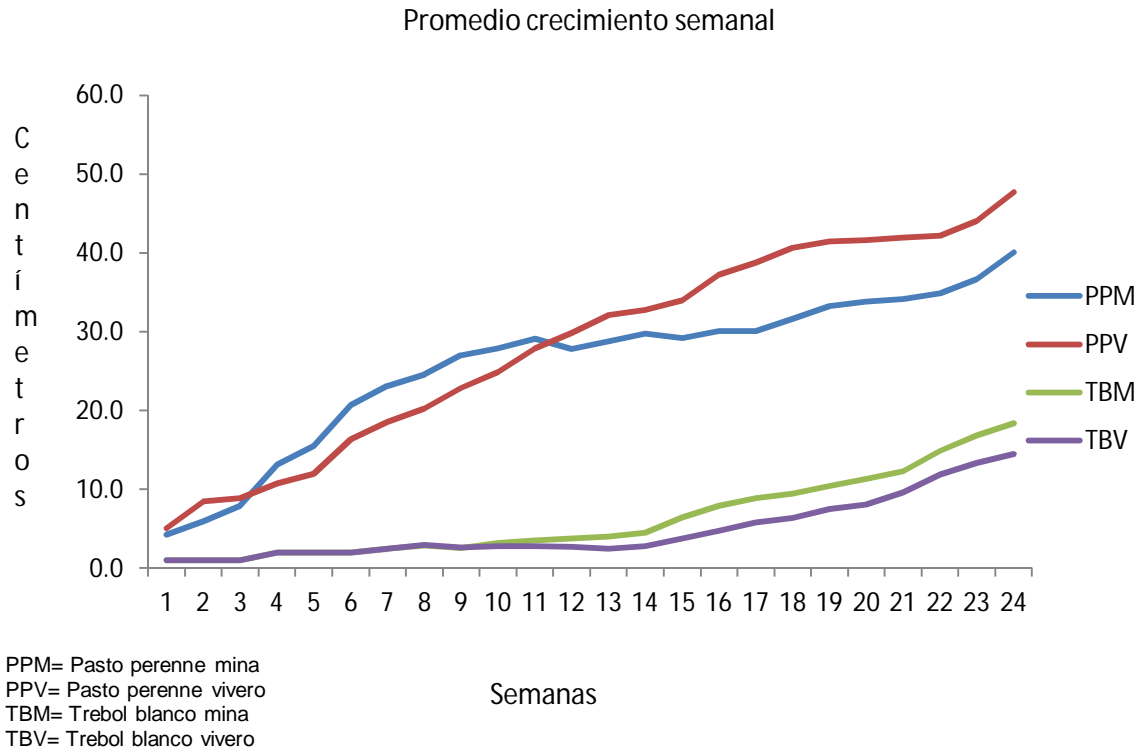


Figura 3 Crecimiento pasto perenne y trébol blanco

La figura 3 se muestra el crecimiento semanal tanto de pasto perenne como de trébol blanco, en la cual se puede apreciar que PPM presentó un crecimiento promedio de 40.07 cm, y en PPV de 47.72 cm, este desarrollo es bajo, ya que en condiciones naturales el *Lolium perenne* puede llegar hasta un metro (Moore *et al.*, 2006), en el caso de trébol blanco, el de mina (TBM) creció 18.41, y el de vivero (TBV) 14.46 cm (Anexo, figuras 8 y 9), una altura mayor que la reportada para esta especie en condiciones naturales que es de 10 cm en promedio (Muslera y Ratera., 1984).

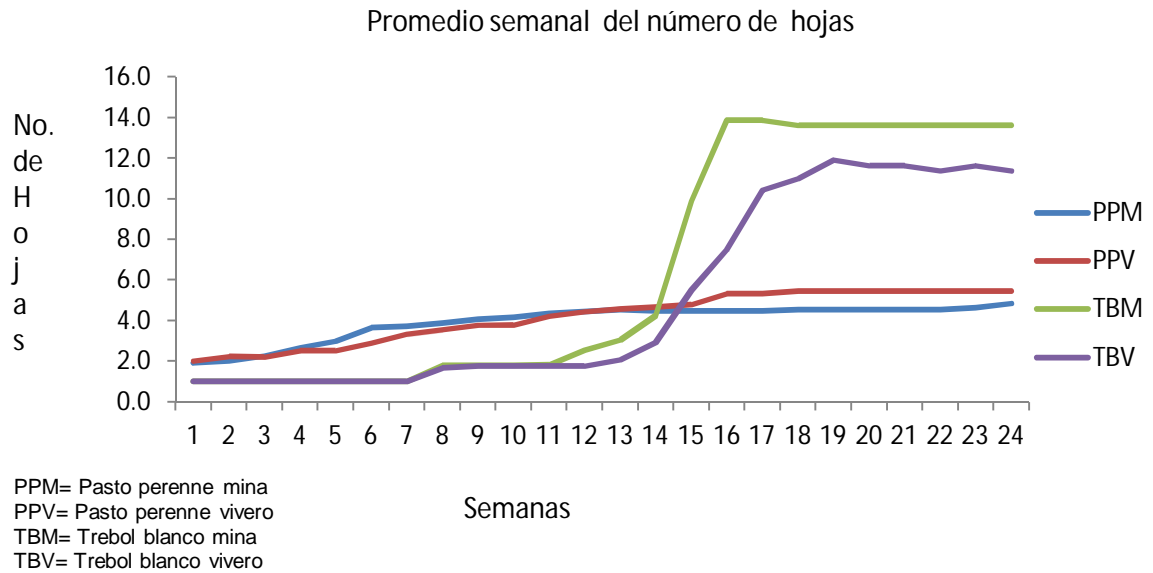


Figura 4 Número de hojas en pasto perenne y trébol blanco

La figura 4 muestra el promedio de hojas de pasto perenne de mina (PPM), pasto perenne de vivero (PPV), trébol blanco de mina (TBM) y trébol blanco de vivero (TBV); donde se observan 5.44 hojas en PPV, mientras que en PPM solo 4.84 hojas; TBM presentó un promedio de 13.62 hojas, mayor que las 11.36 presentadas por TBV; el mayor número de hojas de las plantas fue en los tratamientos de suelo de vivero.

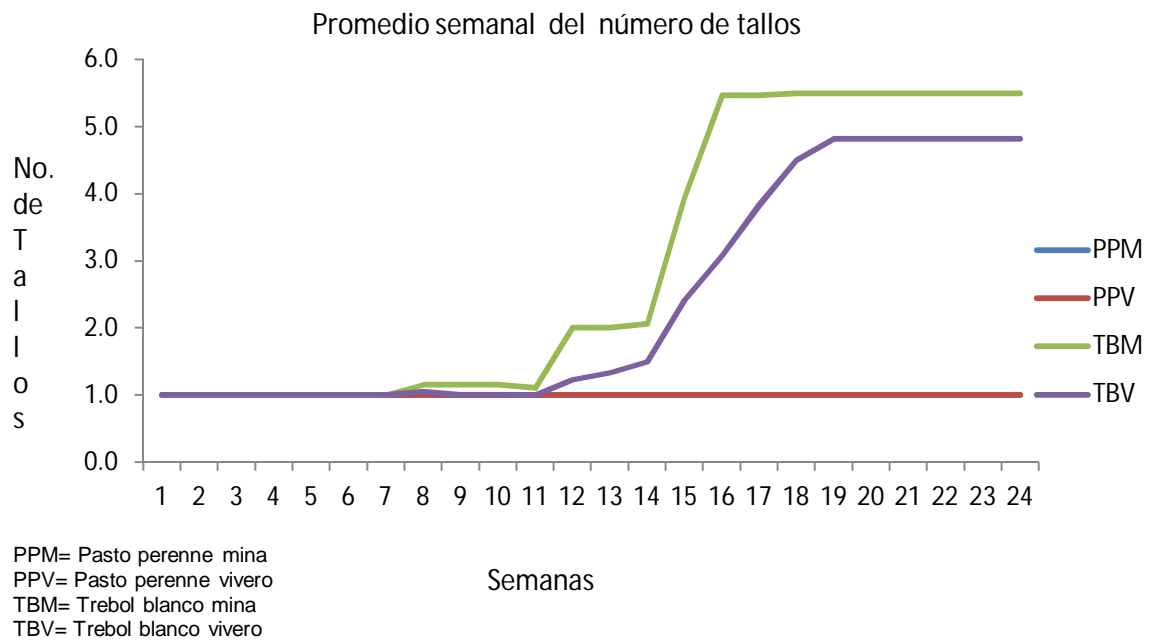


Figura 5 Número de tallos en pasto perenne y trébol blanco

La figura 5 muestra el promedio de tallos de pasto perenne de mina (PPM) y vivero (PPV) y de trébol blanco de mina (TBM) y vivero (TBV); tanto PPM como PPV presentaron un tallo durante todo el experimento, por otro lado trébol blanco presentó un promedio de 5.5 tallos en mina, mientras que en vivero 4.8 tallos.

Cuadro 3. Concentración de los micronutrientos en las diferentes estructuras de la planta

Pasto perenne	Zn mg kg⁻¹	Cu mg kg⁻¹
PPMr	58.53	62.7 *
PPMt	79.45	62.41 *
PPMh	59.18	18.2
PPVr	42.8	36.56 *
PPVt	59.44	50.63 *
PPVh	50.88	69.86 *
Trébol blanco	Zn mg kg⁻¹	Cu mg kg⁻¹
TBMr	72.8	206.5*
TBMt	51.73	106.63 *
TBMh	53.67	143.83 *
TBMr	81	43.87 *
TBVt	70.17	42.94 *
TBVh	74.64	47.01 *
Valores normales	1-400 mg kg ⁻¹	5-20 mg kg ⁻¹
Valores críticos (*)	100-400 mgkg ⁻¹	20-100 mg kg ⁻¹

Nota: PPM= pasto perenne mina, PPV= pasto perenne vivero, TBM= trébol blanco mina, TBV= trébol blanco vivero= raíz, t= tallo, h= hoja.

El cuadro 3 muestra la concentración de los micronutrientos en los diferentes estructuras de pasto perenne de mina (PPM) y vivero (PPV) como de trébol blanco de mina (TBM) y vivero (TBV), Zn no presenta concentraciones críticas en ningún tratamiento (PPM, PPV, TBM y TBV), mientras que el Cu en raíz y tallo de PPM, y en las tres estructuras de PPV, TBM y TBV es crítica.

Cuadro 4 Concentración de los metales en las diferentes estructuras de las 2 especies

Pasto perenne	Cd mg kg⁻¹	Pb mg kg⁻¹	Ni mg kg⁻¹
Raíz mina	6.93 *	114 *	18.93 *
Tallo mina	4.95	107.91 *	8.66
Hoja mina	1.83	71.33 *	9.63 *
Raíz vivero	ND	104.33 *	20.73 *
Tallo vivero	ND	83.66 *	7.9
Hoja vivero	ND	116 *	11.4 *
Trebol Blanco	Cd mg kg⁻¹	Pb mg kg⁻¹	Ni mg kg⁻¹
TBMr	ND	271.66 *	23.33 *
TBMt	ND	136 *	14.53 *
TBMh	ND	158.75 *	17.79 *
TBVr	ND	433.29 *	46.32 *
TBVt	ND	431.06 *	50.21 *
TBVh	ND	511.06 *	45.77 *
Valores normales	0.1-2.4 mg kg ⁻¹	0.2-20 mg kg ⁻¹	0.02-5 mg kg ⁻¹
Valores críticos (*)	5-30 mg kg ⁻¹	30-300 mg kg ⁻¹	10-100 mg kg ⁻¹

Nota: Kabata-Pendías & Pendías, 2001. PPM= pasto perenne mina, PPV= pasto perenne vivero, TBM= trébol blanco mina, TBV= trébol blanco vivero= raíz, t= tallo, h= hoja.

En la concentración de los metales en las diferentes estructuras de ambas especies (cuadro 4), Cd solo es crítica en raíz de pasto perenne sembrado en suelo de mina y normal en tallo y hoja (Kabata-Pendías y Pendías, 2001), la del Pb es crítica en todas las estructuras de ambas especies, tanto la del suelo de mina como de vivero, Ni es crítico en raíz y hoja en pasto de ambos tratamientos (PPM y PPV), al igual que en todas las estructuras de trébol de ambos tratamientos (TBM y TBV).

Cuadro 5 Secuencia de acumulación

	PPM	PPV	TBM	TBV
Cd	r>t>h			
Pb	r>t>h	r>t>h	r>h>t	h>r>t
Ni	r>h>t	r>h>t	r>h>t	t>r>h

Nota: PPM= pasto perenne mina, PPV= pasto perenne vivero, TBM= trébol blanco mina, TBV= trébol blanco vivero= raíz, t= tallo, h= hoja.

El cuadro 5 muestra la secuencia de acumulación de los metales Cd, Pb y Ni en las estructuras de ambas especies, en la cual Cd solo se presenta en pasto perenne de mina (PPM) en donde la concentración más elevada es raíz, siguiéndole tallo y finalizando en hoja.

Pb presenta el mismo orden de acumulación en ambos suelos de pasto perenne (PPM y PPV) en la que la mayor concentración fue en raíz, después en tallo y al último en hoja, para trébol blanco el orden de acumulación fue distinto que el de pasto perenne en ambos tratamientos en mina (TBM) la concentración más alta es en raíz, después hoja y al último tallo, contrario a vivero (TBV) donde la concentración más alta fue en hoja, seguido de raíz y al final tallo.

Ni presenta el mismo orden de acumulación para PPM, PPV y TBM, donde la concentración más alta se dio en raíz, seguido de hoja y la menor en tallo, para TBV el orden de concentración cambio a tallo como la más alta, después raíz y al último hoja.

Cuadro 6 Factor de traslocación (FT) e Índice de tolerancia (IT)

	PPM	PPV	TBM	TBV
FT Zn	1.35*	1.38*	0.71	0.86
FT Cd	0.71	ND	0.29	1.08*
FT Pb	0.94	0.80	0.50	0.99
FT Cu	0.99	1.38*	2.31*	0.97
FT Ni	0.45	0.381	0.62	1.08*
Índice de tolerancia		144.10		104.42

Nota: De acuerdo a Wilkins (1978) índice de tolerancia: Tolerante: 0-0.5, Acumuladora: 0.51-1.0, Hiperacumuladora: >1, *=hiperacumuladoras. PPM= pasto perenne mina, PPV= pasto perenne vivero, TBM= trébol blanco mina, TBV= trébol blanco vivero

El cuadro 6 muestra el factor de traslocación e índice de tolerancia de pasto perene de mina (PPM) y vivero (PPV) como de trébol blanco de mina (TBM) y vivero (TBV). De acuerdo al factor de traslocación: PPM es tolerante para Ni, acumuladora para Cd, Pb y Cu, e hiperacumuladora para Zn, PPV es tolerante para Ni, acumuladora para Pb, hiperacumuladora para Zn y Cu, TBM es tolerante para Cd y Pb, acumuladora para Ni y Zn, e hiperacumuladora para Cu, TBV es acumuladora para Zn, Pb y Cu, e hiperacumuladora para Cd y Ni.

11. DISCUSIÓN

El pH es uno de los parámetros más importantes para diagnosticar los problemas de crecimiento de las plantas (Jiménez, 2004), existen evidencias de que tienen poco o ningún efecto directo sobre el crecimiento de estas, permaneciendo favorables las variaciones de las concentraciones de H^+ y OH^+ a lo largo de un amplio intervalo; el pH obtenido en suelo (cuadro 1) muestra valores neutros moderadamente y fuertemente ácidos (6.81-4.27), este influye en la tasa de liberación de nutrimentos por meteorización, en la solubilidad de todos los materiales del suelo, la proporción en que estos son absorbidos por las plantas y en la cantidad de iones nutritivos almacenados en el sitio de intercambio catiónico; por lo que a través de él se puede predecir cuales son los nutrimentos que tienen deficiencia (Kidd *et al.*, 2007) .

El análisis de conductividad eléctrica establece si las cantidades existentes de sales en el suelo están presentes en un valor que pueda producir interferencia en el desarrollo normal de la vegetación. Los datos obtenidos muestran efectos despreciables de salinidad en los suelos de ambas especies (cuadro 1), dada la baja conductividad eléctrica, la aireación y la retención de humedad no se ve afectada, no se afecta la humedad disponible para la planta además de que no representa variaciones desfavorables de pH al no reducir la solubilidad de los nutrimentos y por consiguiente su disponibilidad para la planta (Villegas *et al.*, 2007)

Los valores de DA (cuadro 1) se encuentran dentro de los que se presentan de manera general en todos los suelos (0.85 a 1.9 g/cc); la densidad aparente junto con la textura permite inferir la facilidad de movimiento del agua y del aire dentro del suelo, (% espacio poroso), la dificultad para el desarrollo de las raíces de las plantas y la presencia de microorganismos (hongos, bacterias), que ayudan a la descomposición de la materia orgánica (Plaster, 2004). Se puede decir que a menor densidad aparente el espacio poroso es mayor.

La clase textural del suelo influye en el contenido de oxígeno libre, porcentaje de humedad, movimiento y la disponibilidad del agua del suelo, la aireación, disponibilidad de nutrimentos, resistencia a la penetración por las raíces, también tiene influencia sobre las propiedades físicas relacionadas con la susceptibilidad del suelo a la degradación tal como la agregación (Casanova *et al.*, 2004). En el suelo de mina la clase textural es la franco arcillo arenosa, la cual es una textura fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos y en estado húmedo al oprimirse formará una cinta que se romperá fácilmente al sostener su propio peso (Casanova *et al.*, 2004). En el caso de suelo de vivero la clase textural dominante es la franca, la cual es una mezcla relativamente uniforme de las diferentes partículas que conforman el suelo, y es blanda o friable dando una sensación de aspereza, además es bastante suave y ligeramente plástico (Casanova *et al.*, 2004), lo cual nos indica que son suelos permeables, que permiten el paso del agua y del aire sin dificultad y que retienen en sus partículas la cantidad de agua necesaria para las plantas facilitando la penetración de las raíces y su desarrollo (Urrutia, 1982).

Un suelo con adecuada cantidad de materia orgánica tiene buena estructura, por lo que las plantas aprovechan el agua, prosperan, mejora la textura y estructura, lo que favorece la aireación, capilaridad y permeabilidad y evita la erosión (Julca *et al.*, 2006), además de reducir su densidad, elevar la capacidad de amortiguamiento de pH, elevar su CIC, brindarle al suelo una coloración oscura, ser fuente de carbono (aproximadamente 40% de C) (Muñoz *et al.*, 2000), esta es baja en suelo de mina (1.53% al inicio) y se reduce a 1.26% en el suelo de pasto perenne y 1.45% en suelo de trébol blanco.

El porcentaje de nitrógeno y el contenido de fósforo son deficientes en los suelos de mina tanto en los testigos como en los tratamientos (cuadro 1), estas concentraciones no aumentaron debido a que el porcentaje de materia orgánica fue bajo (cuadro 1), por lo que ***Lolium perenne*** y ***Trifolium repens*** padecieron de estrés nutrimental (Meter, 1992); a pesar de esto ambas especies lograron una

mayor supervivencia en suelo de mina (65% y 80% respectivamente) que en suelo de vivero (45% y 55% respectivamente), el potasio se encontró en concentraciones altas; los nutrimentos como N, P, K y otros compuestos se encuentran en un estado dinámico en el suelo, se añaden o remueven de manera continua mediante diversas vías (Muñoz *et al.*, 2000).

Los nutrimentos son importantes para las funciones nutricionales de las plantas, ya que están presentes en diversos compuestos que forman parte de los procesos de transferencia de energía: fotosíntesis, conversión de carbohidratos, la glucólisis, grasas y aminoácidos entre otros (D'Attellis, 2005); si estos se llegaran a encontrar en concentraciones excesivas, producirán un efecto negativo al inhibir la formación de nódulos, puede detener su crecimiento y su producción es menor (D'Attellis, 2005).

Las concentraciones de Zn y Cu en suelo de mina antes de los tratamientos fueron normales, manteniéndose así hasta la cosecha el Zn, y el Cu presentó concentraciones críticas (cuadro 1); estos nutrimentos son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por las plantas y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital (Prieto-García *et al.*, 2005).

De los metales pesados presentes en el suelo de mina (Cd, Pb y Ni), plomo (Pb) en todo momento presentó concentraciones normales, al igual que níquel (Ni), mientras que en cadmio (Cd) se determinaron concentraciones críticas en el suelo antes del trasplante y no se detectó después de la cosecha de las plantas; metales como el cadmio y plomo no se les conoce una función biológica (Prieto-García *et al.*, 2005). Los metales pueden provocar efectos negativos en algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como son disminución de nutrimentos, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultar el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo y la dispersión de los

contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo (Sierra, 2006).

La mayor acumulación de metales pesados en plantas, se dio principalmente en las raíces, en todos los tratamientos excepto trébol blanco de vivero para Pb y Ni donde la mayor acumulación fue en hojas y tallo respectivamente, estas diferencias, pueden ser atribuidas precisamente a la capacidad de retención del metal por el suelo de cultivo y a la interacción planta-raíz- metal y al metabolismo vegetal propio (Vig *et al.*, 2003). Yurekli y Porgali (2006) sugieren que la acumulación de metales pesados en las raíces es el resultado de un mecanismo de tolerancia que desarrolla la planta para evitar su estrés y que lleguen al tallo y hojas, esto sucedió en las dos especies, donde la concentración en tallo fue menor que en raíz (cuadro 4) para el caso de Pb y Ni, el Cd solo se detectó en raíz de pasto de mina.

El crecimiento de *Trifolium repens* fue mayor en suelo de mina que en el de vivero (18.4 cm y 14.5 cm respectivamente), mientras que *Lolium perenne*, presentó mayor crecimiento en suelo de vivero que en mina (47.7 cm y 40.1 cm), se debe considerar que los metales restringen el crecimiento de las plantas, su presencia potencialmente limita la absorción de los nutrimentos, lo que provoca una tasa de crecimiento lenta (Briz, 2004) y este retraso se refleja en el decremento del número de hojas, área foliar, raíz y longitud del tallo, así como de la biomasa total (Triphati *et al.*, 2004).

Se obtuvo un índice de tolerancia de 144.10% para *Lolium perenne* y 104.42% para *Trifolium repens*, lo cual indica que ambas especies son tolerantes a un suelo afectado por actividad minera, debido principalmente a la acumulación de metales pesado en la raíz. El grado de tolerancia está gobernado principalmente por la concentración del metal y la capacidad para acumular los metales varía entre las diferentes especies y variedades y se ve afectado por las

diversas condiciones edáficas, la tolerancia a los metales en plantas superiores está sistemáticamente relacionada con el género o aún con la familia (Yoon *et al.*, 2006).

Ambas especies (cuadro 6) no solo resultaron ser tolerantes a los metales pesados que se encuentran en el suelo de mina, sino a la deficiencia de nutrientes; con respecto a los metales se observó que ***Lolium perenne*** es hiperacumulador de Zn, tolerante al Ni y acumulador de Cd, Pb y Cu, mientras que ***Trifolium repens*** es hiperacumulador para Cu y acumuladora para el resto de los elementos (Shu *et al.*, 2002; Sung *et al.*, 2011).

Este trabajo representa un aporte importante de información experimental para el establecimiento de cubiertas vegetales para sitios afectados por actividad minero-metalúrgica, por lo que las dos especies son aptas para la recuperación de la cubierta vegetal. El éxito en el establecimiento de la cubierta vegetal es el resultado de la adecuada elección de especies por su resistencia a condiciones de estrés, biología, selección en el vivero, buen manejo en la siembra, adecuadas propiedades del suelo y riego asistido (Briz, 2004).

12. CONCLUSIONES

Tanto *Lolium perenne* como *Trifolium repens* a pesar de haber tolerado deficiencia en nitrógeno, fósforo y elevada concentración de metales pesados, especies crecieron y sobrevivieron en suelo de mina.

El Nitrógeno (N) se mantuvo de medianamente pobre a pobre, el fosforo (P) presentó una disminución notoria y el potasio (K) aumentó de concentración después del tratamiento en el suelo de *Lolium perenne* y *Trifolium repens*.

Trifolium repens en suelo de mina presentó mayor crecimiento a lo reportado para esta especie, mostrando que es idónea para emplearse en la recuperación de la cubierta vegetal.

13. LITERATURA CITADA

- Akinci, E., Akinci, S. & Yilmaz, K. (2010). Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to lead toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll and water content. *African Journal of Agricultural Research*, 5, 416-423 pp.
- Alloway, B.J. (1995). *Heavy metals in soils*. John Wiley & Sons. Reino Unido. 339 pp
- Armienta, M.A., Ongley, L.K., Rodríguez, R., Cruz, O., Mango, H. & Villaseñor, G. (2008). Arsenic distribution in mesquite (*Prosopis laevigata*) and huizache (*Acacia farnesiana*) in the Zimapán mining area, México. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 8, 1-7 pp.
- ATSDR (Agency for toxic substances and disease registry). (2005). Public Health Assessment Guidance Manual, U. S. Department of Health and Human Services, Atlanta Georgia
- Barceló, J & Poschenrieder, C. (2003). "Phytoremediation: principles and perspectives". *Contributions to Science*, 2, 333-344 pp.
- Birchler, T., Rose, R., Royo, A. & Pardos, M., (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación agrícola: sistema de recursos forestales*, 7, 109-122 pp.
- Briz, J. (2004). *Saturación Urbana, Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental*. Segunda edición. Editorial Mundi-Prensa. España. 183-223 pp.
- Broos, K., Beyens, H. & Smolders, E. (2005). Survival of rhizobia in soil is sensitive to elevated zinc in the absence of the host plant. *Soil, Biology and biochemistry*, 37, 573-579 pp.

- Casanova, M., Vera, W., Luzio, W. & Salazar, O. (2004). *Edafología Guía de clases prácticas*. Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos, Universidad de Chile 75 pp.
- Chaudri, A.M., Allain, C.M., Barbosa-Jefferson, V.L., Nicholson, F.A. Chambers, B.J. & Mc-Grath, S.P. (2000). A study of the impacts of Zn and Cu on two rhizobial species in soils of a long term field experiment. *Plant Soil*, 22, 167-179 pp.
- COREMI (Consejo De Recursos Minerales). (1992). Monografía geológico-minera del Estado de Hidalgo. Consejo de Recursos Minerales. Pachuca, Hidalgo. México. 58-61 pp.
- Crow, P., (2005). The influence of soils and species on tree Root Depth. Forestry commission. Edinburgh. 8pp.
- Dan, T., Hale, B., Johnson, D., Conard, B., Stiebel, B. & Veska, E. (2008). Toxicity thres holds for oat (*Avena sativa* L.) grown in Ni-impacted agricultural soils near Port Colborne, Ontario, Canada. *Soil Science*. 88, 389-398 pp.
- D'Attellis, R., (2005) Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Producción de semilla, Tinogasta, Catamarca. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo Ministerio de Producción y Desarrollo Gobierno de la Provincia de Catamarca. Buenos Aires, Argentina. 47 pp.
- Duarte, Z. (2005). Establecimiento de la cubierta vegetal arbórea (con el género *Acacia* sp) en un sitio de disposición final post-clausura; Parque Recreativo Cuitlahuac. Tesis de licenciatura FES-Zaragoza. UNAM. México D. F.

- Espinoza, F y Sarukhan, J. (1997). Manual de Malezas del Valle de México. UNAM/FCE. 407 pp.
- Etchevers, B. (2001). Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos. IRENAT. Colegio de Posgraduados. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. 65 pp.
- Fitter, A. H & Hay, R. K. (1991). *Environmental physiology of plants*. Academic Press. Great Britain. 367 pp.
- Flores-Tavison, E., Alarcón-Herrera, M. T., González, E. S. & Olguín, E. J. (2003). Arsenic tolerating plants from mine sites and hot springs in the semi-Arid region of Chihuahua. México. *Acta Biotechnol*, 23, 113-119 pp.
- Gaucher, G. (1971). *El suelo y sus características agronómicas*. Edit. Omega. 647 pp.
- GDF. (2001). *Manual de reforestación del Distrito Federal*. Gobierno del Distrito Federal Iztapalapa. México D.F.
- Ginocchio, R y Leon, L. P. (2011). Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile, *Ciencia e Investigación Agraria*. 36(3), 239-252.
- Graber, C.T. (1999). Guide to vegetative covers for California landfills. Bryan A Stirrat and Associates. University of California Press.
- Guevara, R., Rosales, J. & Sanoja, E. (2005). Vegetación pionera sobre rocas, un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería de hierro. *Interciencia*, 30, (10) 644-652 pp.

- Hernández-Acosta, E., Mondragón-Romero, E., Cristobal-Acevedo, D., Rubiños-Panta, J. y Robledo-Santoyo E. (2009) vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México, *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente, 15, 109-114 pp.
- Jaramillo, D. (2001). *Introducción a la ciencia del suelo*. Escuela de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 590 pp.
- Jiménez, I. (2004). Evaluación de la concentración de metales pesados en suelo y hortalizas de la zona chinampera de Xochimilco. FES Zaragoza. Tesis de licenciatura UNAM.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R. & Bello, S., (2006). *La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura*. IDESIA Chile 24, 49-61 pp.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H., 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kabata-Pendias, A. (2004). Soil-plant transfer of trace elements: an environmental issue. *Geoderma*, 122, 143-149 pp.
- Kidd P, S., Becerra, C. C., García, L. M., Monterroscó C. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum L.* *Ecosistemas*, Vol. 16, N^o. 2, 26-43 pp.
- Lasat, M. (2000). Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal Hazardous Substance Response Trust Fund*, 2, 1-25 pp.

- López, S. M. & Pérez, M. C. 2003. El Género *Acacia*. Una alternativa para recuperar la cubierta vegetal arbórea, en el sitio post clausura. Parque Recreativo Cuitlahuac. Tesis de licenciatura en Biología. FES-Zaragoza UNAM. México. D, F.
- Manousaki, E., Kadukova, J., Papadantonakis, N. & Kalogerakis, N. (2008). Phytoextraction and phytoexcretion of Cd by the leaves of *Tamarix mymensis* growing on contaminated non-saline and saline soils. *Environmental Research*, 106, 326-332 pp.
- Marrero, C. J., Amores, S. I. & Coto, P. O. (2012). Fitorremediación una tecnología que involucra a las plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental, *ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar*, Vol 46, 52-61 pp.
- Martínez, G. L. (2008). *Árboles y áreas verdes urbanas de la Ciudad de México y su zona metropolitana*. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fundación Xochitla, A.C. Editor. México.
- Mateo, J. M. (2005). *Prontuario de agricultura*. Cultivos agrícolas. Mundi Prensa. España. 941 pp.
- Meter, H. R. (1992). *Biología de las plantas*. Ed. Reverte, España Barcelona. 402 pp.
- Muñoz, I. M. C., López G., Soler, A. y Hernández, M. (2000). *Edafología, Manual de Métodos de Análisis de Suelos*. FES-Iztacala. UNAM México D. F.
- Moore, G., Sandford, P. & Wiley, T. (2006). Perennial pastures for Western Australia Department of Agriculture and Food Western Australia, Bulletin 4690, Perth.

- Muslera Pardo, E. y Ratera García, C. (1984). *Praderas y forrajes*, Mundi Prensa Libros S.A. 702 pp.
- Norma oficial Mexicana NOM-201-RECNAT-2000, Norma Oficial Mexicana. Diario Oficial de la Federación, segunda sección. 31 de Diciembre de 2002. 82 pp.
- Piñón, G., Sanfeliu, T., Meseguer, S. & Jordán, M. (2009). La revegetación vegetal y paisajista en suelos degradados por vertidos de residuos. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Universidad del Norte. España.
- Plaster, E. J., 2004. *La ciencia del suelo y su manejo*. Ed. Paraninfo. México 419 pp.
- Prieto-García, F., Callejas, H. J., Lechuga, M. A., Gaytán, J.C. y Barrado, E.E. (2005). Acumulación en tejidos vegetales de Arsénico provenientes de aguas y suelos de Zimapán estado de Hidalgo, México. *Bio agro*, 17:129-135 pp.
- Radojevic, M. & Bashkin, V. N. (1999). *Practical environmental analysis* The Royal Society of Chemistry. U. K. 466 pp.
- Saavedra Silva, E. E y Sánchez Salazar, M.T. (2007). Minería y espacio en el distrito minero Pachuca-Real del monte en el siglo XIX. 20 pp.
- Shu, W., Ye, Z., Lan, C., Zhang, Z. & Wong, M. (2002). Lead, zinc and copper accumulation and tolerance in populations of *Paspalum distichum* and *Cynodon dactylon*. *Environmental Pollution Journal*, 120, 829-835 pp.

- Sierra, V. (2006). Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial. Tesis (Ingeniero Agrícola y Ambiental). Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" División de Ingeniería.
- Souza, F.J., Dolder, H. & Cortelazzo, A.L. (2005). Effect of excess cadmium and zinc ion son roots and shoots of maize seedlings. *Journal Plant Nutrition*, 28, 1923-1931 pp.
- Sung, M., Lee, C. & Lee, S. (2011). Combined mild soil washing and compostassisted phytoremediation in treatment of silt loams contaminated with copper, nickel, and chromium. *Journal of Hazardous Materials*, 190, 744-754 pp.
- Tripathi, R. D., Vajpayee, P., Singh, N., Rai, U. N., Kumar A., Ali, M. B., Kumar, B. & Yunus, M., (2004). Efficacy of various amendments for amelioration of fly-ash toxicity: growth performance and metal composition of *Cassia siamera Lamk*. *Chemosphere* 5: 1581-1588 pp.
- Urrutia, C. S. (1982). *Conocimiento del suelo agrícola*. Centro nacional de productividad de México A. C. Programa de productividad agropecuaria. México, D. F.
- Vig, K., Megharaj, M., Sethunathan, N. & Naidu, R. (2003). Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review. *Advances in Environmental Research*, 8, 121-135 pp.
- Villegas, O., Acosta, C., Alia, I., Lopez, V. y Andrade, M. (2007). Influencia de la presión osmótica de la solución nutritiva en la absorción de macronutrientes. *Investigación Agropecuaria*, 4, 25-30 pp.

- Volke Sepúlveda, T., Velasco, T. J. y David, A., (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. Instituto nacional de ecología, Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. México, DF, 141 pp.
- Wang, C., Zhang, S., Wang, P., Hou, J., Zhang, W., Li, W. & Lin, P. (2009). The effect of excess Zn on mineral nutrition and antioxidative response in rapessed seedlings. *Chemosphere*, 75, 1468-1476 pp.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. & Ma, L. Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 368: 456-464 pp.
- Yurekli, F & Porgali, Z. B. (2006). The effects of excessive exposure to copper in vean plants. *Acta Biological Cracov Botany*, 48, 7-13 pp.

ANEXO



Figura 6. Supervivencia de pasto



Figura 7. Supervivencia de trébol

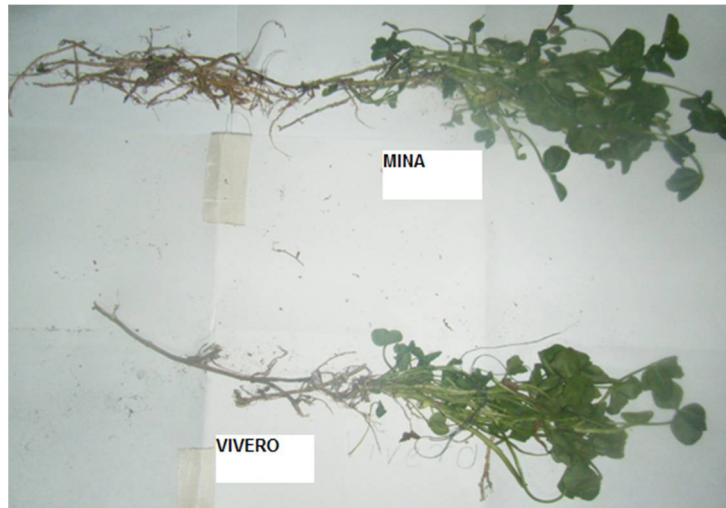


Figura 8 Altura de trébol testigo y mina



Figura 9 Altura de pasto testigo y mina