

**POSGRADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISION DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA**

**“FITOEXTRACCIÓN DE METALES EN SUELOS
CONTAMINADOS POR LA MINERÍA”**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS E
INGENIERÍA AMBIENTALES**

**L.C.A. ANTONIO RAFAEL IBARRA GARCÍA
MATRÍCULA: 2143808586**

ASESORAS

**DRA. VIOLETA MÚGICA ÁLVAREZ
DRA. ICELA DAGMAR BARCELÓ QUINTAL**

CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE 2017.

AGRADECIMIENTOS:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por la beca otorgada para mi titulación.

A la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco por todos los servicios y facilidades otorgadas, uso de instalaciones aulas y equipos para llevar a cabo mi tesis.

Al Área de Química Aplicada, en especial a la Dra. Violeta Mugica Álvarez, por proveer todos los recursos y los medios para el desarrollo de esta investigación, así como en la dirección de esta tesis y a I.Q. Claudia Adriana Martínez Reyes por su apoyo incondicional en el laboratorio.

Al Área de Química y Físicoquímica Ambiental de la UAM Azcapotzalco, en especial a la Dra. Icela D. Barceló Quintal por su dirección y transmisión de conocimientos de la tesis y a la M en C. Julissa García Albortante por su apoyo incondicional en la determinación de los análisis químicos.

A todos los Doctores y personal de la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid, por aceptarme y apoyarme en la determinación de los análisis físicoquímicos y químicos y hacer de mi estancia de lo mejor en España.

DEDICATORIA:

A mis padres que son el pilar de mi formación, por su gran apoyo en todos los sentidos y en todo momento que lo necesité, por su cariño, paciencia y amor, por creer en mí siempre y motivarme cada día para concluir de manera satisfactoria mis estudios, ya que gracias a ellos soy lo que soy.

A mis hermanas y hermano por su apoyo, por sus buenos consejos y sus ánimos en todo momento que lo necesité para no perder la calma y seguir adelante hasta el final.

A la Dra. Violeta Mugica Álvarez por su valioso tiempo y espacio, por sus conocimientos y sus consejos, por su paciencia y creer en mí para llevar a cabo ésta tesis, por considerarme y facilitarme la estancia en España para mi formación en la Maestría y demás apoyos aquí en la Universidad.

A la Dra. Icela D. Barceló Quintal por su valioso tiempo, por su espacio y abrirme las puertas de su casa para trabajar arduamente en la elaboración de la tesis, por sus conocimientos y asesorándome y aconsejándome hasta el último día.

A la familia Heredia Sierra, por abrirme las puertas de su casa y confiar en mí, por hacerme sentir como en mi casa y uno más de su familia a lo largo de éste tiempo que duraron mis estudios de Maestría.

A mis amigos que me ayudaron y me animaron siempre para hacer esto posible estando lejos de mi tierra y que aún siguen conmigo en las buenas y en las malas.

A toda la gente tan maravillosa que conocí a lo largo de mi estancia en España y en los últimos días que estuve allá, que fueron parte de mi motivación para hacer las cosas con más empeño y dedicación, a los cuales les tengo mucho aprecio y cariño aunque se encuentren lejos.

Con mucho aprecio, respeto, cariño y admiración les dedico ésta tesis a cada uno de ustedes que fueron parte de ésta tesis.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO 1.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 2.....	5
ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y ESTADO DEL ARTE	5
2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. JUSTIFICACIÓN.....	7
2.3. ESTADO DEL ARTE	8
CAPÍTULO 3.....	10
HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	10
3.2. OBJETIVOS.....	10
3.2.1. Objetivo General.....	10
3.2.2. Objetivos Específicos.....	10
3.3. Desarrollo del Proyecto.....	11
3.4. Recursos Empleados y Áreas de Trabajo	11
CAPÍTULO 4.....	12
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	12
4. METODOLOGÍA:.....	12
4.1.- Descripción del área de estudio.....	12
4.2. Recolección de muestras de suelo en los diferentes sitios.	13
4.3. Recolección de muestras de plantas nativas.....	18
4.4.- Análisis fisicoquímico de las muestras.....	20
4.4.1. Caracterización Física y Fisicoquímica.....	20
4.4.1.1. Color.....	20
4.4.1.2. Determinación de la Humedad.....	21
4.4.1.3. Análisis Granulométrico de la Fracción Mineral.....	21
4.4.1.4. Determinación de la salinidad	22
4.4.1.6. Conductividad Eléctrica (CE).	23

4.5. Caracterización Química en Suelos y Plantas Nativas.....	24
4.5.1. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	24
4.5.2. Determinación de la Materia Orgánica (MO) y el Carbono Orgánico (CO) en los jales y suelos.....	24
4.5.3.- Determinación de la Materia Orgánica (MO) en las Plantas Nativas (Pérdida por Calcinación).....	24
4.5.4.- Determinación de C, H y N.....	24
4.5.5.- Biodisponibilidad de metales presentes en suelos.....	24
4.6. Estudio de la fitoextracción de Cd, Cu, Pb y Zn mediante Lolium perenne (Pasto Inglés).	25
4.6.1. Metodología Experimental.....	25
4.6.2. Preparación de las plantas para el análisis de metales bioacumulados.....	27
4.6.2.1. Secado y trituración de las plantas.....	27
4.6.2.2. Digestión de las muestras de suelo.....	27
4.6.2.3. Digestión de las muestras de plantas.....	28
4.6.2.4. Determinación de los metales por Absorción Atómica.....	29
CAPÍTULO 5.....	30
RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SU INTERPRETACIÓN.....	30
5.1. INDICADORES FÍSICOS Y FISICOQUÍMICOS.....	30
5.1.1. Color:.....	30
5.2. Humedad:.....	30
5.3. Análisis Granulométrico de la Fracción Mineral.....	31
* Se presentan los valores en g, considerando un peso total de 100 g.....	32
5.4. Salinidad.....	32
5.6.- Conductividad Eléctrica (CE).....	33
5.7.- Resultados del Potencial de Hidrógeno (pH).....	33
5.8. Determinación del Carbono Orgánico (CO) y Materia Orgánica (MO) en suelos.....	34
5.9. Materia Orgánica en Plantas Nativas (Método de pérdida por calcinación).....	35
5.10. Disponibilidad de metales presentes en suelos mediante EDTA y CaCl ₂	35
5.11. Determinación de C, H y N (Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno) en suelos.....	36
5.12. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	36
5.3. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN JALES Y SUELOS ...	37
5.3.1. Determinación de la concentración de metales en los jales y suelos.....	37

5.4. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN LAS PLANTAS NATIVAS.....	43
CAPÍTULO 6.....	81
CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA Y APÉNDICES	81
6.1 CONCLUSIONES:.....	81
6.2 BIBLIOGRAFÍA:	83
6.3 APENDICES:.....	88
Apéndice A, Color:.....	88
Apéndice B, Humedad:.....	89
Apéndice C, Determinación de CO y MO en jales y suelos:	89
Apéndice D, Determinación de MO en Plantas:	91
Apéndice E, Determinación de CHN:	92
Apéndice F. Determinación de los metales por Absorción Atómica:.....	93

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se llevó a cabo un estudio sobre el impacto ambiental que existe en los suelos y en el medio de la cabecera municipal de Noria de Ángeles, Zacatecas y sus alrededores, ya que se encuentra muy de cerca grandes depósitos de desechos mineros, los cuales son producto de la actividad minera que tuvo su origen en las décadas de los 80's y 90's, así como la presa de jales, en donde eran vertidos grandes cantidades de contaminantes como producto de procesos metalúrgicos para la extracción del mineral. Se realizó la caracterización del suelo mediante un trayecto que parte desde la tepetatera de mayor tamaño hasta la denominada presa de jales, pasando por el poblado que se encuentra en medio de la tepetatera y de la presa. Posterior al estudio se hizo el análisis de la contaminación que existe mediante las muestras recolectadas del suelo de la zona de estudio para los parámetros que se determinaron, así como el contenido de contaminantes que permitió conocer en forma clara y detallada el impacto ambiental que existe actualmente en la región. A través de los resultados se observó que la zona del jal rojo es la más contaminada, seguida de la presa de jales, rebasando los límites máximos permitidos por la NOM-147 SEMARNAT/SSA 1-2004, principalmente Zn, Pb y Cu, mientras que en los suelos de los sitios correspondientes a la tepetatera, el poblado y el ejido los resultados indicaron que las concentraciones de estos metales, no se consideran aún contaminados. Además se recolectaron diferentes tipos de plantas nativas en los diferentes sitios de los suelos estudiados, donde se determinó la concentración de éstos metales tomando en cuenta el tipo de planta y sus características en cuanto a tamaño, juventud, resistencia y adaptación, asimismo se seleccionaron las que mejor capacidad de bioacumulación presentaron para una fitoextracción metálica y de ser posible una fitorremediación de los suelos más contaminados. Se estudió Pasto Inglés (*Lolium perenne*) para utilizarlo como planta fitoextractora. Se midió el índice de bioacumulación y el porcentaje de eficiencia para cada metal durante su crecimiento a los 45, 90, 135 y 180 días. Se concluye que el pasto inglés presentó buenos resultados en la fitoextracción de metales, la cual toleró los niveles de metales presentes en los suelos que se analizaron y demostró ser una planta ideal para su implementación en fitoextracción.

ABSTRACT

In the present thesis work it was carried out a study on the environmental impact exists in the soil and in the middle of the municipal head of Noria de Angeles, Zacatecas and its surroundings as it is located very near large deposits of waste miners, which are products of mining which originated in the decades of the 80's and 90 and the tailings dam where were discharges large amounts of contaminants as a result of metallurgical processes for extraction mineral. Soil characterization was performed using a route that starts from the larger to tepetatera called tailings dam, through the village located amid tepetatera and dam. Post-study analysis contamination exists by samples collected soil from the study area for the parameters were determined, and the pollutant content yielded information in clear and detailed environmental impact that currently exists is made in the region. Through the results it was observed that the red zone is the most polluted jal, followed by the tailings dam, beyond the maximum limits allowed by the NOM-147 SEMARNAT / SSA 1-2004, mainly Zn, Pb and Cu, while in the soils of the sites corresponding to the tepetatera, the town and the ejido results indicated that concentrations of these metals are not considered yet contaminated. Also different types of native plants were collected in different sites of the soils studied, where the concentration of these metals is determined by taking into account the type of plant and its characteristics in terms of size, youth, resistance and adaptation also been selected and bioaccumulation best presented to a metal phytoextraction and if possible the phytoremediation of contaminated soils. English Grass (*Lolium perenne*) was studied for use as fitoextractora plant. Was measured bioaccumulation index and percent efficiency for each metal during growth at 45, 90, 135 and 180 days. It is concluded that the English Grass showed good results in phytoextraction of metals, which allowed the levels of metals in soils were analyzed and proved to be an ideal for deployment in phytoextraction plant.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, el cual está constituido de una cubierta delgada en la superficie, desde pocos centímetros hasta varios metros de profundidad (Porta *et al.*, 2008). Desde el punto de vista científico, es definido por la edafología como la percepción de lo organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores formadores del suelo, climas, organismos, relieve, etc., sobre un material pasivo, la roca madre o material originario (Dorronsoro, 2008).

El suelo es un sistema abierto, dinámico constituido por tres fases: La fase sólida, que está formada por componentes inorgánicos y orgánicos que dejan un espacio de huecos (poros, cámaras, galerías, grietas, etc.) en el que se hallan las fases líquida y gaseosa. El volumen de huecos está ocupado parcialmente por agua, como componente principal de la fase líquida que puede llevar iones y sustancias en solución o suspensión; por aire, que constituye la fase gaseosa y por las raíces y organismos que viven en el suelo (Porta *et al.*, 1999).

La formación de un suelo comprende de un conjunto de procesos que transforman una roca madre o material originario en suelo, la cual se define como edafogénesis (Porta *et al.*, 2008). Las fases iniciales se caracterizan por un predominio de los cambios físicos y biogeoquímicos que afectan a la roca y sus minerales por la acción de agentes atmosféricos y por la circulación del agua. Estas reacciones iniciales se denominan como procesos de meteorización, lo cual consiste en la transformación parcial o total de rocas y minerales al entrar en contacto con la atmósfera, hidrósfera y biósfera, por aflorar o estar cerca de la superficie (Porta *et al.*, 2008).

Algunos procesos externos han provocado la alteración y disgregación de las rocas que se encuentran en contacto con la atmósfera, propiciando a fuertes procesos de erosión y degradación de los suelos, influenciando en la morfología y cambiando completamente los paisajes, además de que ha ocasionado grandes pérdidas de suelo, ocasionando ciertos tipos de contaminación (De Alba *et al.*, 2000).

La contaminación de los suelos ha ido en aumento a causa de actividades tanto de origen natural como antropogénico, sin embargo, en éstas últimas en mayor cantidad debido a una mala práctica y conciencia de la sociedad al medio, causando un grave daño. Entre las actividades de origen antropogénico destacan: la minería, refinación, quema de combustibles fósiles, fertilizantes, pesticidas e industria textil entre otras las cuales provocan daños en el agua, el aire y el suelo (Ecolástico y Pérez, 2012).

La actividad minera es una de las actividades con mayor aportación a la economía del país, aportando cerca del 4.1% del PIB durante el periodo abril - junio del 2010; convirtiéndola en una de las actividades con alta producción en éste rubro (INEGI, 2010).

Entre los contaminantes de mayor impacto en la minería se encuentran los metales potencialmente tóxicos como el, Cd, Cr, Cu, Mg, Ni, Pb y Zn y productos que se generan como el As, el cual es altamente tóxico y tiene serios efectos negativos en la salud. Éstos representan un grave riesgo por sus efectos y en su mayoría por su persistencia en el medio y difícil

degradación. Se presentan en el suelo de forma natural, pero debido a la actividad humana han incrementado su contenido en cantidades considerables hasta alcanzar niveles inusualmente elevados (Escolástico y Pérez, 2012).

Uno de los estados con gran actividad minera en el país es Zacatecas, cuenta con grandes yacimientos de oro, plata, cobre y zinc y otros no metálicos; además existen grandes consorcios mineros laborando los cuales contribuyen a la generación de empleos directos e indirectos (SE, 2014). La minería en Zacatecas es también la principal actividad económica, contribuyendo con un 21.1% del Producto Interno Bruto del estado (SE, 2014). Sin embargo se tiene conocimiento de que la minería es una de las industrias más sucias, causando altos niveles de contaminación, riesgos y deterioro ambiental tanto en sus procesos de exploración como de extracción y procesado de minerales, además de que éstos consorcios operan durante décadas, dejando un paisaje desolado y devastado por una severa contaminación en la que la mayoría de los casos éstos daños no son reparados y/o las empresas no se hacen cargo de remediar el lugar (Catalán *et al.*, 2011).

Existen además otros impactos de carácter socio ambiental, ya que en su inicio de operación interfieren intereses políticos y de gobiernos para otorgar los permisos a las empresas extranjeras, principalmente de Estados Unidos y Canadá, los cuales vienen a explotar los yacimientos y despojan a las comunidades aledañas, acabando con sus actividades de sustento tales como la agricultura y ganadería (Catalán *et al.*, 2011).

Aunque algunos autores han realizado investigaciones sobre la presencia de metales en el estado de Zacatecas no existe un estudio completo de los suelos con jales mineros ni de concentraciones de arsénico presentes ni estudios de fitoextracción para la biorremediación del sitio, por lo que resulta necesario llevar a cabo un estudio que caracterice el contenido de arsénico y metales potencialmente tóxicos en la zona, así como realizar pruebas con diversas especies vegetales con fines de biorremediación del sitio (Fernández *et al.*, 2005).

Tal es el caso de la Mina Real de Ángeles en el municipio de Noria de Ángeles Zacatecas, la cual en sus años de producción en la década de los 80's y 90's, fue la principal mina de plata a cielo abierto en el mundo operada por el grupo minero "Frisco y Denver Development", lo cual activó la economía en la región, sin embargo todos sus recursos fueron agotados en tan solo 17 años, como consecuencia resultó un impacto ambiental negativo dejando un abandonado paisaje compuesto por enormes jales y severos problemas de contaminación por los desechos mineros, principalmente por plomo y otras sustancias tóxicas contenidos en los suelos y alrededores de la población, perdiendo gran cantidad de hectáreas de cultivos y de uso agropecuario y dejando la restauración del ambiente a cargo de los gobiernos municipales y estatales (Valadez *et al.*, 2005).

Con el paso de los años, han ido surgiendo consideraciones en tema de protección y conservación del medio, las cuales han generado preocupación e interés y como consecuencia han surgido definiciones conceptuales como lo son la sustentabilidad y el desarrollo sustentable, las cuales llegan viendo por el futuro y bienestar de la humanidad (Moreno *et al.*, 2008).

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES

La actividad minera en México es altamente contaminante, generando desechos como son los jales los cuales son depósitos de desechos mineros en forma de grandes montañas que se han ido acumulando a lo largo de los años en las llamadas "presas de jales". Existen un número indeterminado de estos depósitos abandonados en todo el país, principalmente en los estados con mayor actividad minera, representando un riesgo para la salud y para el ambiente por sus niveles de contaminación al medio ambiente (Gutiérrez et al., 2007).

Las principales fuentes de metales pesados son actividades naturales tales como desgastes de cerros y volcanes que constituyen una fuente relevante de los metales potencialmente tóxicos en el suelo, así como también actividades antropogénicas como la industria minera que está catalogada como una de las actividades industriales con mayor generación de contaminantes. En el suelo, los metales pesados están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos, (Pineda, 2004).

Dentro de los metales potencialmente tóxicos (llamados metales traza); hay dos grupos; oligoelementos o micronutrientes: son los requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por plantas y animales y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto nivel se vuelven tóxicos, tales como As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva a problemas en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, el Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl (García y Dorransoro, 2005).

Cuando el contenido de metales potencialmente tóxicos en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos por la NOM-147 SEMARNAT/SSA 1-2004 causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal, así como el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente, como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, que es cuando se tiene una alteración por el nivel de contaminación (Martín, 2000).

En el suelo, los metales potencialmente tóxicos, provienen principalmente de procesos mineros, donde están presentes formando compuestos químicos como sulfatos, carbonatos y óxidos. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas. La contaminación en suelos por estos metales ocurre cuando los suelos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de las presas de jales mineros (Wang *et al.*, 1992).

La movilidad química e hidrodinámica relativa de los metales potencialmente tóxicos 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 se caracteriza en su origen si éste es natural o antropogénico y dentro de éste último al tipo de fuente (Burt *et al.*, 2003).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son: pH, composición química de la solución suelo, capacidad de intercambio catiónico, presencia de aniones como carbonatos, sulfatos, entre otros, materia orgánica, textura; naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición y condiciones medioambientales tales como la acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad (Sauquillo *et al.*, 2003).

En general, estos metales incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- ✚ Quedar 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 que pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas, que pueden pasar a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales y/o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

Para elucidar el comportamiento de los metales 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).

En la tabla 2. Se indican los límites permitidos por la PROY-NOM-147 SEMARNAT/SSA 1-2004.

Tabla 2.1. Límites máximos permitidos de diferentes contaminantes en el suelo (PROY-NOM-147 SEMARNAT/SSA 1-2004).

Contaminante	Uso agrícola/residencial (mg/kg)	Uso Industrial (mg/kg)
<i>Arsénico</i>	22	260
<i>Berilio</i>	150	1900
<i>Cadmio</i>	37	450
<i>Cromo hexavalente</i>	280	510
<i>Mercurio</i>	23	310
<i>Niquel</i>	1600	20000
<i>Plomo</i>	400	750
<i>Selenio</i>	390	5100
<i>Talio</i>	5.2	67
<i>Vanadio</i>	550	7200

México genera 6% de las emisiones de contaminantes de las industrias en América del Norte y de acuerdo a éstas cifras que están reportadas en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), 64% de las emisiones tóxicas en México son del sector minero, seguido de las centrales eléctricas y la maquila de equipo electrónico (SEMARNAT, 2012)

Para eliminar éstos metales del suelo existen diferentes tratamientos fisicoquímicos, los cuales algunos suelen ser costosos y que además generan residuos que requieren de otros tratamientos secundarios, sin embargo, los tratamientos biológicos son más económicos y sus residuos son de fácil disposición (Delgadillo et al., 2011). Algunas tecnologías empleadas en nuestro país para la remediación de suelos contaminados son el lavado de suelos, la oxidación química y la separación física, siendo además de las más empleadas (Luna et al., 2001).

Una alternativa a este tipo de problemas por contaminación en el medio ambiente es la fitorremediación la cual consiste en el uso de plantas con características específicas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes que se encuentran presentes en el medio ambiente, causadas por actividades naturales o antropogénicas, las cuales además nos brindan ciertas ventajas comparándolos con otros métodos fisicoquímicos empleados en la actualidad para la remediación de sitios contaminados (Delgadillo et al., 2011).

La fitorremediación es el uso de plantas para recuperar suelos contaminados, es una tecnología in situ no destructiva y de bajo costo y está basada en la estimulación de microorganismos degradadores. (Merkl et al., 2004). Consiste en el uso de plantas, sus microorganismos o enzimas asociadas, así como de la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar al contaminante. Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación la fitorremediación ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable y útil para remediar simultáneamente una gran variedad de contaminantes (Frick et al., 1999).

2.2. JUSTIFICACIÓN

La minería es una de las actividades de mayor impacto en varios sentidos, ya que arrojan mayores ingresos que otras actividades y generan gran cantidad de empleos directos e indirectos. Sin embargo grandes áreas de suelo están siendo utilizadas para su exploración, explotación y establecimiento de grandes consorcios mineros, los cuales están acabando con el paisaje y causan una fuerte erosión y destrucción del medio, además de que en sus procesos de extracción de metales y malas prácticas generan grandes cantidades de residuos los cuales se arrojan al medio sin ningún control, generando graves problemas del paisaje, de suelos, de agua y sobre todo repercuten en la salud de los habitantes que se encuentran cerca de éstos grandes focos de contaminación. Por todo lo anterior es importante establecer estrategias de tratamiento de los desechos mineros donde la fitorremediación es actualmente una tecnología de importancia por su capacidad de fitoextracción de metales y mejora de suelos, dando además una mejora de los paisajes de los sitios.

2.3. ESTADO DEL ARTE

Existen estudios realizados en caracterización de jales o desechos mineros, en los cuales éstos sitios con presencia de suelos contaminados se han implementado plantas metalófitas las cuales pueden ser endémicas de zonas con suelos metálicos y zonas mineras, tienen la capacidad de resistir y tolerar altos niveles de contaminantes incluyendo metales. Se les denominan también hiperacumuladoras porque tienen la facilidad de acumular mayores concentraciones en sus tejidos a diferencia de otras plantas lo cual las vuelve una mejor opción para remediar el lugar (Sepúlveda *et al.*, 2012).

Un estudio hecho en el estado de Querétaro, México demostró que algunas plantas crecen en sitios los cuales son altamente tóxicos debido a la presencia de metales, acumulando los contaminantes en sus diferentes partes, en donde se determinó la concentración Pb y Cd en tres especies de plantas colectadas en la periferia de una presa de residuos mineros para después someterlas a un proceso de digestión en el cual se analizaron y se calculó la concentración de cada uno de los contaminantes en las plantas, identificando las de mejores resultados para después implementarlas y remediar el lugar (Flores *et al.*, 2014).

En la ciudad de Taxco Guerrero, donde existen altas concentraciones de metales debido a la minería, se identificaron diferentes tipos de plantas nativas de la zona las cuales se les hicieron los análisis para determinar concentraciones de metales y detectar cuales tienen un potencial de uso para fitorremediación y así emplearlas frente a las condiciones tóxicas de la zona (Cortés *et al.*, 2013).

En el estado de Zacatecas se tienen registrados problemas severos de contaminación por desechos mineros y jales abandonados y sin remediación alguna, tal es el caso de Minera Real de Ángeles en el Municipio de Noria de Ángeles, donde se tienen altos índices de plomo y arsénico en agua y suelo (Valadez *et al.*, 2005).

Otro caso muy común es el del municipio de Fresnillo, Zacatecas, donde se tienen altos índices de plomo en el suelo y la relación que ha arrojado a estudios de la población en donde se ha detectado niveles considerables de plomo en la sangre de los habitantes, sobre todo en niños y mujeres embarazadas, en periodo de lactancia y/o embarazadas de esa población, lo cual implica un riesgo para la salud humana y el medio (Manzanares *et al.*, 2006).

Otro estudio hecho en Ecuador, muestra como el desarrollo industrial en éste país ha traído consecuencias negativas contaminando el medio ambiente mediante sus diferentes procesos industriales los cuales en algunas actividades vierten metales tóxicos en aguas y éstas al no tener un tratamiento adecuado entran en contacto con el suelo contaminándolo. Para remediar el lugar se utilizaron diferentes tipos de tubérculos endémicos del país, los cuales al realizarle los análisis correspondientes se demostró que dichos tubérculos utilizados, como la papa, el rábano y la papa china, tuvieron mejores resultados que el resto de los tubérculos empleados (Montes *et al.*, 2014).

Existen reportes sobre la utilización de plantas acuáticas en aguas contaminadas con plomo, cobre, cadmio, hierro y mercurio; la remediación de la acumulación de este tipo de metales en suelos utilizando plantas es también ampliamente reconocida (Ernst, 2000). En el proceso de fitorremediación existen diferentes mecanismos, los cuales se llevan a cabo a lo largo de su implementación, dependiendo además del tipo de contaminante que se va a tratar, las condiciones del sitio de estudio y el nivel de limpieza requerido. Las tecnologías de

fitorremediación son: fitoestabilización, fitoextracción, fitovolatilización, fitoinmovilización, fitodegradación y rizofiltración (Delgadillo *et al.*, 2011).

En la tabla 2.3 se presentan los mecanismos más comunes de fitorremediación.

Tabla 2.3. Mecanismos de fitorremediación. (Ghosh y Singh, 2005)

Proceso:	Mecanismo:	Contaminantes:
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e Inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e Inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación en la Rizósfera	Orgánicos e Inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e Inorgánicos

Países como Nueva Zelanda y Australia son de los primeros países en impulsar el uso de la fitorremediación, además de que han identificado numerosas especies de plantas nativas en sus países capaces de acumular metales potencialmente tóxicos empleándolos sobre los diferentes contaminantes (Almeida *et al.*, 2014).

Se ha empleado la fitorremediación para descontaminación de aguas negras en países como Estados Unidos, Canadá y La Unión Europea, en donde han utilizado álamos y sauces, los cuales poseen una gran capacidad de remover contaminantes y consumir bastante agua diariamente, aunque con un crecimiento relativamente lento (Almeida *et al.*, 2014).

En Latinoamérica se han registrado algunos estudios sobre especies nativas, en los que se reportan gran cantidad de especies que pueden ser utilizadas para fitorremediación en suelos y aguas contaminadas (Almeida *et al.*, 2014).

CAPÍTULO 3

HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. HIPÓTESIS

Los suelos cercanos a los jales mineros y a las tepetateras de Minera Real de Ángeles presentan una alta contaminación de metales potencialmente tóxicos, los cuales pueden ser extraídos mediante plantas de una forma viable y limpia.

3.2. OBJETIVOS

3.2.1. *Objetivo General.*

Evaluar la contaminación de metales potencialmente tóxicos a causa de los desechos mineros que existen en la cabecera municipal de Noria de Ángeles y sus alrededores, a diferentes distancias partiendo de la base de las tepetateras hasta llegar a la presa de jales y contribuir a la remediación del lugar utilizando plantas que den buenos resultados en su implementación en la zona mediante fitoextracción.

3.2.2. *Objetivos Específicos.*

- Efectuar la caracterización del medio en el que se encuentra el poblado de Noria de Ángeles y sus intermediaciones con las tepetateras, la presa de jales y los jales rojos, para armar el plan de trabajo que se va a realizar.
- Realizar un transecto a lo largo de toda la zona para recolectar diferentes muestras y analizarlas para llevar a cabo los estudios correspondientes.
- Determinar parámetros fisicoquímicos y químicos en muestras de suelo para conocer el conjunto de factores y procesos que ocurren dentro del suelo y en su superficie, que son importantes para el crecimiento de las plantas y manejo del suelo.
- Evaluar la concentración de metales contenidos en el suelo y plantas de la zona.
- Calcular la biodisponibilidad de metales en el suelo y plantas.
- Evaluar el proceso de fitoextracción de metales en los jales y suelos contaminados utilizando Pasto Inglés (*Lolium perenne*).
- Obtener e interpretar los resultados obtenidos.

3.3. Desarrollo del Proyecto

El planteamiento de cómo se desarrolló el proyecto se presenta de la siguiente manera:

1. Estudio bibliográfico para la redacción del estado del arte del proyecto.
2. Desarrollo de un plan para identificar y seleccionar los sitios muestreados y recolección de las muestras de suelo y plantas para la parte experimental que se hizo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco y en la Universidad Complutense de Madrid.
3. Preparación de las muestras más representativas y de los reactivos a utilizar.
4. Análisis fisicoquímicos y químicos de las muestras de suelo y plantas recolectadas.
5. Siembra en macetas de las semillas de pasto inglés con diferente contenido de jal, suelo y materia orgánica, para monitorearlas y cosecharlas después de 45, 90, 135 y 180 días.
6. Preparación, digestión y lectura del contenido de metales en las muestras recolectadas y cosechadas.
7. Determinación del índice de bioacumulación del pasto.
8. Redacción de las conclusiones del trabajo y su relación con su hipótesis y el objetivo general planteado.
9. Recomendaciones futuras y conclusión de tesis.

3.4. Recursos Empleados y Áreas de Trabajo

Área de Química Aplicada, Departamento de Ciencias Básicas de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco:

- ✚ Uso del laboratorio, así como diferente material y reactivos para preparar las muestras y realizar los parámetros fisicoquímicos.

Área de Química y Fisicoquímica Ambiental, Departamento de Ciencias Básicas de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco:

- ✚ Uso del laboratorio y de los equipos siguientes:
- ✚ Espectrofotómetro de Absorción Atómica Spectra 20 Plus de Varian para flama para realizar estudio de los cationes (Cd, Cu, Pb y Zn) por flama
- ✚ Horno de microondas marca CEM-MARS 5 para digestión de muestras de suelo, jal y plantas.

Área de Edafología, Departamento de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid:

- ✚ Uso del laboratorio, así como diferente material y reactivos para realizar los parámetros químicos restantes.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4. METODOLOGÍA:

4.1.- Descripción del área de estudio.

A continuación, se muestra en la figura 4.1 la ubicación de la zona de suelos que se estudiaron en esta tesis, donde el poblado corresponde al nombre de Noria de Ángeles en el estado de Zacatecas. En la figura 4.1 “a” se presenta el mapa del estado de Zacatecas y en la figura 4.1 “b” se indican encerrados con círculos los diferentes sitios importantes de donde se realizaron los diferentes muestreos.

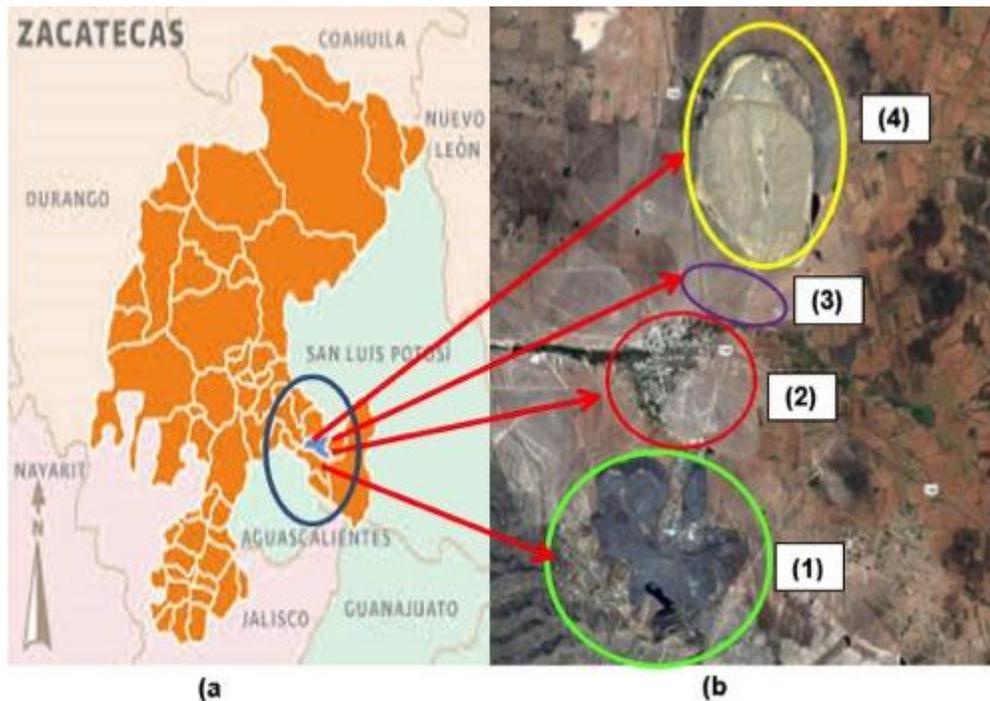


Figura 4.1. (a). Localización del municipio de Noria de Ángeles en el estado de Zacatecas. (b). Localización de los sitios de importancia a muestrear: tepetatera (círculo verde), poblado de Noria de Ángeles (círculo rojo y su cercanía en la tepetatera y la presa de jales), ejido (círculo morado) y la presa de jales (círculo amarillo).

Se observa como el poblado está rodeado, por un lado, de las tepetateras (círculo verde), donde los vientos arrastran hacia la población las arenas de éstos jales, por otro lado, el poblado se encuentra cerca de la presa de jales (círculo amarillo). Toda esta situación pone en riesgo de salud a la población.

A continuación, se indican los aspectos como: clima, vegetación, topografía, características geológicas y usos de estos suelos. La fecha de inicio de este trabajo y recolección de muestras fue el 3 de mayo del 2015.

1. Localización: El municipio de Noria de Ángeles se localiza en el sureste del estado de Zacatecas, en la Meseta Central de México.
2. Altitud: 2,200 m.s.n.m.
3. Coordenadas: Latitud: 22.4421, Longitud: -101.908. Con 22° 26' 32" N, 101° 54' 29" O.
4. Orientación de los vientos: Predominan los vientos alisios en dirección de oriente a poniente.
5. Climatología de la zona: Clima seco estepario, con una temperatura media de 25 °C y con una precipitación pluvial de 460 mm anuales.
6. Vegetación: Es escasa, predominan las especies del semidesierto matorral crasicuale (nopalera), mezquite, pirul, palma, maguey, muy escasos los pastizales.
7. Posición Geográfica: Planicie.
8. Topografía: Terreno que rodea al suelo, se presenta en la tabla 4.1.
9. Topografía: Terreno que rodea al suelo.
10. Características y uso del suelo: La geología del municipio es del mesozoico cretácico inferior, su suelo es de tipo castaño y café rojizo, el uso de la tierra es pequeña y ejidal. El 70 % de su territorio es agrícola de riego y temporal, el 20 % se dedica a la ganadería, el 8 % para vivienda y el 2 % para espacios y oficinas públicas. (INAFED 2009).

En la tabla 4.1 se indica con detalle la topografía y pendiente en general del suelo de la región

Tabla 4.1. Topografía y pendiente del suelo

TOPOGRAFÍA	PENDIENTE
Llano	< 30%.
Ondulado	Entre 16% y 30%.
Fuertemente ondulado	Entre 8% y 16%.
Colinado	Entre 2% y 8%.
Fuertemente socavado	> 2%.
Montañoso	Pequeñas variaciones de elevación.

4.2. Recolección de muestras de suelo en los diferentes sitios.

Se realizó el muestreo edafológico en el municipio de Noria de Ángeles y sus inmediaciones partiendo del sitio denominado "la Tepetatera" de mayor tamaño que se encuentra al sur hacia la presa de jales, en donde se recolectaron muestras de 18 diferentes puntos a lo largo de 10 km de distancia y a una profundidad de 40 cm en cada punto mediante la técnica de cuarteo, se colectaron las muestras más representativas y se llevaron al laboratorio para su preparación y diferentes análisis. En el mapa de la figura 4.2 se muestran los diferentes sitios de la recolección de muestras y se encerraron en círculos por grupos. En la tabla 4.2 se indican las coordenadas correspondientes a cada grupo.

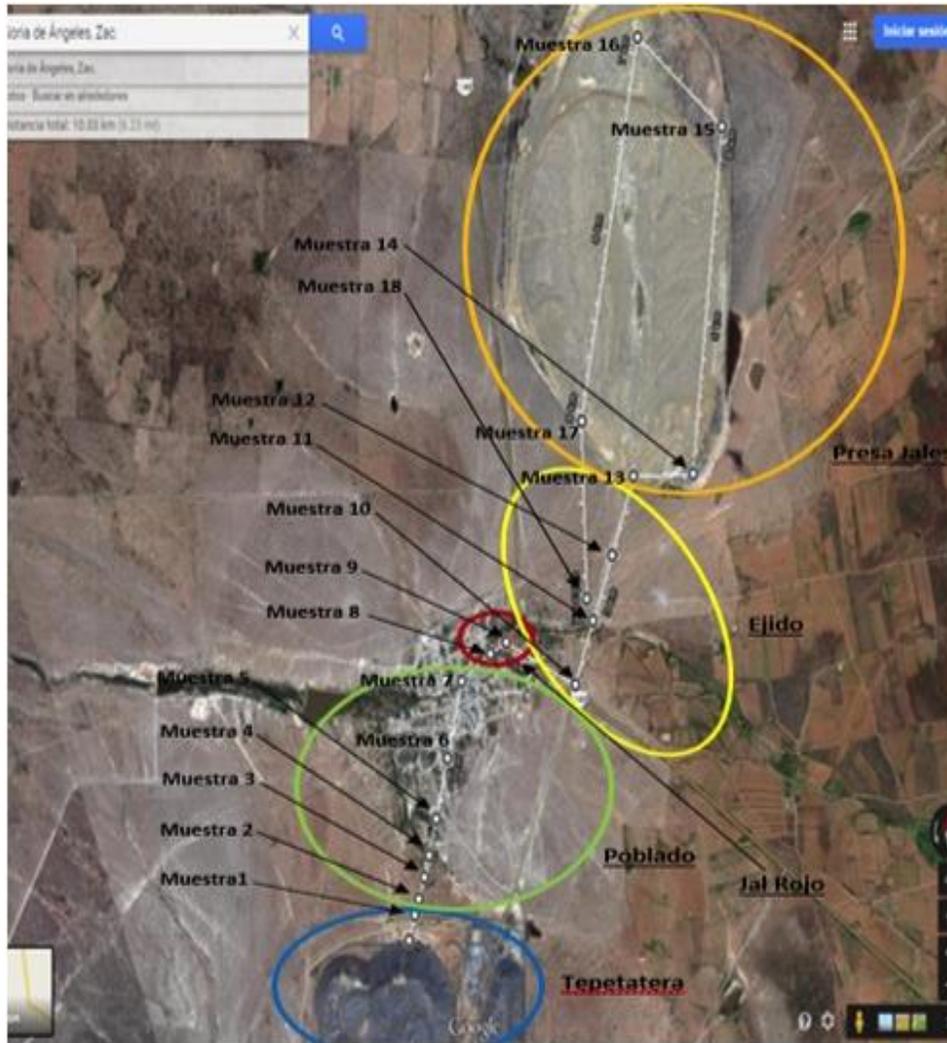


Figura 4.2. Representación de los sitios donde se colectaron las muestras de suelo.

Tabla 4.2. Coordenadas de los puntos muestreados en suelo.

Muestra	Latitud y longitud	Sitio
1	22.4317 N -101.9125 O	Tepetatera
2	22.4327 N y -101.9122 O	Cercanía Poblado
3	22.4337 N y -101.9118 O	Cercanía Poblado
4	22.4347 N y -101.9114 O	Interior Poblado
5	22.4365 N y -101.9108 O	Interior Poblado
6	22.4395 N y -101.9099 O	Interior Poblado
7	22.4433 N y -101.9089 O	Parque Río
8	22.4447 N y -101.9067 O	Cercanía Jal Rojo
9	22.4452 N y -101.9054 O	Jal Rojo
10	22.4430 N y -101.9001 O	Ejido
11	22.4461 N y -101.8988 O	Ejido
12	22.4495 N y -101.8973 O	Ejido
13	22.4533 N y -101.8958 O	Cercanía Presa Jal
14	22.4534 N y -101.8910 O	Presa Jal
15	22.4705 N y -101.8888 O	Presa Jal
16	22.4750 N y -101.8954 O	Presa Jal
17	22.4560 N y -101.8995 O	Cercanía Presa Jal
18	22.4473 N y -101.8992 O	Ejido

Una vez clasificados los grupos, como se indica en el mapa, con las muestras recolectadas, también en campo se efectuó un cuarteo en una superficie de 1 m³ con una cuadrícula de 25 cuadrados y con una pala se depositaron 2 sub-muestras de cada muestra, después de manera aleatoria se combinaron obteniendo una mezcla homogénea de las diferentes sub-muestras elegidas de cada grupo. Posteriormente cada muestra compuesta se colocó en bolsas de plástico cerradas y selladas y se etiquetaron para identificarlas considerando el grupo, la fecha y el lugar de muestreo. En la figura 4.3 se presentan fotografías a manera de ejemplo de algunos sitios durante el muestreo.



Figura 4.3. Obtención de las muestras de suelo en diferentes partes del área de estudio.

Se obtuvieron dos muestras de jales oxidados de color rojo cobrizo (puntos 8 y 9, ver figura 4.2), producto de la minería, que se arrojaron dentro del poblado de Noria de Ángeles, actualmente estos residuos están en contacto directo con los habitantes del poblado, ver la parte señalada de la figura 4.4 que representa el sitio donde fueron depositados los jales rojos.



Figura 4.4. Localización de los residuos mineros dentro del poblado.

En la figura 4.5, se muestra el sitio de los jales rojos, donde el color puede deberse a la presencia de hierro en forma de Fe₂O₃, tipo hematita, que es color típico de éste óxido.



Figura 4.5. Localización de los jales rojos

Así mismo, como se muestra en la figura 4.6, se llegó hasta el interior de lo que era la presa de jales, donde se recorrió para poder efectuar algunas observaciones del paisaje y tener una idea cualitativa de la contaminación que existe en el lugar y recolectar algunas muestras.



Figura 4.6. Interior de lo que fue la presa de jales.

Las muestras que se recolectaron, se guardaron en bolsas de plástico con cierre hermético de 2 kg aproximadamente por muestra, las cuales se llevaron al laboratorio y se realizaron los diferentes análisis. (Figura 4.7).



Figura 4.7. Muestras recolectadas de los lugares seleccionados

4.2.1. Preparación de las diferentes muestras

La primera preparación de las muestras comprendió operaciones de limpieza, disgregado y secado, que fueron necesarias para obtener las porciones representativas en condiciones adecuadas para efectuar los ensayos correspondientes, tomando medidas de precaución para no cambiar su estructura y obtener los resultados lo mejor detallado posible. Obtenidas las muestras de suelo, se continuó en su preparación para la determinación de algunos de los parámetros fisicoquímicos y químicos que se analizaron en el laboratorio.

Preparación de cada muestra:

1. Se realizó un secado de las muestras durante media hora, donde se utilizaron crisoles de porcelana, los cuales se lavaron y se limpiaron con agua desionizada, para evitar la contaminación de las muestras con materiales extraños, y posteriormente se secaron. Se colocaron 300 g de las muestras de suelo en un horno y se controló el secado a una temperatura de 60°C, en donde se tomaron las precauciones para recoger y evitar la pérdida de muestra, así como la contaminación con materiales extraños.
2. Se limpiaron manualmente las diferentes muestras de suelos de basura como pedazos de madera, plástico, raíces entre otros. Posteriormente se procedió a una disgregación mediante golpeteo con un mazo de madera para romper el material a un menor tamaño. Posteriormente se llevó a cabo un tamizado utilizando mallas tipo Tyler (Figura 4.8),



Figura 4.8. Cribado de las muestras mediante tamices Tyler

Utilizando cedazos con los números: 20 (0.833 mm de abertura), 42 (0.351 mm de abertura), 80 (0.175 mm de abertura) y 100 (0.147 mm de abertura) se recogió el material pasado por ésta última malla dando un tamaño de partícula de alrededor de 0.0126 cm de diámetro promedio.

3. Posteriormente se realizó un cuarteo de cada conjunto de muestras, donde se agruparon para su clasificación de acuerdo al lugar de su recolección y así disminuir el número de muestras y homogeneizarlas, obteniendo muestras representativas de tamaño adecuado para efectuar las pruebas de laboratorio. Por cada muestra representativa se utilizaron tres réplicas; se dividieron las muestras por grupos, quedando de la siguiente forma:
 - ✓ 1er. Grupo (Tepetatera) el cual comprende la muestra 1.
 - ✓ 2do. Grupo (Poblado), el cual comprendió las muestras de la 2 a la 7
 - ✓ 3ro. Grupo (Jales Rojos), el cual comprendió las muestras de la 8 y 9
 - ✓ 4to. Grupo (Ejido), el cual comprendió las muestras de la 10 a la 12 y la 18.
 - ✓ 5to. Grupo (Presa de Jales), el cual comprendió las muestras de la 13 a la 17.

En la tabla 4.3 se presenta la simbología que se utilizó para las diferentes muestras en función tanto del grupo como del sitio donde se recolectaron

Tabla 4.3. Claves de las muestras por sitio y por grupo

Grupo	Sitio	Clave de muestra	Cantidad de muestras
1	Suelo Tepetatera	STEP	1
2	Suelo Poblado	SPOB	5
2	Suelo Parque Río	SPR	1
2	Suelo Cercanía Jal Rojo	SCJR	1
3	Suelo Jal Rojo	SJR	1
4	Suelo Ejido	SE	4
4	Suelo Cercanía Presa Jal	SCPJ	1
5	Suelo Presa Jal	SPJ	4

4.3. Recolección de muestras de plantas nativas.

Se recolectaron también algunos tipos de plantas que son nativas del lugar para realizarles los análisis correspondientes y detectar si en ellas se presentaron metales potencialmente tóxicos como Cd, Cu, Pb y Zn, entre otros y medir sus concentraciones de existir éstos metales. Los puntos de muestreo de las plantas recolectadas se presentan en la Figura 4.9 y las coordenadas en la Tabla 4.4.

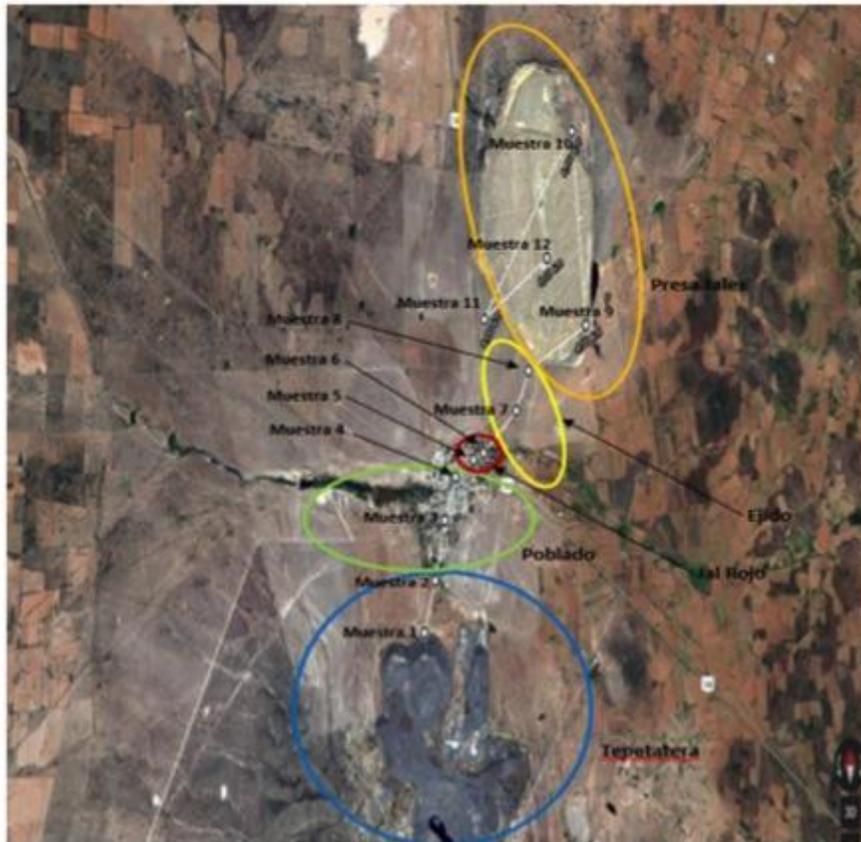


Figura 4.9. Representación de los puntos de las plantas recolectadas

Tabla 4.4. Coordenadas de los puntos muestreados en plantas.

Muestra	Latitud y longitud	Sitio
1	22.4308 N y -101.9134 O	Tepetatera
2	22.4352 N y -101.9119 O	Cercanía Poblado
3	22.4404 N y -101.9106 O	Interior Poblado
4	22.4441 N y -101.9097 O	Parque Río
5	22.4453 N y -101.9061 O	Cercanía Jal Rojo
6	22.4455 N y -101.9049 O	Jal Rojo
7	22.4498 N y -101.8995 O	Ejido
8	22.4529 N y -101.8976 O	Cercanía Presa Jales
9	22.4562 N y -101.8896 O	Presa Jales
10	22.4725 N y -101.8920 O	Presa Jales
11	22.4567 N y -101.9051 O	Ejido
12	22.4620 N y -101.8952 O	Presa Jales

Las especies que se recolectaron fueron de los tipos como: Mezquite, Huizache, Gobernadora y Pirul (Figura 4.10).



Figura 4.10. Tipos de plantas recolectadas

Después de haber obtenido las muestras de plantas, se dejaron secar en papel periódico, para después comenzar a moler las muestras en crisoles de porcelana y depositarlos en frascos especiales (Figura 4.11), los cuales fueron etiquetados y marcados para su fácil manejo para los análisis correspondientes



Figura 4.11. Preparación y molienda de cada parte de las plantas recolectadas

4.4.- Análisis fisicoquímico de las muestras.

4.4.1. Caracterización Física y Fisicoquímica.

4.4.1.1. Color.

El color de un suelo es una propiedad física donde el tono y la intensidad de los colores del suelo superficial y de sus horizontes nos indican sus características y procesos geológicos, además está determinado por la cantidad y estado de los minerales como silicoaluminatos, feldespatos, y metales como Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, principalmente, también de la materia orgánica y de la existencia de procesos de oxidación o reducción (Dane y Topp, 2002). Normalmente para determinar el color y las características de un suelo se utilizan las cartas de color estándar de Munsell (Figuras 4.12). En el caso de este proyecto se utilizó para determinar la profundidad que abarcan los residuos mineros de la región y aproximar la antigüedad se utilizaron estas tablas como referencia. La croma se determinó por comparación utilizando las tablas, relacionando los parámetros como matiz, brillo e intensidad.

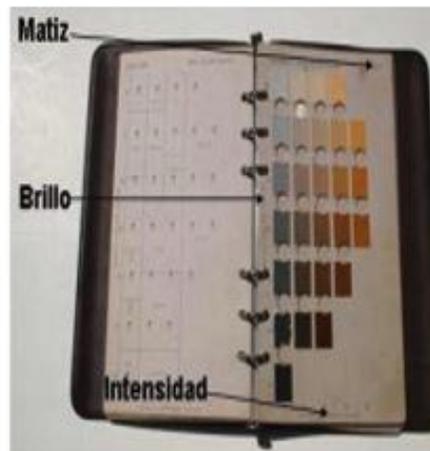


Figura 4.12. Tablas de colores de Munsell y su determinación.

Para la determinación de color se comparó el color de las muestras con el de las tablas estándar hasta obtener las tres propiedades del color (Figura 4.13).



Figura 4.13. Secado de muestras al aire libre

4.4.1.2. Determinación de la Humedad.

La humedad del suelo es la cantidad de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo, influye en propiedades físicas tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, etc. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil (Klute, 1986).

Para la determinación de la humedad de las muestras, se prepararon los diferentes crisoles a peso constante en una estufa Blinder, donde posteriormente se pasaron a desecadores. En cuanto a las muestras se seleccionaron diferentes muestras por grupo y se pesaron 5 gramos de cada una, se colocaron en los diferentes crisoles y posteriormente en la estufa por un periodo de 24 hrs a 105°C, se enfriaron en desecadores y por diferencia de peso se determinó la humedad, (Figuras 4.14).



Figura 4.14. Secado de muestras para la determinación de la humedad.

4.4.1.3. Análisis Granulométrico de la Fracción Mineral

La determinación de la granulometría del suelo es una de las características físicas importantes y tiene como objetivo calcular los diferentes tamaños de partícula que conforman una muestra de suelo, es decir la distribución o proporción en que se encuentran las diferentes partículas y minerales atendiendo a su tamaño y así predecir el comportamiento físico del suelo, haciendo relación acerca del movimiento del agua en el perfil del suelo, la facilidad de manejo, interés taxonómico y la cantidad de nutrientes (Burt, 2004).

Una vez secas las muestras como se explicó en el inciso 4.3.12 se procedió a los análisis de granulometría. Se utilizaron los tamices de 20, 40, 80 y 100 de número de malla. Se utilizaron 100 gramos de diferentes muestras por grupo y se tamizó cada una en el orden de tamices descrito durante 20 minutos, pesándose el contenido de material retenido en cada malla y al pasado por una malla de número 100, procediendo a determinar el tamaño de partícula.

4.4.1.4. Determinación de la salinidad

La salinidad del suelo es la cantidad de sales contenidas en una solución extraída del suelo. Es importante la medición de éste parámetro, ya que la salinidad afecta directamente al crecimiento y desarrollo de la planta, así como sus condiciones para absorber agua. Éstas pueden ser de origen natural o de origen antropogénico, principalmente por el mal uso de las prácticas de manejo del suelo y del agua de riego (Mesa, 2003).

Éste parámetro se determinó en laboratorio, en donde se utilizaron diferentes muestras de los grupos de suelo y además se agregó la muestra de suelo testigo para tener en total 5 muestras a determinar, en donde se pesaron 5 gr de cada muestra de grupo y se añadió a un crisol de porcelana, donde se adicionaron 10 ml de agua desionizada y se agitó manualmente hasta obtener una mezcla homogénea con el suelo y se dejó reposar por 5 minutos (Figura 4.15). Posteriormente se midió éste parámetro mediante un potenciómetro con un electrodo previamente calibrado y de referencia de salinidad, se enjuagó el electrodo con agua desionizada y se comenzó a realizar las lecturas de las muestras. En cada lectura se tuvo la precaución de agitar las muestras y verificando la calibración del electrodo, las lecturas se realizaron a temperatura ambiente.



Figura 4.15. Determinación de la salinidad

4.4.1.5. Determinación del pH en las diferentes muestras

El pH o Potencial de Hidrógeno es una medida que se emplea para determinar la acidez o alcalinidad de una solución. Los ácidos y las bases tienen una característica que permite su medición la cual es la concentración de los iones de hidronio $[H_3O^+]$ presentes en disoluciones acuosas. Su determinación se ve afectada por varios factores como lo son: tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez o a la alcalinidad de un suelo, por los diferentes procesos hidrolíticos en el mismo (Garrido, 2006).

Éste parámetro se determinó en laboratorio en donde se utilizaron diferentes muestras de los grupos de suelos obtenidos, se pesó 5 gr de cada muestra y se añadió a un crisol de porcelana, se adicionaron 10 ml de agua desionizada y se agitó manualmente hasta obtener una mezcla

homogénea y se dejó reposar durante 5 minutos. Posterior a ello se calibró el potenciómetro con soluciones Buffer con referencias de 4.00 y 7.00, utilizando un electrodo de pH, el cual se enjuagó con agua desionizada y se efectuaron las lecturas (Figura 4.16). Para cada lectura se cuidó agitar la mezcla y se midió el pH en el momento que la lectura se estabilizó a temperatura ambiente.



Figura 4.16. Determinación de pH.

4.4.1.6. Conductividad Eléctrica (CE).

La conductividad eléctrica en un suelo es la medida de la capacidad del mismo para la conducción de los iones presentes. Es muy importante su determinación ya que mediante éste parámetro se puede determinar la movilidad de iones metálicos (cationes) y aniones presentes en un suelo, ya sea nutrientes o contaminantes, además del estado de aireación del suelo y disponibilidad de algunos nutrientes (Harper, 2004).

Éste parámetro se determinó en laboratorio en donde se utilizaron diferentes muestras de los grupos de suelos obtenidos, se pesaron 5 gr de cada muestra y se añadió a un crisol pequeño de porcelana, se adicionaron 10 ml de agua desionizada y se agitó manualmente hasta obtener una mezcla del agua con el suelo y se dejó reposar por 5 minutos. Posterior a ello se calibró el conductímetro con la solución de referencia de conductividad eléctrica, cuidando en cada medida enjuagar el electrodo con agua desionizada. Al momento de tomar la lectura se tuvo el cuidado de agitar la mezcla, así como la estabilización de cada lectura; midiendo la CE a temperatura ambiente (Figura 4.17).



Figura 4.17. Determinación de Conductividad Eléctrica

4.5. Caracterización Química en Suelos y Plantas Nativas.

4.5.1. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Se utilizó acetato de amonio como la sal de intercambio. Para ello se tomó una alícuota de suelo y se transfirió conjuntamente con el papel filtro al sistema de destilación, se recogió el producto destilado en un recipiente de 25 ml conteniendo 5 gotas de la solución de ácido bórico (indicador). Posteriormente se añadieron 50 ml de agua destilada al tubo de destilación que contiene la muestra y 10 ml de la solución de NaOH 2N. Inmediatamente se coloca el tubo de destilación en el destilador, se esperan aproximadamente 5 minutos después de agregarle el indicador, el cual presenta un color verde. Una vez recogido el amonio destilado, éste se tituló con H₂SO₄ (0.01N), se observó el cambio de color de un verde hacia rosado como el punto final.

4.5.2. Determinación de la Materia Orgánica (MO) y el Carbono Orgánico (CO) en los jales y suelos.

Cada muestra de jal y suelo se trituró lo más posible, se pesó 0.5 gramos y se vació en un vaso de precipitado, se hizo duplicado para tener 10 vasos y 3 más para tenerlos como blancos (vasos sin muestra de suelo) para medir el gasto en cada prueba. Se agregó 10 ml de solución K₂C₁₂O₇ y 20 de HCl, se agitó con cuidado hasta homogeneizar la muestra. Al final se tituló con Sal de Mohr hasta llegar a un pH de 6.30 y se midió el gasto en cada muestra.

4.5.3.- Determinación de la Materia Orgánica (MO) en las Plantas Nativas (Pérdida por Calcificación).

Las muestras se secaron a una temperatura de 36°C, después se tamizaron mediante un cedazo Tyler 16, posterior a ello se colocaron en crisoles de porcelana libre de inertes para calcinarlo a una temperatura de 550°C. La fracción correspondiente a la MO se determinó por diferencia de peso, ya que es el material que se volatilizó y la ceniza remanente corresponde a la fracción inorgánica. La metodología a detalle se encuentra en el apéndice

4.5.4.- Determinación de C, H y N

Para estas determinaciones fue necesario realizar en algunas muestras representativas un análisis elemental. Debido a que se requieren equipos especiales y aprovechando la estancia en España, se enviaron las muestras a procesar al laboratorio oficial del Centro de Microanálisis Elemental de la Universidad Complutense de Madrid; se utilizó un equipo LECO CHNS-932. En el apéndice H se presenta la hoja oficial de los resultados.

4.5.5.- Biodisponibilidad de metales presentes en suelos

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y el Cloruro de Calcio (CaCl₂) son soluciones extractoras que se utilizan para evaluar la disponibilidad de microelementos presentes en suelos y su influencia con el crecimiento de biomasa (Ratto de Miguez y Fatta, 1990). Los metales pueden encontrarse presentes en el suelo unidos en los diferentes componentes sólidos del suelo, los cuales pueden presentar diferente disponibilidad de acuerdo a sus características fisicoquímicas (González *et al.*, 2011).

El cloruro de calcio es un extractor para especies metálicas débilmente adsorbidas y que pueden ser liberados de la superficie del suelo con cambios en la composición iónica del agua debido al riego o la lluvia, así como a las formas químicas como carbonatos y pueden ser redissueltos si se presentara una disminución del pH en el medio. Por otro lado el EDTA es otro extractor más fuerte pues extrae no solo lo indicado en el caso del CaCl_2 sino por ser ligante orgánico tiene la capacidad de extraer también al mayor porcentaje de metales secuestrados entre los nódulos o partículas cementadas que están relacionados a los oxohidróxidos de Mn y Fe termodinámicamente inestables en condiciones anóxicas y bajos potenciales de reducción, así como a los metales que están enlazados a las diferentes formas de materia orgánica; bajo condiciones oxidantes, donde la materia orgánica se transforma y libera a los metales solubles, que son los potencialmente tóxicos, (Barceló 2000).

Estos extractores fueron utilizados con el objeto de obtener las fracciones de cada metal: Cd, Cu, Pb y Zn, más disponibles. Primero los débilmente adsorbidos por los componentes de los jales y suelos, por lo que se utilizó el CaCl_2 . Por lo que respecta al EDTA, éste fue utilizado para los más fuertemente adsorbidos, además de que este ligante es utilizado como molécula modelo que se asemeja al comportamiento de componentes orgánicos de los organismos como las plantas o animales que acompañan a los metales indicados cuando son bioacumulados.

4.6. Estudio de la fitoextracción de Cd, Cu, Pb y Zn mediante *Lolium perenne* (Pasto Inglés).

A continuación, se indica el procedimiento que se siguió para el estudio de la fitoextracción del pasto inglés de los metales Cd, Cu, Pb y Zn. En la tabla 4.5 se presenta la relación de muestra, más suelo testigo y MO utilizada.

Tabla 4.5. Relación de componentes en las macetas para pasto inglés.

Muestra	Muestra %	Suelo Testigo %	Materia Orgánica %
Jal Rojo	60	20	20
	50	20	30
	40	20	40
Jal Gris	60	20	20
	50	20	30
	40	20	40
Tepetatera	100		
Suelo testigo	100		

Para la realización del estudio de fitoextracción de cada planta se propuso la siguiente metodología experimental para cada planta como a continuación se indica.

4.6.1. Metodología Experimental

Las plantas que se utilizaron para la metodología experimental debían de cumplir ciertas características tales como:

- Que sean plantas resistentes a cambios bruscos de temperatura
- Endémicas de la región

- Que produzcan gran cantidad de biomasa y profundidad de la raíz.
- Que crezcan bastante en un tiempo reducido
- Hiperacumuladoras de metales pesados

Con la finalidad de tener resultados más favorables en el crecimiento y desarrollo de las plantas al momento de concluir con el estudio se optó por utilizar pasto inglés (*Lolium perenne*) como mejor opción por cumplir con la mayoría de las características que se piden para un resultado favorable.

En la figura 4.18, se presenta el diagrama de la metodología experimental que se siguió para el desarrollo del crecimiento del pasto inglés (*Lolium perenne*) como planta fitoextractora para los metales, donde se consideraron los tiempos 0, 45, 90, 135 y 180 días del crecimiento, en el diagrama se indican los suelos utilizados y los tiempos de cosecha. En la figura 4.19

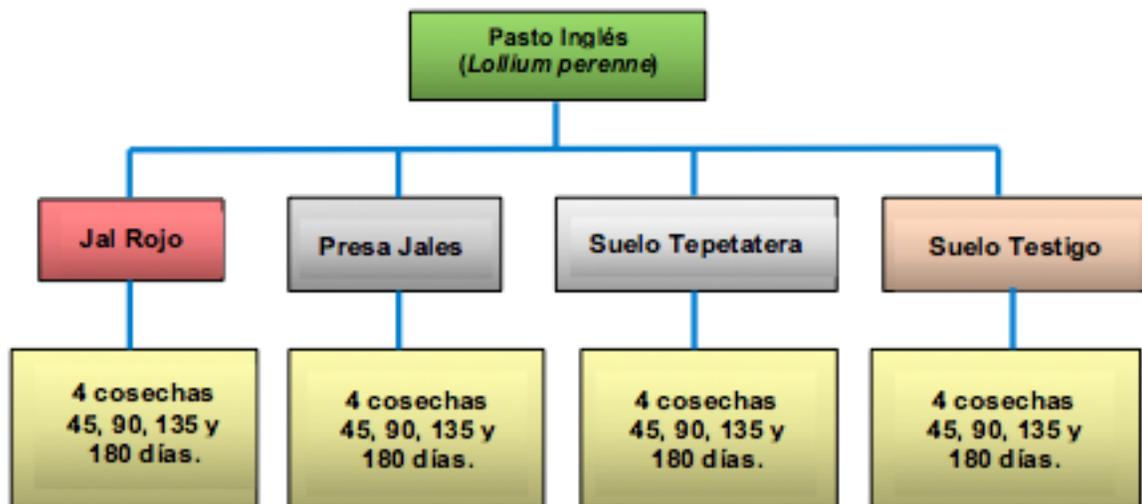


Figura 4.18. Diagrama de la metodología experimental para la evaluación de la fitoextracción para pasto.

Para el cultivo de las plantas se realizó en macetas con capacidad de 4 kg cada una, utilizando muestra del suelo contaminado en diferente proporción, así como de materia orgánica y de suelo no contaminado (suelo testigo).



Figura 4.19. Acondicionamiento de las plantas.

Las macetas se etiquetaron, se ordenaron y se cuidaron a lo largo de los 180 días (tiempo que duró la experimentación) para ver la evolución y los resultados que se observaron en las plantas. Por cada grupo de suelo se establecieron 4 cosechas que fueron 45, 90, 135 y 180 días para el crecimiento de cada planta. Por cada maceta se utilizaron 3 semillas en el caso del pasto.

En la figura 4.20 se presentan fotografías del monitoreo y evolución de las plantas



Figura 4.20. Evolución de las plantas.

4.6.2. Preparación de las plantas para el análisis de metales bioacumulados

4.6.2.1. Secado y trituración de las plantas

Las plantas se pesaron para registrar su crecimiento y peso final y después se llevaron a secar envueltas en papel periódico y expuesto al sol, para después triturarlas y continuar con su determinación de contenido de metales absorbidos mediante la digestión y después a su lectura por absorción atómica.



Figura 4.21. Análisis final de las plantas.

4.6.2.2. Digestión de las muestras de suelo.

De las muestras secas y trituradas se pesaron 0.5 gramos de cada muestra por triplicado y se pasaron a vasos de teflón especiales para la digestión añadiendo 10 ml de agua destilada, 5 ml

de HNO_3 , 4 ml de HF y 1 ml de HCl grado analítico Baker, sellándose correctamente, colocándose en un carrusel como se indica en la figura 4.22, para digerirlas por microondas en un equipo CEM-Mars 5. Se utilizó en el programa de digestión una rampa de temperatura de 120°C durante 20 minutos y una presión de 100 psi a una potencia de 1200 w.



Figura 4.22. Digestión de las muestras de suelos.

Los vasos se abrieron una vez fríos y se aforaron a 50 ml, para su lectura en el equipo de Absorción Atómica por el método de flama figura 4.23.



Figura 4.23. Preparación de las muestras y equipo de AA ThermoElemental, modelo SOLAAR M6 para la lectura de las muestras

Los metales analizados en las diferentes muestras de suelos y jales fueron Cd, Cu, Pb y Zn.

4.6.2.3. Digestión de las muestras de plantas.

Para las muestras de plantas se llevó el mismo procedimiento que las muestras de suelos, solo que, a diferencia de éstas, se agregaron 10 ml de agua destilada y 8 ml de HNO_3 , grado analítico Baker. De igual manera, pasados los 20 minutos se enfriaron, se abrieron y se aforaron para alistarlas y llevarlas a su lectura mediante Espectroscopía de Absorción Atómica, por el método de flama.

4.6.2.4. Determinación de los metales por Absorción Atómica

Se determinaron como se ha indicado por la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AA) por flama utilizando un equipo Thermo Elemental, modelo SOLAAR M6. Los elementos que se determinaron en suelos fueron Cd, Cu, Pb y Zn (excepto Cd para plantas por sus bajos niveles que no entró en el límite de detección por flama), realizándose curvas de calibración para cada metal.

Posterior a la preparación de cada estándar, se continuó con la lectura en todas las muestras y determinando un solo metal por corrida hasta obtener los resultados deseados y finalmente analizar e interpretar los resultados.



Figura 4.24. Lectura de metales mediante flama por AA.

4.6.3. Determinación del índice de bioacumulación en las plantas

Una vez analizadas las diferentes muestras de las plantas, se procedió a calcular el Índice de Bioacumulación (IB) (Barceló *et al*, 2016), mediante la siguiente ecuación.

$$BI = \frac{\text{metal in plant} \left(\frac{mg}{kg} \right)}{\text{metal in soil} \left(\frac{mg}{kg} \right)} \quad (4.1)$$

CAPÍTULO 5

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SU INTERPRETACIÓN

5.1. INDICADORES FÍSICOS Y FISICOQUÍMICOS

5.1.1. Color:

Por lo general los suelos de colores claros o gris claro usualmente tienen alto contenido de arena o son calcáreos y las zonas grisáceas o moteado de color rojizo oxidado indica pobre drenaje y pérdida de buena aireación (Honorato, 2000), que fueron los colores que se presentaron en la mayoría de los jales y los suelos.

Mediante la comparación de la figura 5.1 se observó cualitativamente que en el grupo de suelo del “Poblado” y del “Ejido” la coloración fue clara, lo que indica un bajo nivel de materia orgánica, condiciones de mala fertilidad y pobre actividad biológica, sin embargo en el grupo de “Jales Rojos” mostró un color rojo fuerte, la cual indica su estado de oxidación y un alto contenido de metales como hierro, mientras que en el grupo de “Presa de Jales” mostró un color gris oscuro, lo que indicó de igual manera alto contenido de metales y además ausencia de materia orgánica.



Figura 5.1. Muestras secadas y tamizadas listas para su comparación con las tablas.

Los resultados obtenidos utilizando las cartas de Munsell fueron los siguientes, en el orden de luminosidad y matiz en la tabla correspondiente:

- Poblado: 8/4 7.5YR
- Jales Rojos: 6/8 7.5YR
- Ejido: 7/6 7.5YR
- Presa Jales: 7/1 10YR
- Suelo Testigo: 6/4 7.5YR

5.2. Humedad:

En la Figura 5.2 se puede observar que en las muestras del parque río, la presa de jales y los jales rojos existe un mayor nivel de humedad, ya que por las muestras de parque río y jales rojos pasa un pequeño riachuelo que nace de un ojo de agua y en la presa de jales por la mezcla de los contaminantes que eran depositados a la presa mientras que en las demás muestras se registró un nivel de humedad bajo. Es importante tener en cuenta que la humedad en un suelo

es benéfica, ya que el agua actúa como un importante regulador de actividades físicas, químicas y biológicas de suelo, sin embargo, en algunos casos también puede ser perjudicial, ya que un alto contenido de humedad en éstos facilita la lixiviación de sales y de algunos otros compuestos, principalmente en el caso de los suelos cubiertos por los jales mineros.

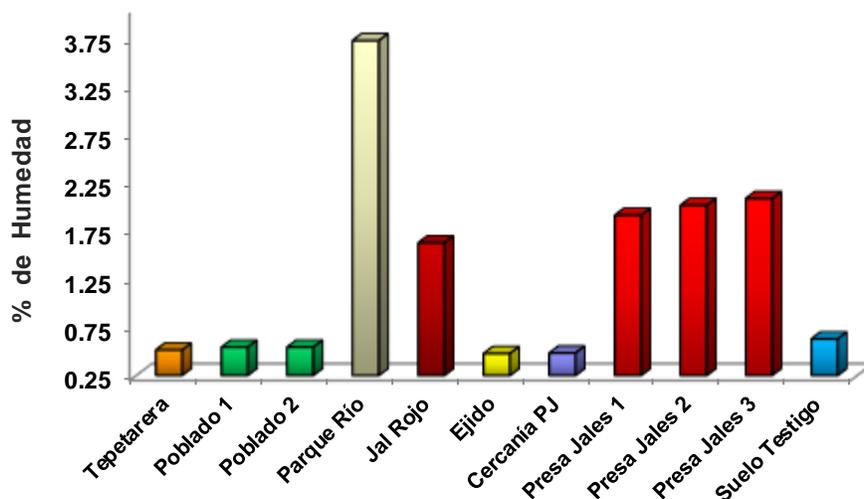


Figura 5.2. Porcentaje de humedad medido en cada muestra de suelo

5.3. Análisis Granulométrico de la Fracción Mineral

En la tabla 5.1 se presenta la composición del suelo en cada muestra, siguiendo la tabla de Honorato, (2000) y la tabla de cedazos Tyler (Brown *et al*, 1965), donde en función de los cedazos Tyler utilizados se obtuvo una clasificación, predominando la arena muy fina en las muestras de Tepetatera, Poblado 5, Poblado 7, Ejido 10 y Ejido 12. En las muestras de Parque Río 8 y Jales Rojos 9 predominó la arena gruesa. En la Presa de Jales 14, 15 y 16 predominó tanto la arena fina como la arena muy fina y finalmente en el suelo testigo predominó la arena muy fina. Se puede observar en la tabla una distribución de los demás tamaños de partícula en todos los casos, es importante indicar, dadas las características de la Edafología del suelo de la región que predomina el feldespato, cuarzo, basalto y las arcillas, posiblemente por la intemperización algo de limo. Debido a que solo se trabajó hasta la malla 100, no fue posible determinar limo y arcillas, ya que el primero debido a que su tamaño oscila de 0.05 a 0.002 mm de diámetro se retiene en cedazos con aberturas menores a 350 mallas y las arcillas con cedazos de 400 mallas, ya que el diámetro promedio es < 0.002 mm (Honorato, 2000).

Tabla 5.1. Composición de suelo en cada muestra

MUESTRA	Malla +20 0.833 mm	Malla +42 0.351 mm	Malla +80 0.175 mm	+100 0.147 mm	-100
Tepetatera 1	7.08	10.33	21.42	24.46	36.71
Poblado 5	4.87	9.88	19.85	26.16	39.24
Poblado 7	4.46	9.03	19.28	26.90	40.33
Parque Río 8	31.78	24.45	18.12	14.38	11.27
Jales Rojos 9	12.88	11.37	33.63	16.42	25.70
Ejido 10	6.18	7.28	17.57	29.65	39.32
Ejido 12	5.43	7.49	17.96	28.34	40.78
Presa de Jales 14	13.39	10.84	35.21	15.00	25.56
Presa de Jales 15	13.77	11.11	36.84	15.69	22.59
Presa de Jales 16	13.97	10.92	37.14	14.67	23.30
Suelo Testigo	11.55	12.13	15.22	25.66	35.44
Clasificación	Arena gruesa Diámetro 1.00-0.50 mm	Arena media Diámetro 0.5-0.25 mm	Arena fina Diámetro 0.25-0.10	Arena fina Diámetro 0.25-0.10	Arena muy fina

* Se presentan los valores en g, considerando un peso total de 100 g

5.4. Salinidad

En la figura 5.3 se observa que el mayor porcentaje de salinidad se presentó en el grupo de los jales rojos, seguido por la presa de jales, lo cual era de esperarse por la gran cantidad de minerales de los residuos mineros; en los demás grupos se registró muy baja salinidad, excepto en la muestra del suelo testigo que no se registró salinidad.

Éste es un parámetro importante, ya que nos determina la fertilidad que existe en la zona para la implementación de las plantas porque la salinidad puede afectar el crecimiento de las plantas.

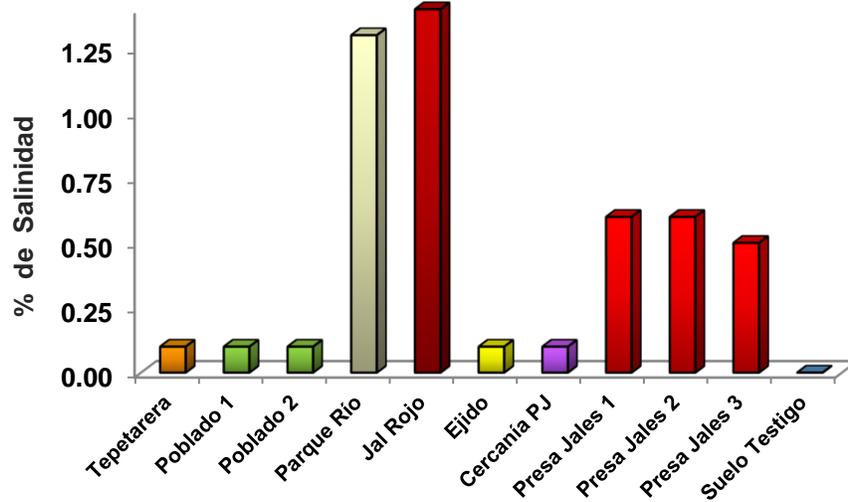


Figura 5.3. Porcentaje de salinidad en las muestras

5.6.- Conductividad Eléctrica (CE).

Nuevamente y debido a la alta salinidad, se observa en la figura 5.4 que el mayor nivel de conductividad eléctrica se presentó en el grupo de los jales rojos con valores veinte veces mayores que en el de tepetatera, poblado y ejido, mientras que en los jales grises fue diez veces mayores a dichos sitios y en suelo testigo fue relativamente bajo.

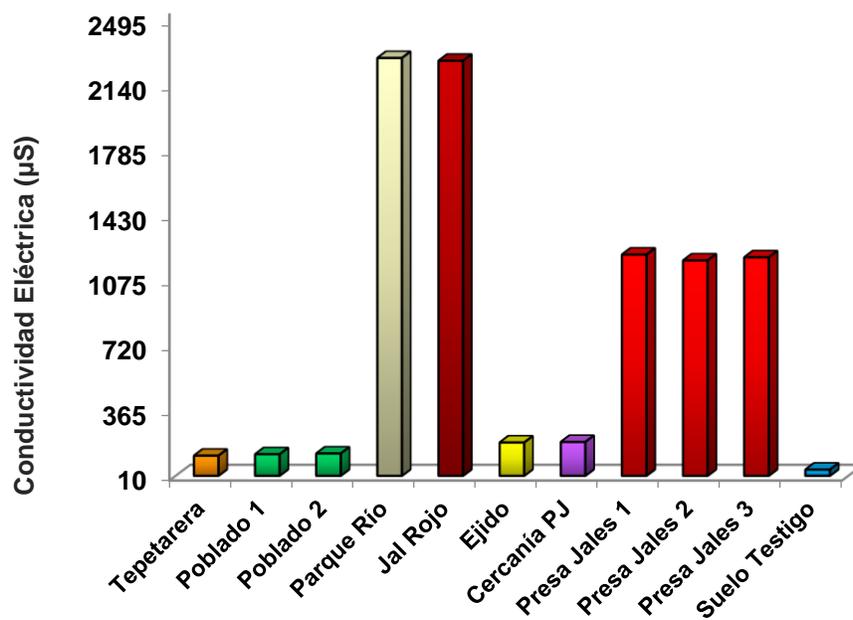


Figura 5.4 Nivel de CE registrado en cada muestra

5.7.- Resultados del Potencial de Hidrógeno (pH).

El pH es un factor esencial, para que la mayoría de los metales tiendan a estar más disponibles en un pH ácido, excepto para metales tales como 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).

En los resultados obtenidos se observó que el grupo de los jales rojos y la presa de jales mostraron un nivel ligeramente más ácido del punto neutro debido a los procesos de beneficio de los metales (Figura 5.5). En los grupos de la tepetatera, poblado, ejido y suelo testigo registraron niveles más alcalinos de acuerdo a la zona y suelo testigo acercándose más a la escala de neutralidad, ligeramente poco más alcalino.

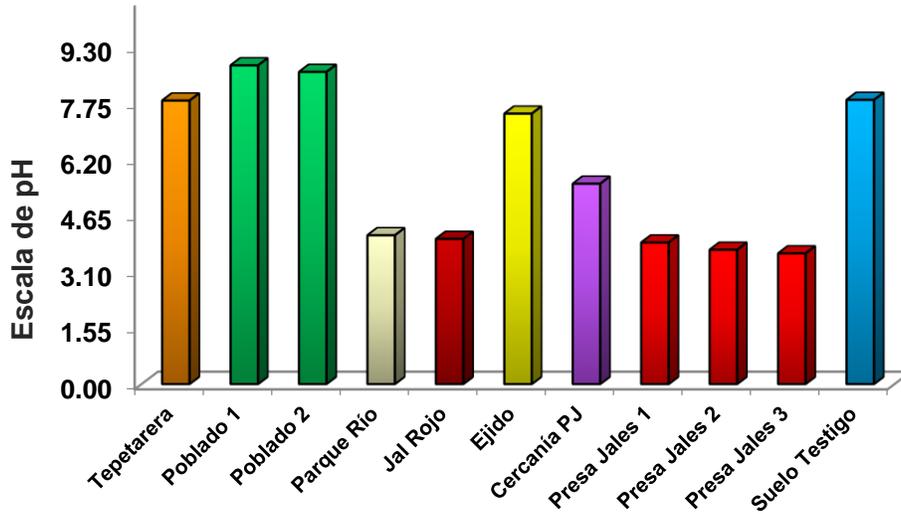


Figura 5.5. Nivel de pH registrado en cada muestra

5.8. Determinación del Carbono Orgánico (CO) y Materia Orgánica (MO) en suelos.

Para obtener el resultado final de dichos parámetros se tomó la media de la muestra y del duplicado obteniendo los siguientes resultados que se encuentran en la tabla 5.2.

Se observa un bajo porcentaje de CO y de MO en las muestras de los Jales Rojos y la Presa de Jales en comparación de las demás muestras, que aun así todas tienen un bajo porcentaje de ambas.

Tabla 5.2. Resultados obtenidos de CO y MO

MUESTRA (2 gr)	GASTO (ml)	CO (%)	MO (%)
Blanco 1	18.604	-	-
Muestra 1 (Tepetatera)	15.346	0.3414	0.5872
Muestra 2 (Poblado)	15.094	0.3679	0.6327
Muestra 3 (Jales Rojos)	16.882	0.1804	0.3102
Muestra 4 (Ejido)	14.738	0.4052	0.6969
Muestra 5 (Presa Jales)	16.513	0.2191	0.3768
Blanco 2	18.610	-	-
Muestra 1 (Duplicado)	15.341	0.3425	0.5891
Muestra 2 (Duplicado)	15.094	0.3684	0.6336
Muestra 3 (Duplicado)	16.869	0.1824	0.3137
Muestra 4 (Duplicado)	14.736	0.4059	0.6981
Muestra 5 (Duplicado)	16.510	0.2200	0.3784
Blanco 3	18.608	-	-

5.9. Materia Orgánica en Plantas Nativas (Método de pérdida por calcinación).

Una vez que fueron llevadas a pesar las muestras después de su calcinación, se determinó un peso muy similar en todas las muestras, lo que indica que son muy parecidas en contenido de MO, sin embargo, se puede apreciar en la tabla 5.3 que todas las muestras dieron un bajo nivel de materia orgánica y porcentaje en las plantas nativas.

Tabla 5.3 Resultados obtenidos mediante pérdida por calcinación.

MUESTRA (10 gr)	PESO (gr)	PORCENTAJE (%)
1	0.482	4.82
2	0.432	4.32
3	0.462	4.62
4	0.449	4.49
5	0.435	4.35
6	0.463	4.63
7	0.456	4.56
8	0.482	4.82
9	0.492	4.92
10	0.455	4.55
11	0.452	4.52
12	0.432	4.32
13	0.438	4.38
14	0.446	4.46
15	0.451	4.51
16	0.443	4.43

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 potencialmente tóxicos, 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).

5.10. Disponibilidad de metales presentes en suelos mediante EDTA y CaCl₂.

Los resultados de disponibilidad se presentan en las tablas 5.4 y 5.5, donde se observa que para ambos casos la disponibilidad más alta fue para los jales rojos donde los metales estén débilmente adsorbidos. En el caso de EDTA el más alto fue para el Pb mientras que en el caso del CaCl₂ fue el Zn.

Para los valores de disponibilidad, normalmente los valores para Pb, y Zn variaron entre 1 a 1500 mg/kg, Cu entre 0.1 y 250 mg/kg y con menores proporciones Cd de 0.01 a 2 mg/kg (Bowen, 1979), lo cual en EDTA están marcados los valores que entran dentro del intervalo normal y los que no se encuentran debajo del intervalo. Para CaCl₂ todos estuvieron debajo del intervalo normal y fue menor la biodisponibilidad mediante esta solución.

Tabla 5.4. Medición de disponibilidad empleando EDTA.

EDTA (mg/kg suelo)				
MUESTRA	Cd	Cu	Pb	Zn
Tepetatera	0.1548	0.04733	0.04331	0.2977
Poblado	0.001367	0.2603	0.4437	0.8255
Jales Rojos	0.2815	0.7127	1.635	0.6753
Ejido	0.02469	0.04331	0.09324	0.5971
Presa Jales	0.05541	0.1302	0.2591	0.9758

Tabla 5.5. Medición de la disponibilidad empleando CaCl₂.

CaCl ₂ (mg/kg suelo)				
MUESTRA:	Cd	Cu	Pb	Zn
Tepetatera	0.00199	0.002041	0.000879	0.1671
Poblado	0.00304	0.001336	0.000650	0.007393
Jales Rojos	0.05921	0.002676	0.02101	0.6255
Ejido	0.00486	0.000982	0.000690	0.01552
Presa Jales	0.00301	0.001884	0.001692	0.06742

5.11. Determinación de C, H y N (Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno) en suelos.

En la tabla 5.6 se pueden observar contenidos muy bajos de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno para la muestra de los Jales Rojos y la Presa de Jales, aun así, son valores muy bajos para todas las muestras en general.

Las ausencias de éstos bioelementos nos indican la poca actividad biológica y difícil desarrollo vegetal en esta zona.

Tabla 5.6. Determinación de C, H y N en suelos.

Muestra	% C	% H	% N	Desviaciones del método	Descripción de la muestra
Tepetatera	2.58	0.55	0.30	Heterogénea	Sólido marrón oscuro
Poblado	3.12	0.55	0.26	Heterogénea	Sólido marrón claro
Jales Rojos	0.07	0.40	0.19	-	Sólido marrón rojizo
Ejido	2.85	0.70	0.39	Heterogénea	Sólido marrón claro
Presa Jales	0.63	0.32	0.05	Heterogénea	Sólido negro grisáceo

5.12. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La ausencia de iones tales como Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ y K⁺, generan la presencia de acidez y salinidad de un suelo, por lo que limita al crecimiento de las plantas, además de su desarrollo y movimiento de los contaminantes.

En la tabla 5.7 se puede observar el contenido de iones de Ca⁺² y Mg⁺² presentes en las diferentes muestras de suelo medidas mediante Absorción Atómica, dando un mayor contenido en la

muestra de Jales Rojos para ambos, mientras que los valores más bajos se presentaron en el Ejido y en la Presa de Jales respectivamente.

Tabla 5.7. Contenido de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} en suelos

Muestra:	Ca^{2+} mg/kg	Mg^{2+} mg/kg
Tepetatera	6.058	4.310
Poblado	9.126	6.422
Jales Rojos	12.64	14.84
Ejido	7.623	2.752
Presa Jales	8.430	1.638

En la tabla 5.8 se puede observar el contenido de iones de Na^+ y K^+ presentes en las diferentes muestras de suelo medidas mediante Fotometría de llama, dando un mayor contenido en el Poblado y en la Tepetatera respectivamente, mientras que los valores más bajos se presentaron en la Presa de Jales.

Tabla 5.8. Contenido de iones de Na^+ y K^+

Muestra:	Na^+ mg/kg	K^+ mg/kg
Tepetatera	53	195
Poblado	142	138
Jales Rojos	45	121
Ejido	136	76
Presa Jales	18	64

Los iones de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+ pertenecen a los macronutrientes esenciales para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos (100 mg o más por día), lo cual muy pocos cumplen con los parámetros establecidos. Cabe resaltar que la presa de jales no cumple con ningún nivel requerido y por lo mismo es muy difícil el crecimiento y desarrollo de los organismos en la zona.

5.3. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN JALES Y SUELOS

5.3.1. Determinación de la concentración de metales en los jales y suelos

Se determinó la concentración de los diferentes metales comprometidos en esta tesis, dado que los resultados son abundantes por metal en esta sección se indicará tanto la concentración de cada uno, como su variación en los diferentes sitios.

5.3.1.1. Caso del Cadmio

En la figura 5.6, se presentan las concentraciones en mg/kg de Cd determinado en los diferentes sitios de muestreo donde, como se indicó en la metodología (capítulo 4), se realizaron por

técnicas de cuarteo grupos de muestras para formar una muestra compuesta, de las cuales se analizaron tres réplicas por muestra compuesta. Se observó que la acumulación mayor fue en el sitio correspondiente al Sitio Jal Rojo (SJR), seguido de los sitios Suelo de la Presa de Jales 2,3 y 1 que son cercanos entre sí. Los valores menores corresponden a los sitios del suelo Ejido 1, 2 y 3 (SE) respectivamente.

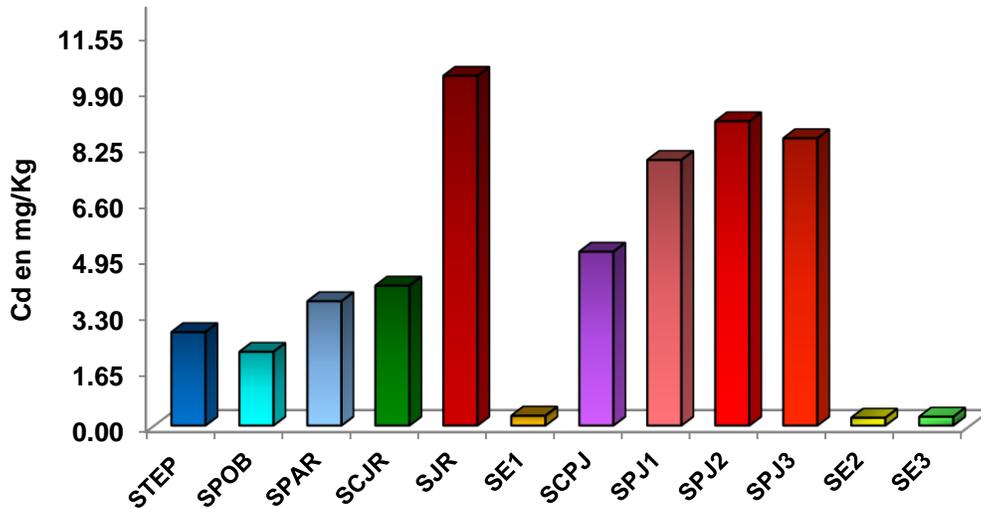


Figura 5.6. Concentración de Cd en mg/kg en los sitios de muestreo

Para tener una mejor idea de la distribución de este metal al menos en los sitios trabajados, se presenta en la figura 5.7, cómo está distribuido este metal.

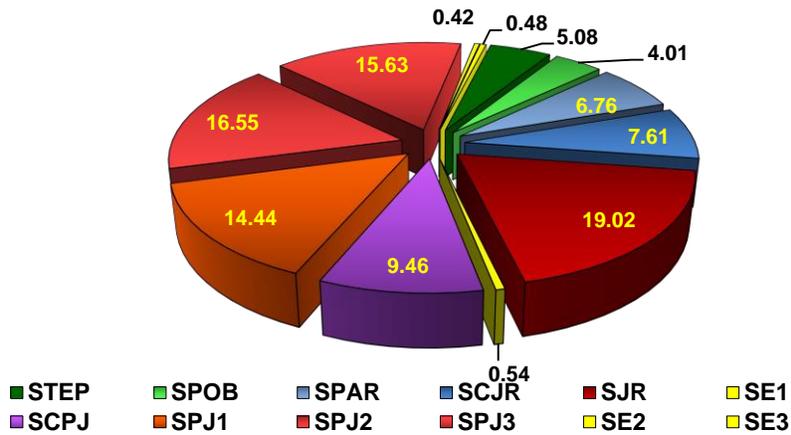


Figura 5.7. Distribución en % de Cd en los diferentes sitios

Se observa que el mayor porcentaje de acumulación de cadmio fue en el sitio Jal Rojo (SJR)

5.3.1.2. Caso del cobre

En la figura 5.8, se presentan las concentraciones en mg/kg de Cu determinado en los diferentes sitios de muestreo. Se observó que la acumulación mayor fue en el sitio correspondiente al Sitio Jal Rojo (SJR), seguido de los sitios Suelo de la Presa de Jales (SPJ) 1,2 y 3, Suelo Cercanía Jal Rojo (SCJR), Suelo Parque Rio (SPAR) y Suelo Cercanía Presa Jales (SCPJ) en forma descendente. Los valores menores corresponden en forma ascendente a los sitios Suelo Poblado (SPOB), Suelo Ejido 2 (SE2), Suelo Tepetatera (STEP), Suelo Ejido 1 (SE1) y Suelo Ejido 3 (SE3) respectivamente.

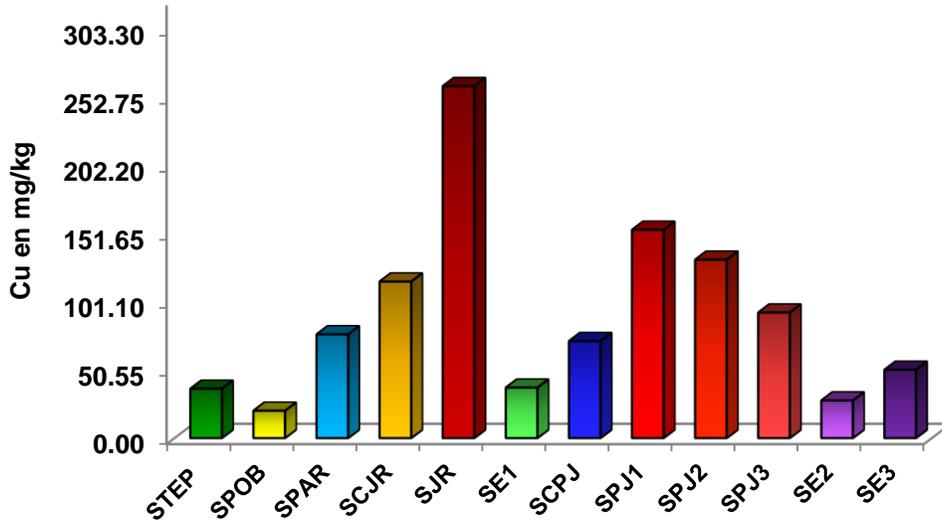


Figura 5.8. Concentración de Cu en mg/kg en los sitios de muestreo

Se presenta en la figura 5.9, una distribución porcentual del cobre considerando los sitios seleccionados para este estudio.

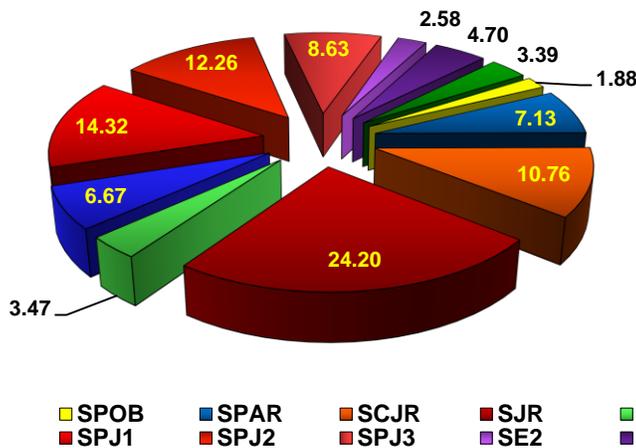


Figura 5.9. Distribución en % de Cu en los diferentes sitios

En la figura 5.8, se observa que este metal se encuentra en concentraciones pequeñas y se ve que el mayor porcentaje está acumulado en el sitio de Jal Rojo seguido de los sitios cercanos a la Presa de Jales, esto puede ser benéfico en agricultura ya que es un oligoelemento considerado como nutriente de suelos en agricultura (Barceló *et al*, 2000).

5.3.1.3. Caso del Plomo

En la figura 5.10, se indica la concentración de plomo en mg/ kg obtenido en los diferentes sitios de muestreo.

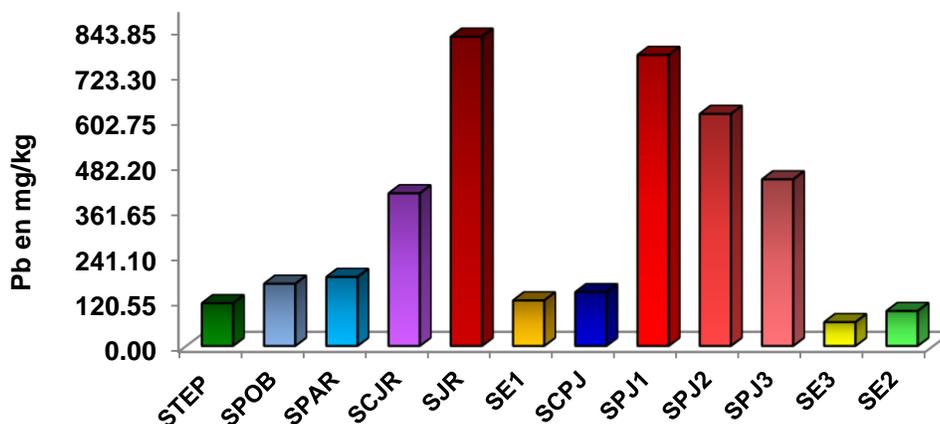


Figura 5.10. Concentración de Pb en mg/kg en los sitios de muestreo

Se observó que la acumulación mayor fue en el sitio correspondiente al Sitio Jal Rojo (SJR), seguido de los sitios Suelo de la Presa de Jales (SPJ), 1,2 y 3 y el sitio cercano al Jal Rojo (SCJR), que como en el caso del cobre, son los sitios donde están más acumulados los desechos mineros, es importante resaltar que la concentración de Pb es mucho más elevada que en el caso del Cu.

Los valores menores corresponden en forma ascendente a los sitios Suelo Ejido 3 (SE3), Suelo Ejido 2 (SE2), Suelo Tepetatera (STEP) y Suelo Cercanía Presa de Jales (SCPJ) respectivamente. En el caso de los sitios Suelo Parque Río (SPAR) y Suelo Poblado (SPOB), aunque menores a los relacionadas con los sitios de los desechos mineros no deja de ser un metal con alta potencialidad tóxica.

En la figura 5.11, se indica el porcentaje de distribución del plomo en los diferentes sitios, este es un metal potencialmente tóxico, por lo que es importante su eliminación principalmente en las cercanías del poblado, ya que hasta en concentraciones pequeñas es tóxico para los humanos, animales y plantas.

Se observa al igual que en el caso del cobre, los sitios Jal Rojo y los cercanos a la Presa de Jales presentó el mayor porcentaje de distribución, aunque en concentraciones mayores que el cobre.

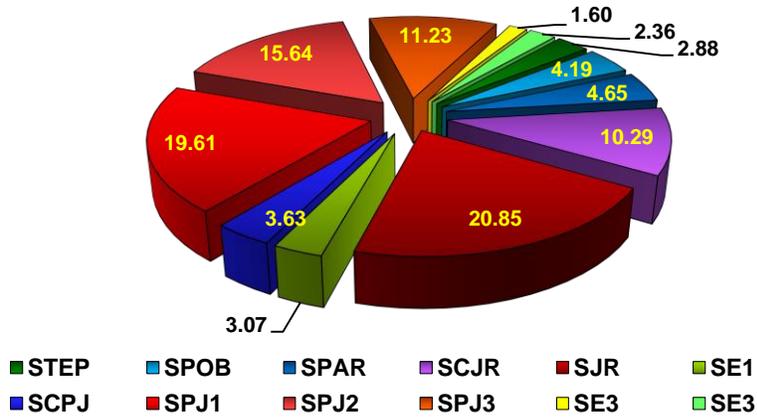


Figura 5.11. Distribución en % de Pb en los diferentes sitios

5.3.1.4. Caso del Zinc

En la figura 5.12, se muestra la concentración de zinc en mg/ kg en los jales y suelos de muestreo, al contrario de los metales anteriores, el zinc se encontró en cantidades mucho mayores.

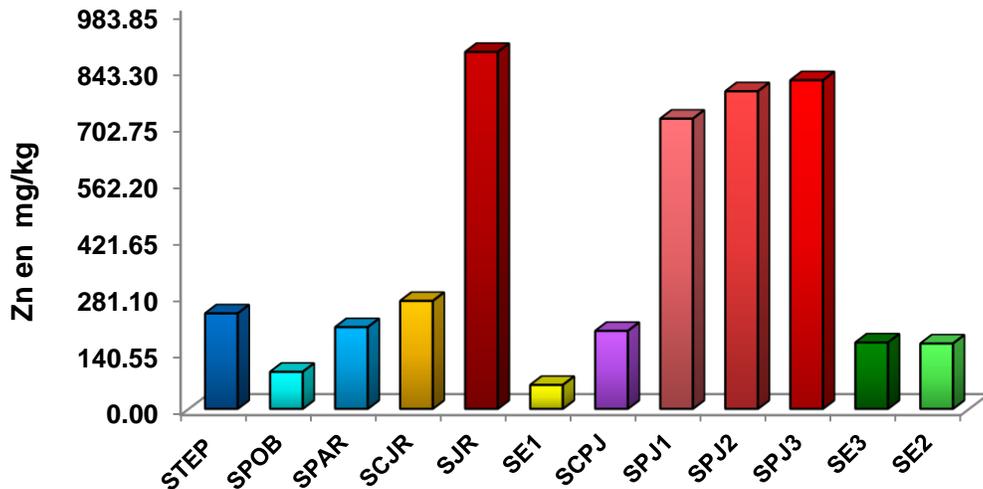


Figura 5.12. Concentración de Zn en mg/kg en los sitios de muestreo

Se observó que la acumulación mayor también es en el sitio correspondiente al Sitio Jal Rojo (SJR), seguido de los sitios Suelo de la Presa de Jales (SPJ), 3, 2 y 1, valores contrarios en concentración al caso del plomo, que fue al revés. En el caso del sitio Cercano al Jal Rojo (SCJR), son los sitios donde están más acumulados los desechos mineros. En el sitio Cercano al Jal Rojo (SCJR), contrario a lo que se pensaba, se encontró relativamente con una concentración menor a pesar de que este sitio se encuentra cercano a la zona de desechos mineros. Los valores menores corresponden en forma ascendente a los sitios Suelo Ejido 1 (SE1), Suelos Poblado (SPOB), Suelo Ejido 2 (SE2), Suelo Ejido 3 (SE3), Suelo Presa de Jales (SCPJ), que también se

pensaba que tendría altos valores de concentración, Suelo Parque Río (SPAR), Suelo Tepetatera (STEP) y Suelo Cercano a Jal Rojo (SCJR) respectivamente

Se presenta en la figura 5.13, una distribución porcentual del zinc, considerando de la misma forma que los metales anteriores, en los sitios seleccionados para este estudio. Este metal presentó concentraciones elevadas en los diferentes sitios respecto a los anteriores metales.

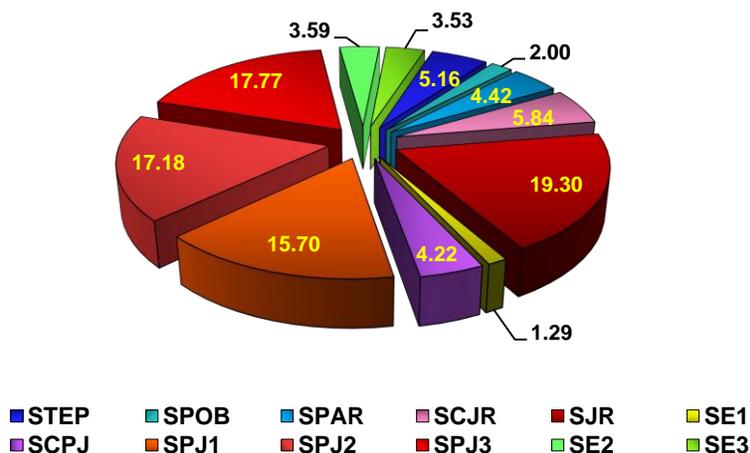


Figura 5.13. Distribución en % de Zn en los diferentes sitios

En la tabla 5.9 se pueden apreciar los niveles de concentración para cada metal, así como sus niveles para la producción de alimentos y cuándo se consideran fitotóxicos, éstos últimos son valores importantes para la fitoextracción y por consiguiente a la fitorremediación, ésta tabla está basada en los trabajos de Kabata *et al* (1991).

Los niveles más altos corresponden al Zn, el cual es un micronutriente, en cambio el Cd a pesar de presentar niveles muy bajos, al igual que el Pb, que es alta su concentración respecto al Cd, son metales contaminantes potencialmente tóxicos.

Tabla 5.9. Niveles de Metales en los Suelos

Metal	Mínimo (mg/Kg)	Máximo (mg/Kg)	Coefficiente de Variación	Niveles aceptables para la producción de alimentos sanos* (mg/Kg)	Niveles considerados fitotóxicos* (mg/Kg)
Cd	0.24	2.1	60	3.00	0.25
Cu	38.4	81.3	22	100.00	28.6
Zn	44.1	294.7	56	300.00	38.0
Pb	18.1	138.5	66	100.00	8.2

En la figura 5.14, se representan todos los metales y se puede observar la proporción entre cada uno, donde existe un mayor nivel de concentración de Cd en la muestra de los Jales Rojos seguido por el grupo de la Presa de Jales. En el grupo del Ejido se presentaron muy bajos niveles, sin embargo, esto es perjudicial ya que en casi todas las muestras (a excepción del grupo del ejido (SE)) rebasan los límites máximos permitidos de concentración. En general el zinc y el plomo se encontraron en todos los sitios en concentraciones mayores que el cobre y el cadmio.

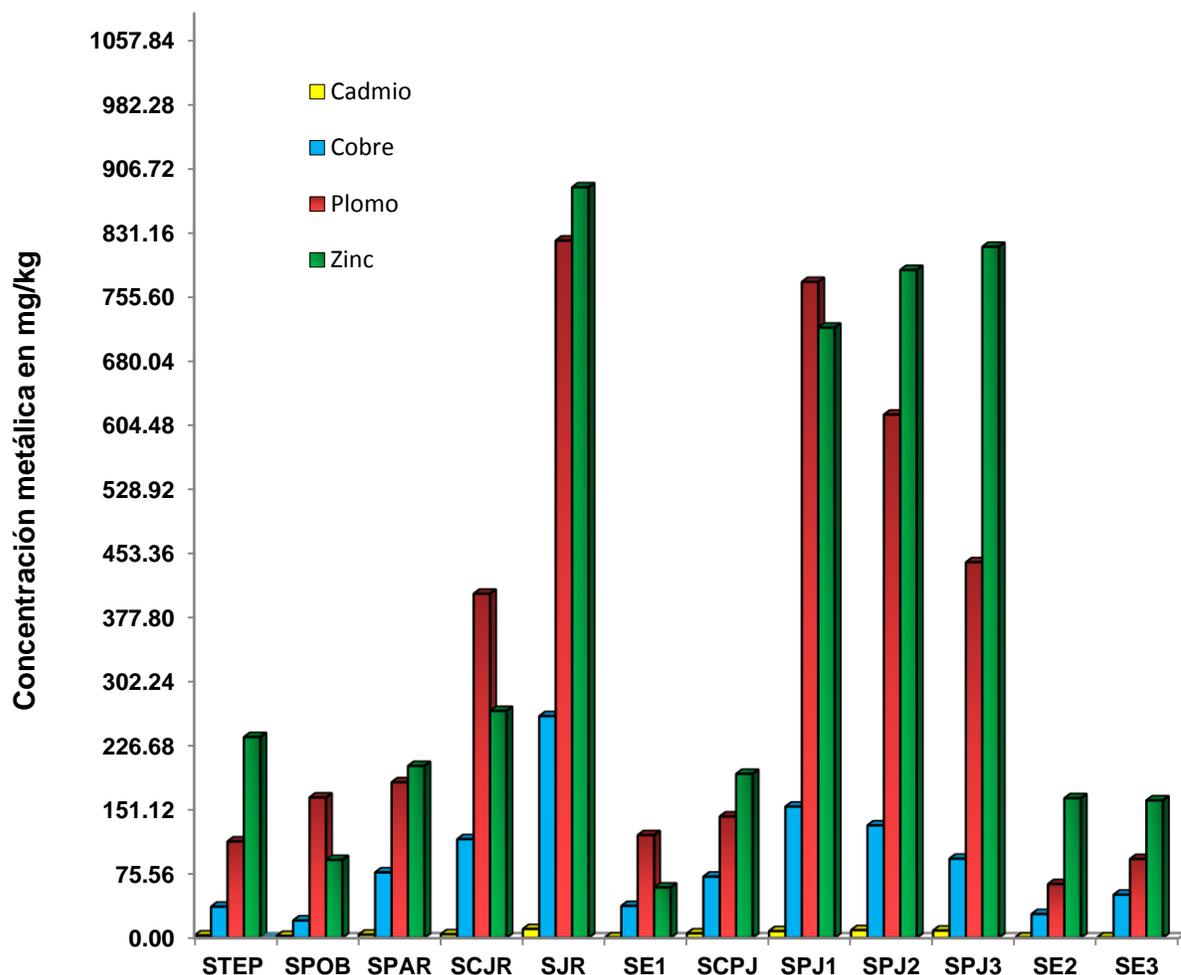


Figura 5.14. Relación de concentración de todos los metales en los diferentes sitios

5.4. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN LAS PLANTAS NATIVAS

En esta sección se presentan las concentraciones de los metales en las plantas nativas recolectadas en los diferentes sitios. No se detectó Cd por el método AA por flama, lo que indica que los valores, de estar presente este metal, estuvieron por debajo del límite de detección.

5.4.1.1. Caso del cobre

En la figura 5.15 se presenta la concentración de Cu en las plantas nativas de la zona, cada color representa el tipo de planta

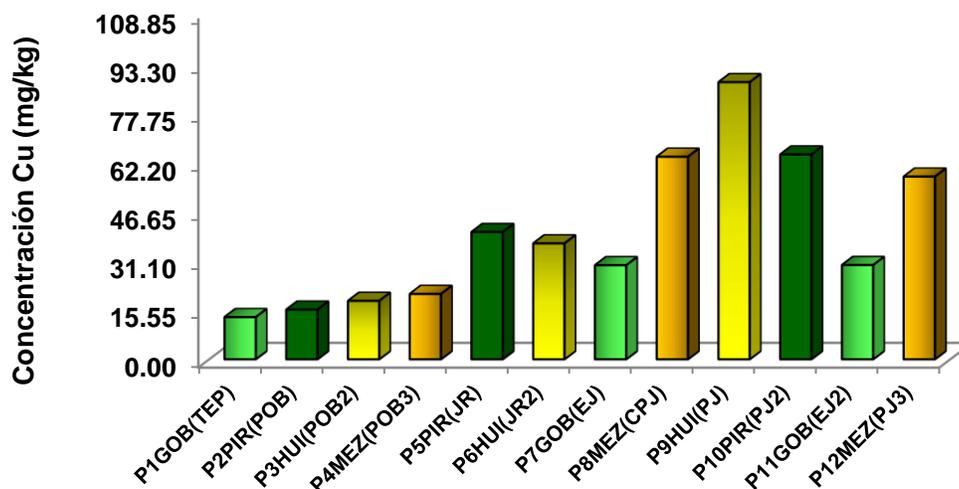


Figura 5.15. Concentración de Cu en las plantas nativas recolectadas

Así **el verde claro**, corresponde a la planta 1 (Gobernadora), La Gobernadora o *Larrea Tridentata*, es el nombre científico con el que se define a la Gobernadora y es una de las cinco especies de arbustos que se encuentran distribuidos en América de los denominados perennifolios, duraderos o “siempre verdes” y fue nombrada así en honor a Juan Antonio Hernández Larrea, un clérigo español, amigo de la ciencia, que fue deán del cabildo de Zaragoza y obispo de Valladolid. La Gobernadora también es conocida como “wamis” término tomado de la lengua Tarahumara, chapote, hediondilla y creosota (compuesto químico) por su olor y chaparral dado su uso medicinal en algunas otras regiones de América.



Figura 5.16. Arbusto Gobernadora o wamis (*Larrea Tridentata*) y flores

Es un arbusto ramificado con pequeñas hojas verde oscuras, resinosas, sedosas y con flores amarillas que crece en zonas semidesérticas por ser altamente resistente a temporadas de sequía y temperaturas extremas, como lo es en la región donde se ubica este proyecto, por lo general se usa como adorno o ambientación en nacimientos, pero cabe destacar que es de admirar la forma en la que sobrevive al desierto, figura 5.16. Esta planta es un arbusto que puede medir desde los 30 a 60 centímetros y llegar hasta los 2 o 3 metros. Su nombre se debe a que tiene raíces tan largas y fuertes que se distribuyen a su alrededor para aprovechar toda la

humedad posible, por lo que no deja que ninguna otra planta crezca cerca de ella, incluyendo sus propias semillas, “gobernando así el territorio”, característica que le permite llegar a vivir de 30 a 90 años.

El **color verde intenso** corresponde a la planta **Pirul**, figura 5.17, cuyo nombre científico es *Schinus molle* L., Anacardiaceae. Árbol de 15m de altura, siempre verde con ramas colgantes, aromático resinoso, con tronco grueso. Las hojas están divididas en hojas como plumitas, las flores son pequeñas de color crema, parecen encaje, con los frutos globosos y de color rojo rosa. Planta originaria del Perú, está presente en climas cálido, semicálido, semiseco y templado desde los 900 hasta los 3900 msnm. Planta silvestre que crece a orilla de caminos, adaptada a distintos hábitats, en matorral xerófilo, pastizal, zona de transición entre bosque mesófilo de montaña y bosque de encino, bosque de pino, mixto de pino-encino y bosque de juníperus. Las hojas y frutos contienen un aceite esencial rico en mono y sesquiterpenos. En el aceite obtenido del fruto, se han identificado monoterpenos como, butirato de geraniol, limoneno, gama-terpineno, entre otros; y los sesquiterpenos trans-ene-alfa-bergamont. Otros componentes de este órgano son el sesquiterpeno iso-precalamenediol, los flavonoides quercetín y rutín y beta-sitosterol. En la semilla se encuentran el sesquiterpenos triterpenos o. Los frutos contienen un aceite esencial, gomoresina y taninos.



Figura 5.17. Planta Pirul (*Schinus molle* L.), frutos y tipo de hojas

El **color amarillo** corresponde a la planta **Huizache**, figura 5.18, su nombre científico es *Acacia pennatula* es un árbol o arbusto que mide desde 3 hasta 8 m de altura y hasta 0.40 m. de diámetro normal. Tronco de corteza oscura y ramaje tortuoso en zig-zag. Follaje semicaduco. Hojas bipinnadas, con dos espinas blancas y rectas de 2-3 cm de longitud en la base de las mismas. Los foliolos miden de 3-8 mm de longitud, linear-oblongas, verdes, con el ápice obtuso o ligeramente agudo. Presenta floración de junio a febrero, las cuales son grupos de 2-6 cabezuelas, de color amarillo dorado, fragantes, de 1-1.5 cm de diámetro. La fructificación se da de febrero a mayo, esta es una legumbre indehisciente, derecha o algo curvada, de color negruzco, de unos 5-9 cm de longitud, en cada fruto se encuentran de 8 a 15 semillas insertas en una pulpa blanca. Tolerancia a ambientes con poca humedad relativa y suelos pobres con escasa humedad. Tiene baja resistencia a las heladas. Su madera se utiliza para leña, herramientas agrícolas, postes y artesanías. Las hojas, frutos y follaje son excelentes como forraje por su alto contenido de proteína. Las flores se utilizan en perfumería e industria de los cosméticos. La

corteza y fruto son ricos en taninos para teñir y fabricar tintas. Del tronco se extrae látex, goma y resinas. Varias partes de la planta tienen propiedades medicinales.



Figura 5.18. Planta Huizache (*Acacia pennatula*), con flores, vainas y espinos característicos.

El **color anaranjado** corresponde a la planta **Mesquite**, figura 5.19, del náhuatl mizquitl, su nombre científico es *Prosopis laevigata*, hay otra variedad que es el *Prosopis glandulosa*, la planta es una especie leguminosa. Se encuentran principalmente en las zonas áridas y semiáridas de México, abarcando el centro-sur del país, donde su abundancia da nombre a algunas regiones, entre las que se encuentra el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo; abundan especialmente en estados como Jalisco, Zacatecas y Aguascalientes, donde son considerados el árbol oficial. Estos árboles caducifolios generalmente llegan a medir entre 6 y 9 m de altura, aunque es común encontrarlos como arbustos. Tienen hojas angostas, bipinnadas, compuestas, de 5 a 7,5 cm de largo y con puntas suaves, y ramas con espinas. La corteza es gruesa, presenta marcas de color oscuro. Las ramas jóvenes se encuentran ligeramente marcadas con hendiduras, de color verde a café verdoso tostado, con espinas en pares y cada espina hasta de 3.5 cm de largo, gruesas en la base y agudas en la punta. Las hojas se encuentran dispuestas en espiral, aglomeradas encima de cada par de espinas; el largo de las hojas es de 4 a 13 cm, son hojas compuestas formadas por 1 a 2 pares de hojas o folíolos primarios, que a su vez se dividen en hojas secundarias formadas entre 18 a 30 pares de folíolos secundarios, estos pequeños folíolos se pegan en la base a la ramilla que los soporta, miden entre 5 a 10 mm de largo y de 1 a 1.2 mm de ancho, son homogéneos, el último par de folíolos en ocasiones es asimétrico; con el margen entero, punta y base redondeados, de color verde pálido; entre cada par de folíolos primarios se observa una glándula protuberante y aplanada. Esta especie pierde las hojas en época de secas.

Las flores se encuentran en racimos densos y axilares de 3 a 10 cm de largo; las flores son perfumadas; florece todo el año. Los frutos son vainas de 8 a 16 cm de largo, se encuentran comprimidas cuando jóvenes y son casi cilíndricas en la madurez; los frutos terminan en una punta aguda, de color amarillento oscuro, de olor y sabor dulce, contiene numerosas semillas redondeadas, aplanadas de 6 mm de largo, de un color café-verdoso o amarillento. Los mezquites dan buena sombra en hábitats donde otros árboles no prosperan. Siendo leguminosas, los mezquites hacen fijación de nitrógeno en el suelo donde crecen. La madera de mezquite es dura, y se usa para fabricar muebles e implementos. Como leña arde lentamente.

En las barbacoas, el humo de la madera agrega un aroma distinto a la comida. La leña de Mezquite se suele usar en México para la preparación del platillo típico "barbacoa" y en Sonora la carne asada. Las flores de mezquite dan un néctar para las abejas. Las hojas de mezquite se usan medicinalmente: la infusión de éstas se usa en enfermedades de los ojos. Las semillas de mezquite pueden ser secadas y molidas para producir harina, dando un dulce y mantecoso aroma a pan caliente; esta mezcla también se usa para hacer mermelada o vino. El árbol alcanza hasta

13 m de alto y 40 cm de diámetro, generalmente su talla es menor, con el tronco derecho y corto, copa irregular y densa.



Figura 5.19. Árbol del mezquite (*Prosopis laevigata*), flores, vainas y espinos

La Gobernadora fue recolectada en los sitios de la Tepetatera P1 (TEP), con una concentración de 13.33 ± 0.513 mg/kg, seguida de 27.73 ± 0.389 mg/kg del sitio del Ejido planta 7 (EJ) y por último 29.78 ± 0.342 mg/kg al sitio del Ejido 2, planta 11 (PJ2), este último presentó la mayor acumulación por la cercanía a los sitios donde se presentan los desechos mineros.

El Pirul se recolectó en los sitios del Poblado P1 (POB), con una concentración de 15.70 ± 0.281 mg/kg, seguida de 40.21 ± 0.287 mg/kg del sitio Jal Rojo planta 5 (JR) y por último 64.68 ± 1.686 mg/kg al sitio Presa Jal 2, planta 10 (PJ2), este último presentó la mayor acumulación, seguida del sitio Jal Rojo, lo cual es lógico, ya que en estos sitios se presentan los desechos mineros.

El Huizache se recolectó en los sitios Poblado 2 (POB2), planta 3, con una concentración de 18.48 ± 0.236 mg/kg, 36.62 ± 0.489 mg/kg para el sitio Jal Rojo 2, (JR2), planta 6 y 87.53 ± 0.952 mg/kg en el sitio Presa Jal (PJ), planta 9. Este último sitio presentó la mayor acumulación, seguida del sitio del Jal Rojo.

En el Mezquite los valores obtenidos fueron: 20.65 ± 0.294 mg/kg en el sitio Poblado 3 (POB3), planta 4 seguido de 63.97 ± 0.976 mg/kg en el sitio Cercano Presa Jal (CPJ), planta 8 y 57.69 ± 1.281 mg/kg en el sitio Presa Jal 3 (PJ3) planta 12, los valores más altos fueron en los sitios relacionados con la presa de jales, donde están concentrados los desechos mineros. La planta que menor concentración presentó fue la gobernadora, pero es importante hacer notar que se recolectaron muestras en zonas menos contaminadas.

Las plantas que presentaron mayor acumulación fueron, el Huizache que presentó la mayor acumulación, seguido en la misma proporción, el Mezquite y el Pirul, es importante mencionar que estas plantas fueron recolectadas en la zona correspondiente a la Presa de Jales. Considerando la tabla 5.9 que indica que el Cu presenta fitotoxicidad en una concentración mínima de **28.60 mg/kg**, de manera que en la tabla 5.10 se tiene una evaluación de la fitotoxicidad de las plantas en función del sitio.

Tabla 5.10. Evaluación de la fitotoxicidad del Cu en las plantas nativas

PLANTA	SITIOS	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	FITOTOXICIDAD
GOBERNADORA	Ejido 1 y 2	29.73 y 29.78	Rebasan ligeramente el límite
PIRUL	Jal Rojo 1 y Presa Jal 1	40.21 y 64.68	Rebasan el límite
HUIZACHE	Jal Rojo 2 y Presa Jal 1	36.62 y 87.53	Rebasa ligeramente y rebasa el límite respectivamente
MEZQUITE	Cercano Presa Jal 2 y Presa Jal 3	63.97 y 57.69	Rebasan ambos el límite

5.4.1.2. Caso del plomo

Con respecto a este metal, en la figura 5.20, de manera semejante al caso del cobre, se presenta, la acumulación de Pb en las plantas y en los mismos sitios que el caso anterior.

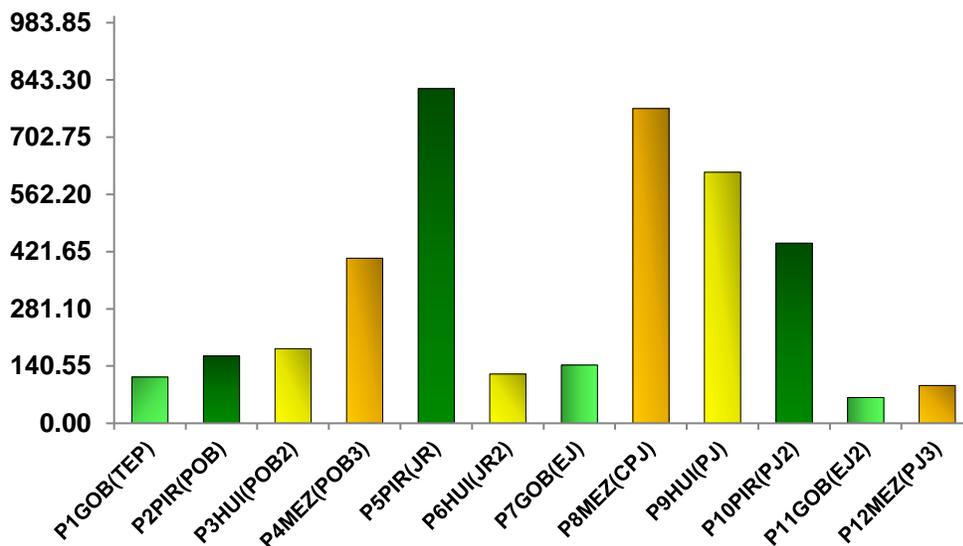


Figura 5.20. Concentración de Pb en las plantas nativas recolectadas

Donde el **verde claro**, corresponde a la planta **Gobernadora**, correspondiente a los sitios Tepetatera (STEP) planta 1, Ejido 1 (SE1) planta 7 y Ejido 2 (EJ2) planta 11, con los valores 6.93 ± 0.257 , 29.94 ± 1.213 y 25.99 ± 1.176 mg/kg respectivamente, siendo la de mayor concentración la planta recolectada en el sitio Ejido 2 (SE2), seguida del sitios Tepetatera.

Respecto la planta **Pirul**, **color verde intenso**, los valores hallados son: sitio Poblado (POB) planta 2, con 8.44 ± 0.421 mg/kg, sitio Jal Rojo (JR) planta 5, 116.27 ± 2.038 mg/kg y Presa Jal 2 (PJ2) planta10 con 110.51 ± 3.053 mg/kg, donde la mayor concentración en el Pirul fue en los sitio JR y PJ2.

La siguiente planta corresponde al **Huizache**, barras de **color amarillo**, para este caso los valores determinados fueron Sitio población 2 (POB2), planta 3, con una concentración de 9.17 ± 0.202 mg/kg, para Jal Rojo 2 (JR2) planta 6, 111.80 ± 3.042 mg/kg y 113.23 ± 1.976 mg/kg para Presa Jal 1 (PJ1), planta 9. De nuevo el Huizache que presentó la mayor concentración fue el correspondiente al sitio PJ1, donde se encuentran concentrados los desechos mineros.

Finalmente la barra de **color anaranjado** representa al **Mezquite**, con los valores de: 13.43 ± 0.521 , 104.66 ± 2.991 y 106.49 ± 3.213 mg/kg, correspondientes a los sitios, Poblado 3 (POB3), planta 4, Cercano Presa Jal (CPJ), planta 8 y Presa Jal 3 (PJ3), planta 12 respectivamente

En la tabla 5.11 se indica la evaluación de fitotoxicidad probable, considerando según la tabla 5.9 un valor de **8.20 mg/kg**.

Tabla 5.11. Evaluación de la fitotoxicidad del Pb en las plantas nativas

PLANTA	SITIOS	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	FITOTOXICIDAD
GOBERNADORA	Tepetatera, Ejido 1 y 2	6.93, 29.94 y 25.99	El primero no rebasó el límite y los últimos sí, pero no tan elevado
PIRUL	Poblado, Jal Rojo1 y Presa Jal1	8.44, 116.27 y 110.51	El primero está prácticamente en el límite y los dos últimos rebasaron en forma elevada el límite.
HUIZACHE	Población 2, Jal Rojo2 y Presa Jal1	9.17, 111.80 y 113.23	Los dos últimos rebasan en forma elevada, y el primero ligeramente por arriba del valor límite.
MEZQUITE	Poblado 3, Cercano Presa Jal2 y Presa Jal3	13.43, 104.66 y 106.49	Todos rebasan el límite principalmente los dos últimos en forma elevada

4.1.3. Caso del zinc

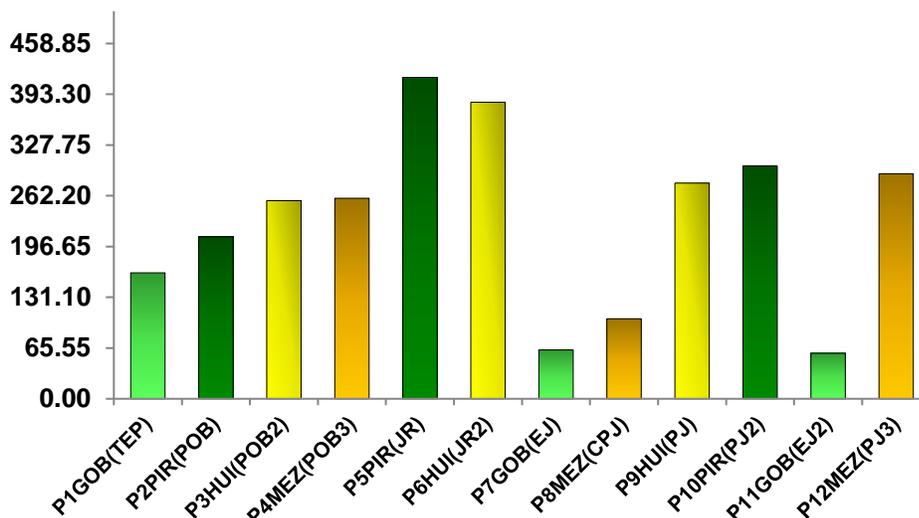


Figura 5.21. Concentración de Zn en las plantas nativas recolectadas

El **verde claro**, como en los casos anteriores está relacionado con la planta Gobernadora, correspondiente a los sitios Tepetatera (ATEP) planta 1, Ejido 1 (SE1) planta 7 y Ejido 2 (EJ2) planta 11, con los valores 162.71 ± 0.06341 , 63.14 ± 0.15712 y 58.81 ± 0.01405 mg/kg respectivamente, siendo la de mayor concentración la planta recolectada en el sitio Gobernadora (TEP) planta 1, seguida del sitios Ejido 1 (EJ) planta7 y EJ 2(Planta 11).

Con el **color verde intenso** se representa a la **planta Pirul**, los valores hallados son: sitio Poblado (POB) planta 2, con 209.28 ± 0.10076 mg/kg, sitio Jal Rojo (JR) planta 5, 415.15 ± 11.80031 mg/kg y Presa Jal 2 (PJ2) planta10, con 300.83 ± 0.70166 mg/kg, donde la mayor concentración en el **Pirul** fue en los sitio Jal Rojo (JR), seguido del sitio Presa Jal 2 (PJ2).

La **planta Huizache**, corresponde al **color amarillo**, donde los valores obtenidos fueron: Sitio poblado 2 (POB2), planta 3, con una concentración de 255.93 ± 0.03853 mg/kg, Jal Rojo 2 (JR2) planta 6 con 383.01 ± 3.29538 mg/kg y 278.51 ± 0.32476 mg/kg para Presa Jal 1 (PJ1), planta 9. En este caso, el **Huizache** que presentó la mayor concentración fue el correspondiente al Sitio Jal Rojo 2 (JR2), seguido el de la Presa de Jales (PJ) y con un valor cercano a éste el del Poblado 2 (POB 2)

Finalmente con el **color anaranjado** se representa al **Mezquite**, con los valores de: 259.03 ± 1.06489 , 103.40 ± 2.05724 y 290.68 ± 0.85783 mg/kg, correspondientes a los sitios, Poblado 3 (POB3), planta 4, Cercano Presa Jal (CPJ), planta 8 y Presa Jal 3 (PJ3), planta 12 respectivamente. Donde la mayor concentración se encontró en los sitios, Presa de Jales 3 (PJ 3) y Poblado 3 (POB 3), siendo el menor en el sitio cercano a la Presa de Jales (CPJ).

En la tabla 5.12 se indica la evaluación de fitotoxicidad probable, considerando según la tabla 5.9 un valor de **38.00 mg/kg**.

Tabla 5.12. Evaluación de la fitotoxicidad del Zn en las plantas nativas

PLANTA	SITIOS	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	FITOTOXICIDAD
GOBERNADORA	Tepetatera, Ejido 1 y 2	162.71, 63.14 y 58.81	Todos rebasan el valor límite, principalmente el primero
PIRUL	Poblado, Jal Rojo1 y Presa Jal1	209.28, 415.15 y 300.83	Todos rebasan en forma elevada el valor límite.
HUIZACHE	Población 2, Jal Rojo2 y Presa Jal1	255.93, 383.01 y 278.51	Todos rebasan en forma elevada el valor límite.
MEZQUITE	Poblado 3, Cercano Presa Jal2 y Presa Jal3	259.03, 103.40 y 290.68	Todos rebasan en forma elevada el valor límite

5.5. RESULTADOS DE LA FITOEXTRACCIÓN MEDIANTE PASTO (*Lolium perenne*)

5.5.1. Resultados de la fitoextracción de cobre utilizando pasto

Se estudió el crecimiento del pasto y el Cu bioacumulado en esta planta utilizando suelos de los sitios Jal Rojo y Jal Gris (corresponde principalmente a Presa de Jales), en las proporciones 60%, 50% y 40 % de cada uno combinado con 20% de Suelo Testigo y los correspondientes porcentajes de Tierra para Macetas que se está llamando Materia Orgánica (MO). Para los suelos Tepetatera y Testigo se consideró el 100%.

5.5.1.1. Combinaciones para Jal Rojo (60, 50 y 40 %)

Como se indicó en la metodología se llevó a cabo un tiempo de crecimiento del pasto inglés considerando los tiempos de cosecha de 0, 45, 90, 135 y 180 días.

5.5.1.1.1. Para el material del Jal Rojo considerando 60%, 50% y 40% con 20% de suelo testigo y el porcentaje correspondiente de MO

En las siguientes figuras 5.22, 5.23 y 5.24 se presentan las concentraciones de Cu en cada cosecha de pasto correspondiente a las macetas con 60, 50 y 40 % de suelos de Jal Rojo, donde se tomó constante un 20% de suelo testigo y los porcentajes 20, 30 y 40 % respectivamente de suelo para macetas (MO). Se observa que la acumulación del metal va creciendo proporcionalmente al tiempo de crecimiento de la planta. La mayor extracción se obtuvo cuando se sembró el pasto en 60% de Jal rojo, lo cual indica que el pasto no sufre de fitotoxicidad por la presencia de metales y puede extraer en seis meses hasta 42 mg Cu /kg.

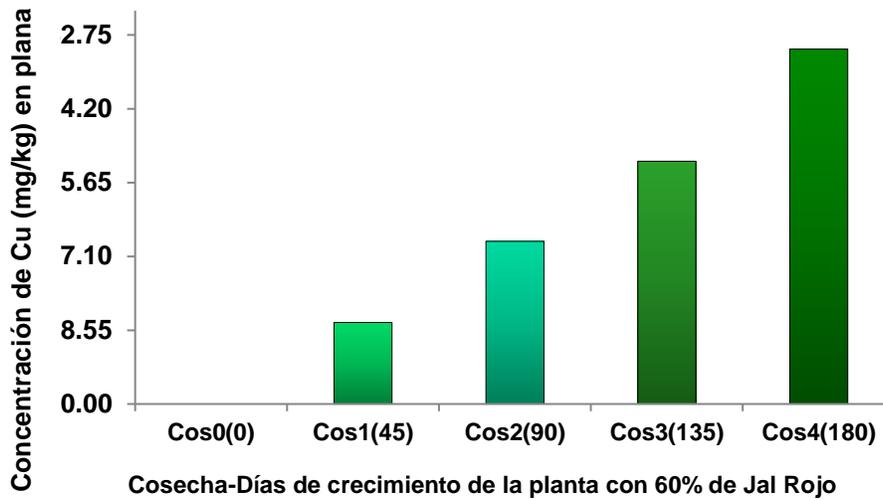


Figura 5.22. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 60% de Jal Rojo en las macetas.

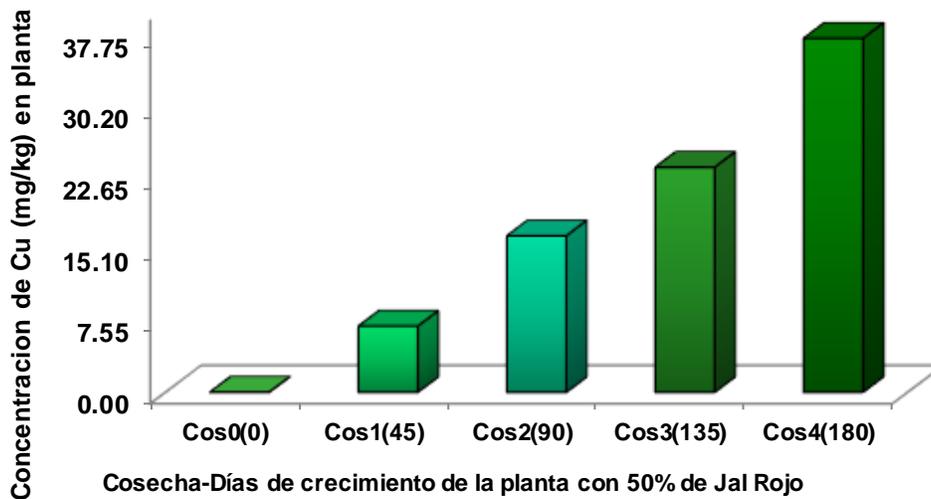


Figura 5.23. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 50% de Jal Rojo en las macetas.

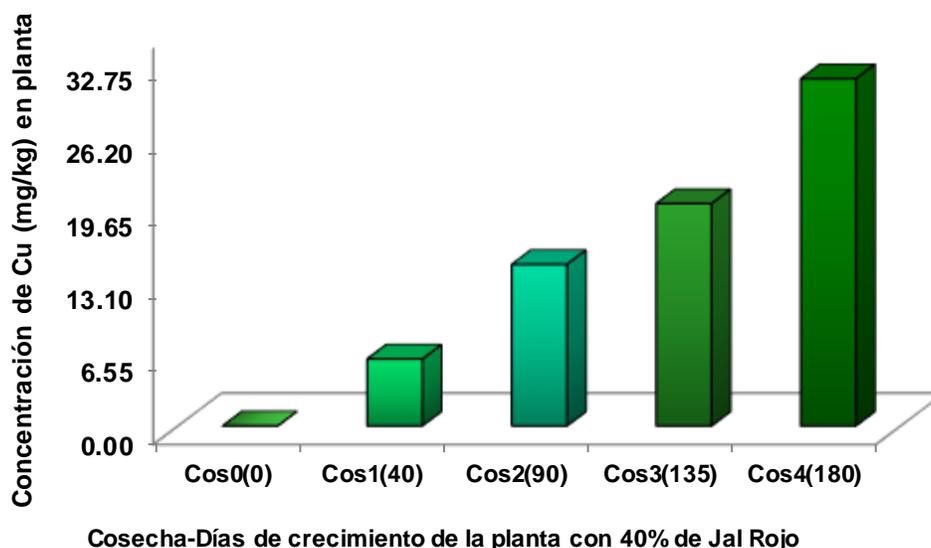


Figura 5.24. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 40% de Jal Rojo en las macetas.

En la tabla 5.13 se presenta una síntesis de los valores obtenidos de la acumulación del cobre en el pasto inglés por cada cosecha (45, 90, 135 y 180 días) para cada porcentaje del suelo Jal Rojo presentándose la eficiencia de extracción en cada caso, donde se observa que el porcentaje de remoción es de 25-26% para los tres casos.

Tabla 5.13. Eficiencia de fitoextracción de Cu por el pasto inglés, considerando el % de suelo de Jal Rojo en cada maceta.

Jal Rojo contenido de Cu = 164.29 (60%), 141.33 (50%) y 118.37 (40%)mg/kg						
Cosecha-Días	60%	% de eficiencia	50%	% de eficiencia	40%	% de eficiencia
Cos1(45) mg/kg	9.44	5.75	7.00	4.95	6.01	5.08
Cos2(90) mg/kg	18.84	11.47	16.55	11.71	14.5	12.25
Cos3(135) mg/kg	28.12	17.12	23.81	16.85	19.97	16.87
Cos4(180) mg/kg	41.10	25.02	37.46	26.51	31.18	26.34

En la figura 5.25 también se indican los intervalos entre cada una de las cosechas del pasto con el Cu bioacumulado, es decir, la cantidad de Cu fitoextraído por la planta, los intervalos más homogéneos resultaron para el Jal Rojo del 60% y los más irregulares resultaron el de los porcentajes 50 y 40, donde el suelo contiene mayor concentración de cobre, que al ser éste un oligoelemento para los suelos y la planta, dada las propiedades fitoextractoras de esta planta, logra asimilar la mayor concentración de cobre disponible, como se observó al analizar los suelos con CaCl_2 , que extrae al Cu débilmente unido a componentes de este suelo, como las arcillas o la escasa materia orgánica que pueda existir, además que está relacionado al pH que es ácido permitiendo que el metal pueda fitoextraerse con más facilidad.

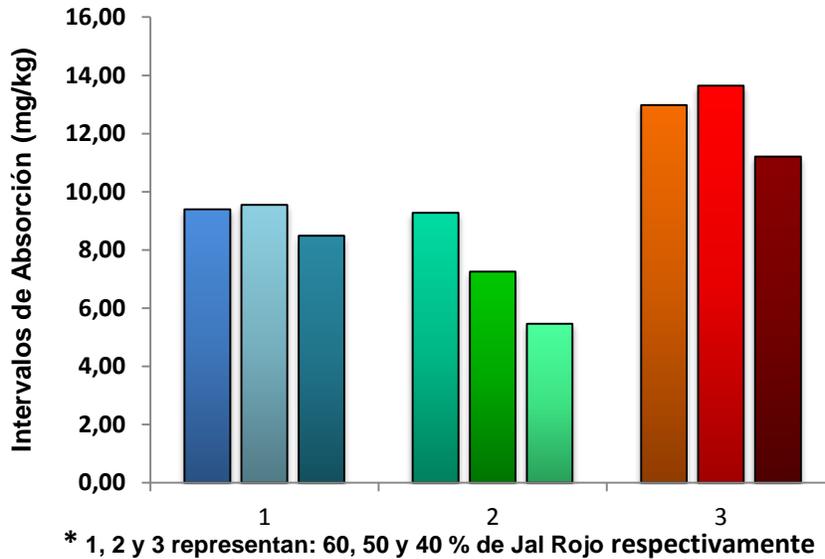


Figura 5.25. Valores en los intervalos de cada cosecha, 45, 90, 135 y 180 días de pasto inglés como planta fitoextractora de Cu

5.5.1.1.2. Para el material del Jal Gris considerando 60%, 50% y 40% con 20% de suelo testigo y el porcentaje correspondiente de MO

En las figuras 5.26, 5.27 y 5.28 se presentan las concentraciones de Cu extraídas en cada cosecha de pasto correspondiente a las macetas con 60, 50 y 40 % de suelos de Jal Gris, donde se utilizó 20% de suelo testigo y los porcentajes 20, 30 y 40 % respectivamente de suelo para macetas (MO). Los resultados son similares a los obtenidos para el Jal Rojo, presentando proporcionalidad con el tiempo de crecimiento del pasto y obteniéndose también una extracción de hasta 37 mg Cu/Kg.

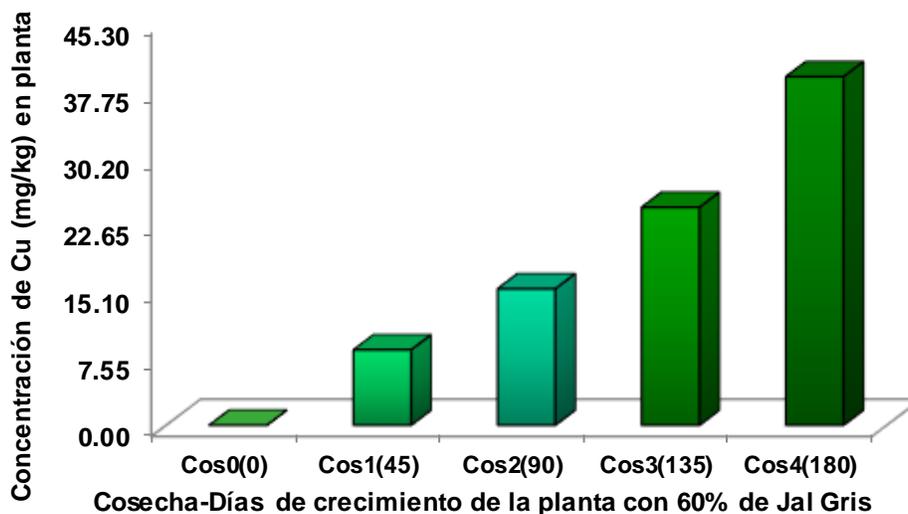


Figura 5.26. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 60% de Jal Gris en las macetas

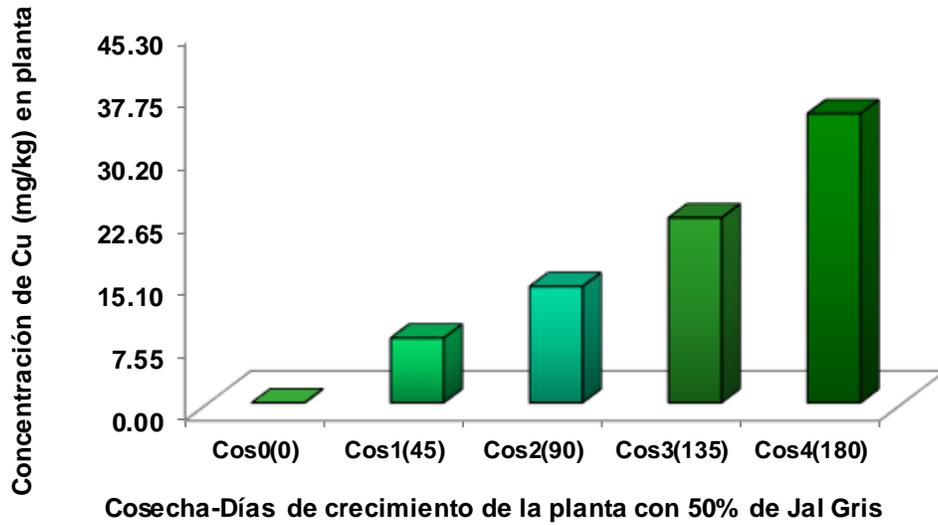


Figura 5.27. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 50% de Jal Gris en las macetas

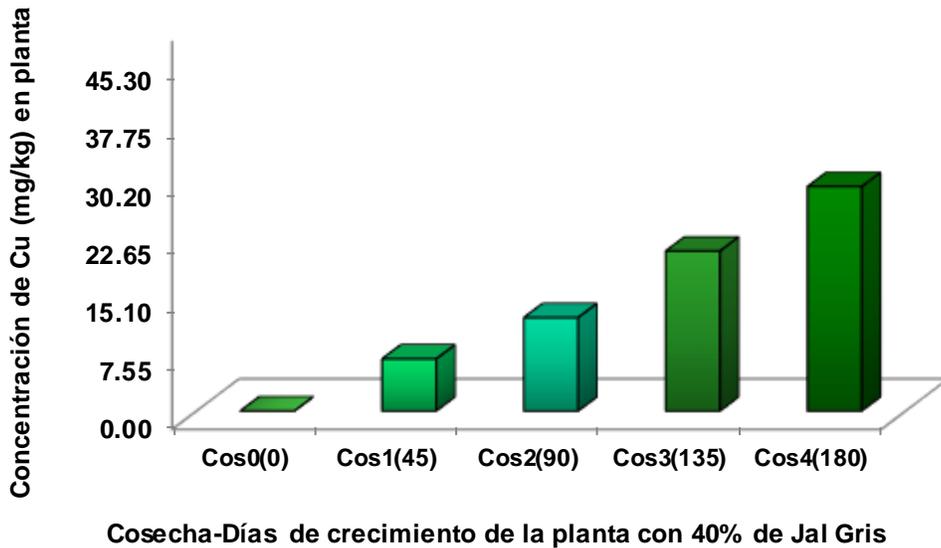


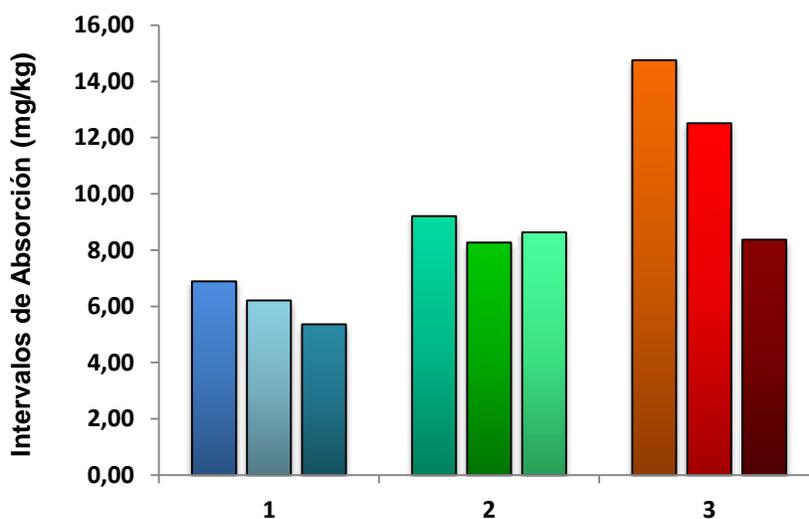
Figura 5.28. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 40% de Jal Gris en las macetas

En la tabla 5.14, se presenta una síntesis de los valores obtenidos de la acumulación del cobre en el pasto inglés por cada cosecha (45, 90, 135 y 180 días) para cada porcentaje del suelo en Jal Gris, presentándose la eficiencia de acumulación de cada caso, donde la planta que tuvo el 40% de Jal gris en la maceta dio el mejor porcentaje de remoción. En la figura 5.29, se indica la relación entre cada cosecha, donde los mejores intervalos de tiempo de crecimiento y acumulación de cobre fue el de 60%, seguido del de 50% y finalmente el de 40%.

Tabla 5.14. Eficiencia de fitoextracción de Cu por el pasto inglés, considerando el porcentaje de suelo de Jal Gris en cada maceta.

Jal Gris contenido de Cu = 170.61 (60%), 141.30 (50%) y 118.37 mg/kg (40%).						
Cosecha-Días	60%	% de eficiencia	50%	% de eficiencia	40%	% de eficiencia
Cos1(45) mg/kg	8.51	4.99	7.76	5.49	6.76	5.71
Cos2(90) mg/kg	15.40	9.03	13.97	9.89	12.12	10.24
Cos3(135) mg/kg	24.61	14.42	22.24	15.74	20.75	17.53
Cos4(180) mg/kg	39.36	23.07	34.75	24.59	29.12	24.60

En este caso, los tres intervalos entre una y otra de las cosechas del pasto con el Cu bioacumulado fueron más homogéneos y las eficiencias fueron mayores respecto al caso del Jal Rojo, la Presa de Jales a la que pertenece el Jal Gris, es más arenosa, con grano más fino y con muy poca materia orgánica, lo que podría explicar que el cobre presente está débilmente adsorbido, facilitando la fitoextracción, por un lado o que en la maceta hay más MO, donde el Cu presenta afinidad, permitiendo que este se absorba, ya que según Kabata y Pendias (2000) y Barceló *et al*, (2016), el Cu se asimila mejor por las plantas cuando esta acompañado a ligantes orgánicos, como son los ácidos húmicos.



* 1, 2 y 3 representan: 60, 50 y 40 % de Jal Gris respectivamente

Figura 5.29. Valores en los intervalos de cada cosecha, 45, 90, 135 y 180 días de pasto inglés como planta fitoextractora de Cu

Las tres proporciones en general fueron buenas, de nuevo al presentarse en la relación 50 y 40% de Jal Gris, como se ha indicado, contienen más MO que permite absorber el Cu por la planta, pero la composición arenosa del este suelo posiblemente en las macetas se haya perdido Cu por riego.

5.5.1.1.3. Para el material del Suelo Testigo y Suelo Tepetatera considerando 100%

En las figuras 5.30 y 5.31 se muestra la acumulación de cobre considerando solamente el suelo sin agregar suelo testigo, ni MO. En el caso del Suelo Testigo, se obtuvo de un sitio que no ha habido ningún contacto con la zona minera y es relativamente rico en capa orgánica. En el caso de Suelo Tepetatera, al estar con poco contacto con la zona de jales, con poca capa orgánica, con condiciones típicas de suelo de la región y poco contacto con la población se decidió utilizarlo como ejemplo para ver el comportamiento del pasto en el tipo de suelos de la zona. Nuevamente se muestra una proporción de la extracción con el tiempo de crecimiento, lográndose para el caso de Suelo de la Tepetatera de hasta 15 mg Cu/kg.

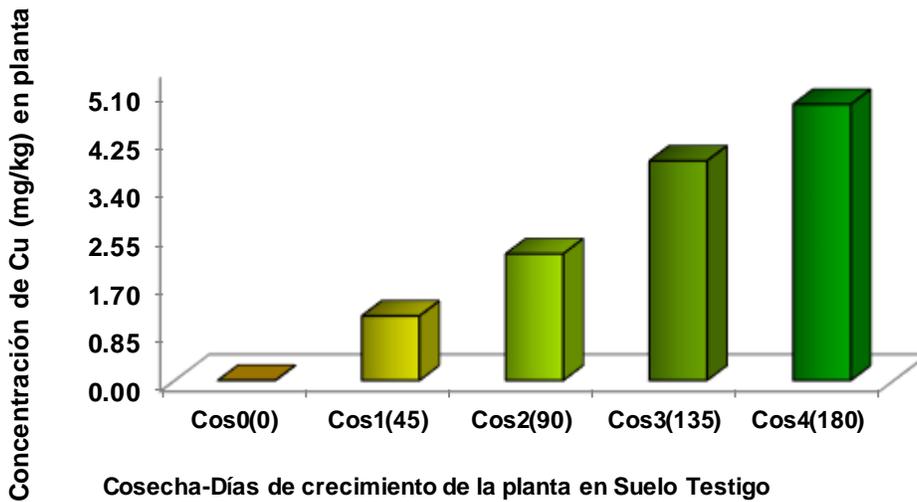


Figura 5.30. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 100% de Suelo Testigo en las macetas

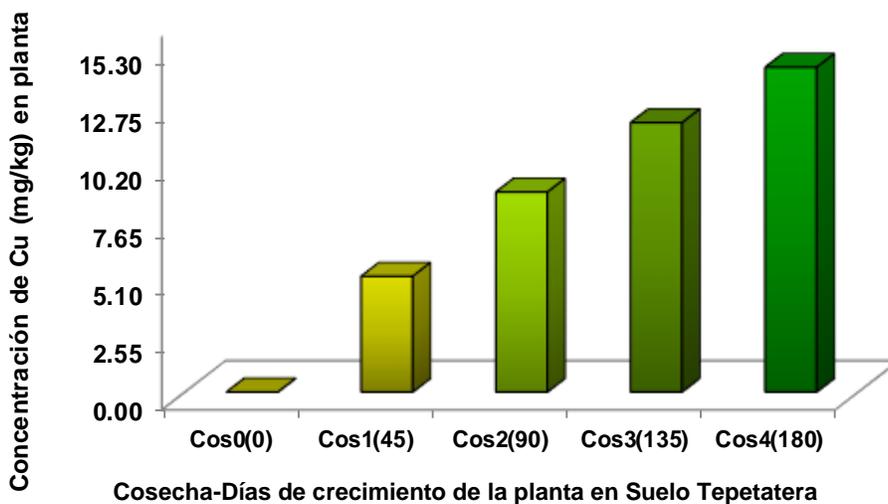


Figura 5.31. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 100% de Suelo Tepetatera en las macetas

Se puede observar en el caso del Suelo Testigo la baja concentración de cobre y con capa vegetal, es decir con mayor cantidad de MO que permite al Cu ser extraído por la planta y en el caso del Suelo Tepetatera se observa, por sus concentraciones, que tiene muy bajo contenido de cobre.

En la tabla 5.15 se presenta, como en los casos anteriores, una evaluación a través de la eficiencia de fitoextracción del pasto inglés donde la eficiencia de extracción del suelo testigo contaminado alcanzó una eficiencia de casi 77% y del suelo tepetatera de 46%.

Tabla 5.15. Eficiencia de fitoextracción de Cu por el pasto inglés, considerando el 100% de Suelo Testigo (ST) y Suelo Tepetatera (STEP) en cada maceta

Suelo Testigo contenido de Cu =6.32 mg/kg y Suelo Tepetatera contenido de Cu= 36.61 mg/kg				
Cosecha-Días	(ST) 100 %	% de eficiencia	(STEP) 100 %	% de eficiencia
Cos1(45) mg/kg	1.13	17.88	5.14	22.33
Cos2(90) mg/kg	2.22	35.13	8.88	33.29
Cos3(135) mg/kg	3.85	60.92	11.96	39.35
Cos4(180) mg/kg	4.84	76.59	14.42	45.86

En el caso del suelo testigo se alcanzó un porcentaje elevado (76.59), el pasto no sufrió estrés y se mantuvo siempre verde, debido a que las concentraciones de Cu fueron bajas, así el pasto logró una buena fitoextracción. En cuanto al Suelo Tepetatera es un suelo muy pobre en capa vegetal, es como su nombre lo indica un suelo de tepetate pobre en nutrientes, a pesar de tener relativamente concentraciones menores de cobre que los otros sitios, al utilizarlo solo en las macetas, la fitoextracción fue pobre respecto a los sitios Jal Rojo y Jal Gris.

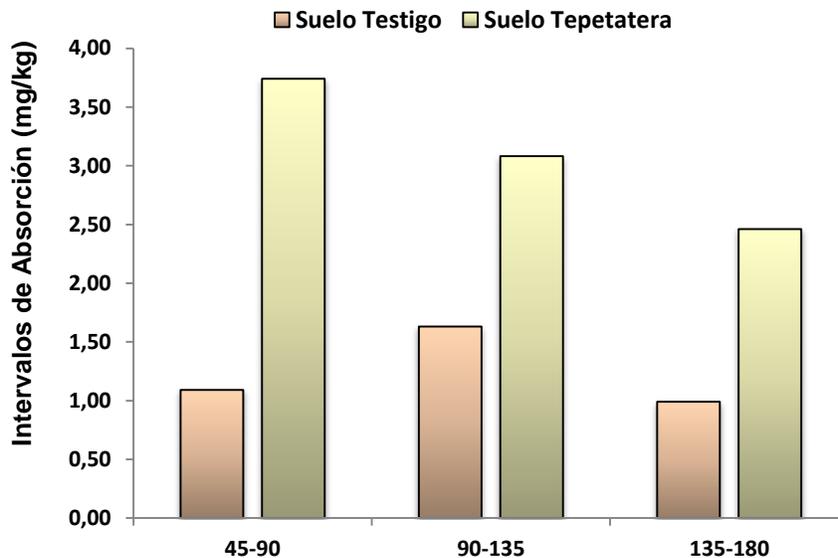


Figura 5.32. Concentración en mg/kg de Cu en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 100% de Suelo Testigo y Suelos Tepetatera en las macetas

5.5.1.2. Índice de Bioacumulación (IB) de las combinaciones para Jal Rojo (60, 50 y 40 %)

En las figuras 5.33 a, 5.33 b y 5.33 c, se presentan los valores de Índice de Bioacumulación (IB) del pasto inglés al fitoextraer cobre, donde a medida que transcurre el tiempo bioacumula más metal, el mayor índice obtenido fue a los 180 días en el Jal Rojo de 60%.

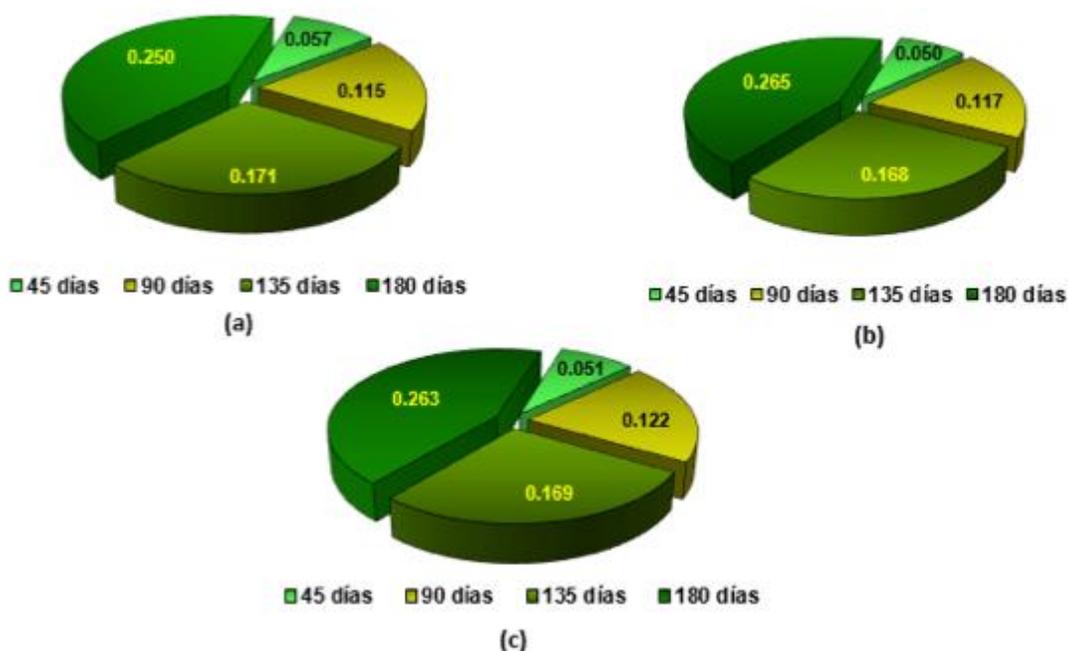


Figura 5.33. Índice de Bioacumulación (IB) de Cu en Pasto Inglés utilizando diferentes porcentajes de suelo del sitio Jal Rojo. (a) Para 60%. (b) Para 50%. (c). Para 40%.

5.5.1.3. Índice de Bioacumulación (IB) de las combinaciones para Jal Gris (60, 50 y 40 %)

En las figuras 5.35 a, 5.35 b y 5.35 c, como en el caso anterior, se presentan los IB del suelo Jal Gris, donde se colectaron muestras de varios sitios cercano a la Presa de Jales y se obtuvo por cuarteo una muestra compuesta, como se ha indicado se le llamó muestra Jal Gris. En este caso la muestras con 40% y 50%, presentaron valores de IB algo mayores que la muestra del 60%, probablemente al tener mayor % de MO, donde el Cu fue absorbido, además del propio Cu de la MO y del Suelo Testigo.

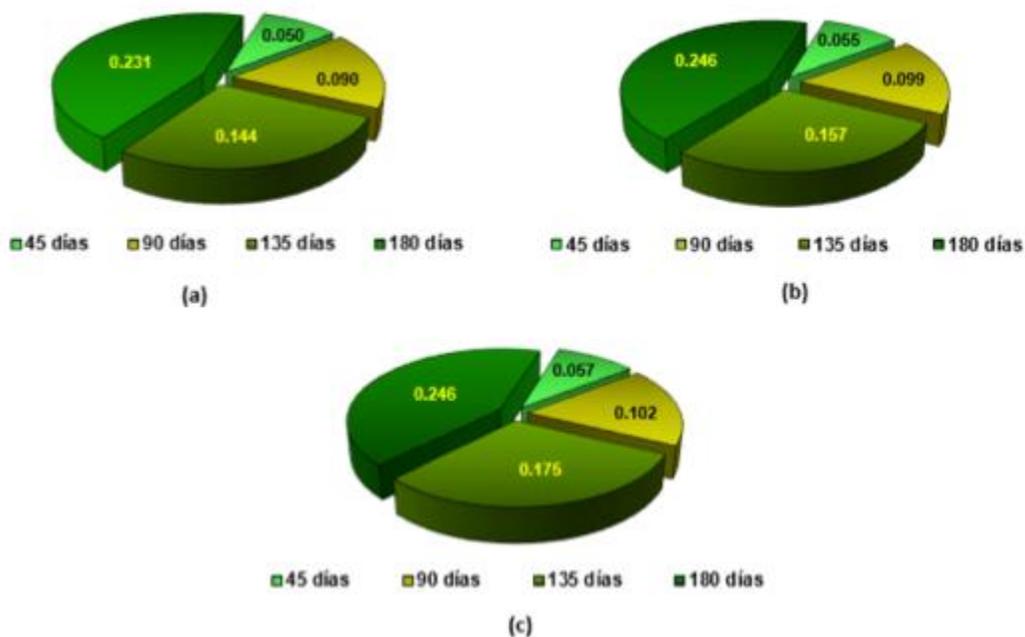


Figura 5.34. Índice de Bioacumulación (IB) de Cu en Pasto Inglés utilizando diferentes porcentajes de suelo del sitio Jal Gris. (a) Para 60%. (b) Para 50%. (c). Para 40%.

5.5.1.4. Índice de Bioacumulación (IB) para Suelo Testigo y de Suelo Tepetatera

En las figuras 5.35 a y 5.35 b se muestran los IB de ambos suelos respectivamente, donde se muestra una buena eficiencia para ambos casos.

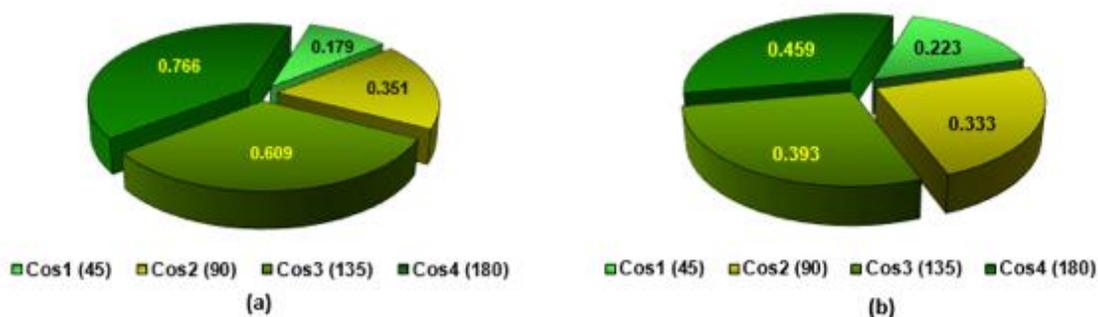


Figura 5.35. Índice de Bioacumulación (IB) de Cu en Pasto Inglés (a). En Suelo Testigo. (b) en el suelo Tepetatera, considerando en ambos el 100% de suelo.

5.5.2. Resultados de la fitoextracción de plomo utilizando pasto

Se estudió el crecimiento del pasto y el Pb bioacumulado en esta planta utilizando suelos de los sitios Jal Rojo y Jal Gris, en las proporciones 60%, 50% y 40 % de cada uno combinado con 20% de Suelo testigo y los correspondientes porcentajes de Tierra para Macetas que se está llamando Materia orgánica (MO). Para los suelos Tepetatera y Testigo se consideró el 100%.

5.5.2.1. Combinaciones para Jal Rojo (60, 50 y 40 %)

Como se indicó en la metodología se llevó a cabo un tiempo de crecimiento del pasto inglés considerando los tiempos de cosecha de 0, 45, 90, 135 y 180 días para plomo de la misma forma que en el caso de cobre.

5.5.2.1.1. Para el material del Jal Rojo considerando 60%, 50% y 40% con 20% de suelo testigo y el porcentaje correspondiente de MO

En las figuras 5.36, 5.37 y 5.38 se presentan las concentraciones de Pb en cada cosecha de pasto correspondiente a las macetas con 60, 50 y 40 % de suelos de Jal Rojo, donde se tomó constante un 20% de suelo testigo como en el caso del cobre y los porcentajes 20, 30 y 40 % respectivamente de suelo para macetas (MO). Los resultados muestran nuevamente una correlación entre el tiempo de crecimiento y la cantidad de cobre extraído, cuya mayor cantidad fue cuando se utilizó 60% de Jal rojo.

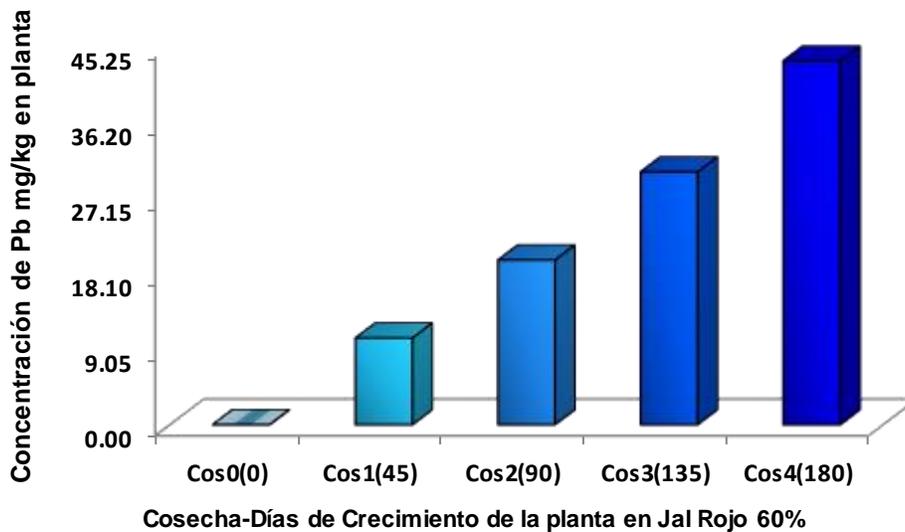


Figura 5.36. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 60% de Jal Rojo en las macetas

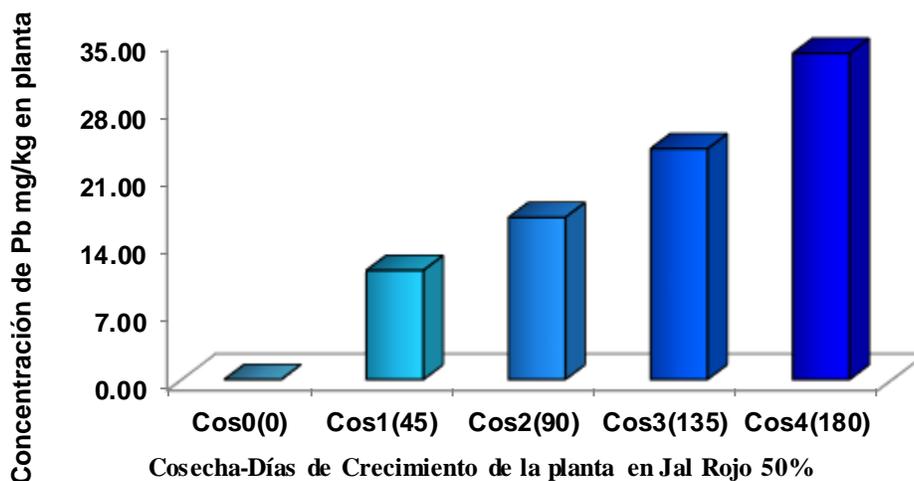


Figura 5.37. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 50% de Jal Rojo en las macetas

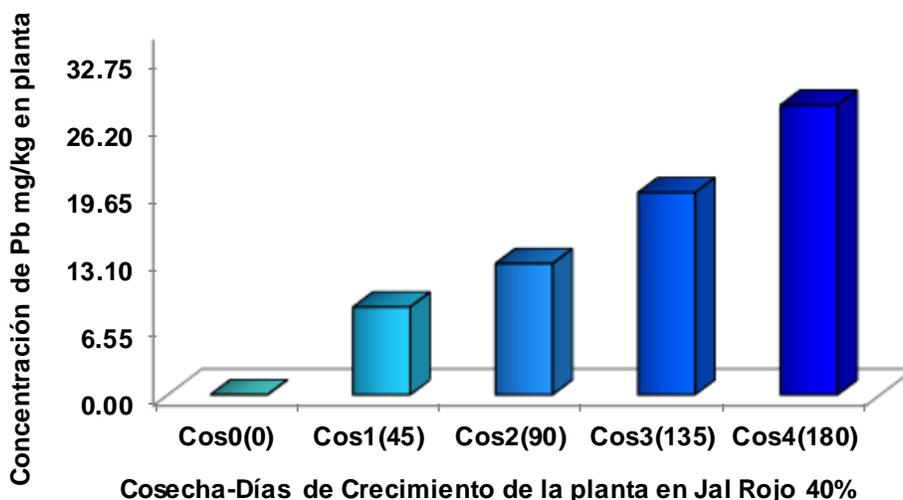


Figura 5.38. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 40% de Jal Rojo en las macetas

En la tabla 5.16, se presenta una síntesis de los valores obtenidos de la acumulación del plomo en el pasto inglés por cada cosecha (45, 90, 135 y 180 días) para cada porcentaje de Jal Rojo. Las eficiencias de extracción son menores que en el caso del cobre con un rango entre 8.14 y 8.79%. Este metal con alta potencialidad tóxica, tiende a ser adsorbido por los óxidos de Fe y Mn, así como a al material arcilloso y algo con la MO, lo cual no le permite se asimilado fácilmente por esta planta (Barceló, 2000), presenta poca movilidad química, ya que su afinidad hacia los óxidos mencionado es fuerte, esto explica que se absorba menos que el cobre.

En la figura 5.39 se indica la relación entre cada cosecha, donde los mejores intervalos de tiempo de crecimiento y acumulación de cobre fue el de 60%, seguido de 50% y finalmente el de 40%.

Tabla 5.16. Eficiencia de fitoextracción de Pb por el pasto inglés, considerando el % de suelo de Jal Rojo en cada maceta.

Jal Rojo contenido de Pb = 494.90 (60%), 412.85 (50%) y 496.85 (40%) mg/kg						
Cosecha-Días	60%	% de eficiencia	50%	% de eficiencia	40%	% de eficiencia
Cos1(45) mg/kg	10.36	2.09	11.24	2.72	8.51	2.58
Cos2(90) mg/kg	19.68	3.98	16.70	4.05	12.74	3.85
Cos3(135) mg/kg	30.23	6.11	23.78	5.76	19.64	5.94
Cos4(180) mg/kg	43.50	8.79	33.61	8.14	28.13	8.51

Este metal con alta potencialidad tóxica, tiende a ser adsorbido por los óxidos de Fe y Mn, así como a al material arcilloso y algo con la MO, lo cual no le permite ser asimilado fácilmente por esta planta, presenta poca movilidad química, ya que su afinidad hacia los óxidos mencionado es fuerte, esto explica que se absorba menos que el cobre.

En la figura 5.39 se indican los intervalos entre una y otra de las cosechas del pasto con el Pb bioacumulado, donde se observa una relación de cosecha a cosecha homogénea, con poca eficiencia (tabla 5.16), sin embargo, en el Jal Rojo del 50% y del 40% hubo un poco más de eficiencia, por la MO, que se tuvo 30% y 40% de MO.

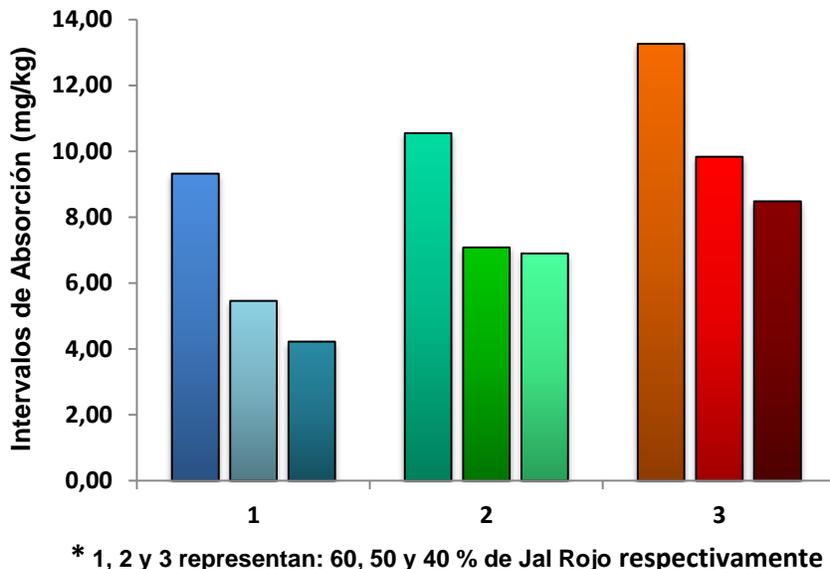


Figura 5.39. Valores en los intervalos de cada cosecha, 45, 90, 135 y 180 días de pasto inglés como planta fitoextractora de Pb

5.5.2.1.2. Para el material del Jal Gris considerando 60%, 50% y 40% con 20% de suelo testigo y el porcentaje correspondiente de MO.

En las figuras 5.40, 5.41 y 5.42 se presentan las concentraciones de Pb en cada cosecha de pasto correspondiente a las macetas con 60, 50 y 40 % de suelos de Jal Gris, donde se tomó constante un 20% de suelo testigo como en el caso del cobre y los porcentajes 20, 30 y 40 % respectivamente de suelo para macetas (MO). Los resultados son similares a la extracción de cobre, lográndose como máximo una extracción de más de 40 mg/kg de Pb con una mayor cantidad cuando se utilizó 60% de Jal gris.

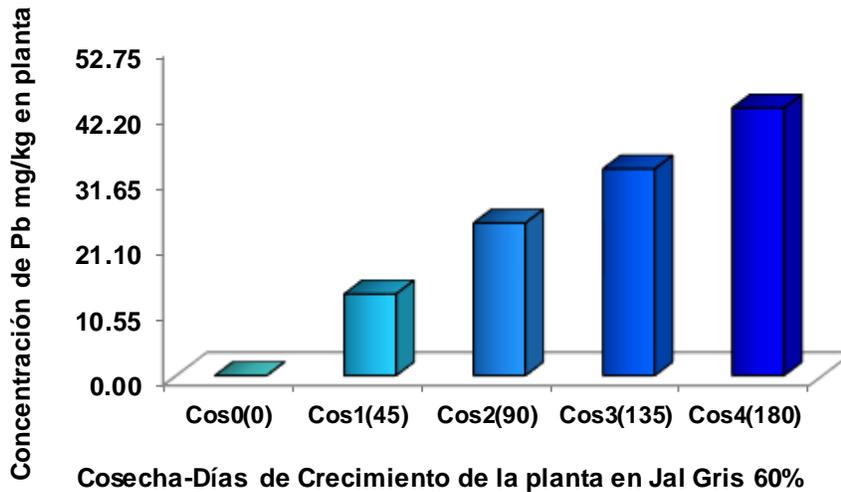


Figura 5.40. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 60% de Jal Gris en las macetas

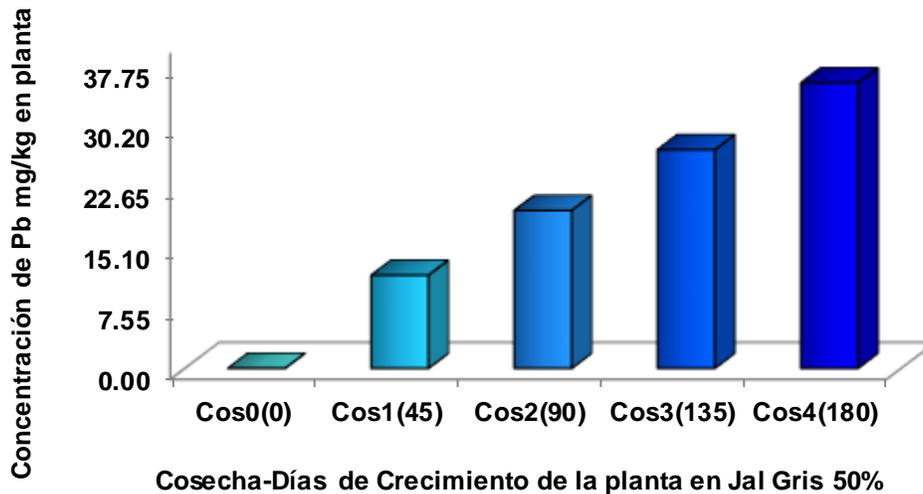


Figura 5.41. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 50% de Jal Gris en las macetas

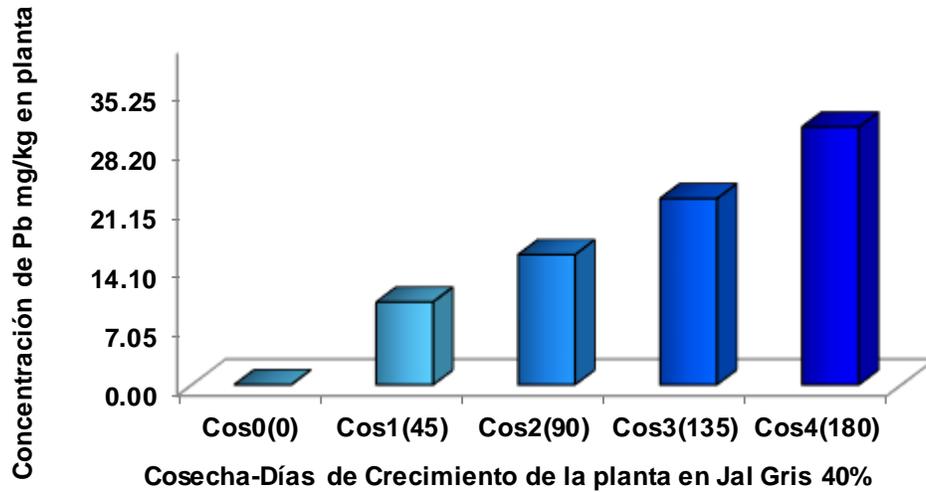


Figura 5.42. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 40% de Jal Gris en las macetas

En la tabla 5.17, se presenta un resumen de los valores obtenidos de la acumulación del plomo en el pasto inglés por cada cosecha (45, 90, 135 y 180 días) para cada porcentaje del suelo en Jal Gris, presentándose la eficiencia de acumulación de cada caso, donde las eficiencias de remoción son muy similares oscilando entre 11.66 y 12.47%, siendo la mayor cuando se tiene un 40% de Jal Gris.

Tabla 5.17. Eficiencia de fitoextracción de Pb por el pasto inglés, considerando el porcentaje de suelo de Jal Gris en cada maceta

Jal Gris contenido de Pb = 368.56, 307.38 y 246.42 mg/kg						
Cosecha-Días	60%	% de eficiencia	50%	% de eficiencia	40%	% de eficiencia
Cos1(45) mg/kg	13.110	3.56	11.59	3.77	9.86	4.00
Cos2(90) mg/kg	24.500	6.65	19.65	6.39	15.51	6.30
Cos3(135) mg/kg	33.210	9.01	27.22	8.86	22.2	9.01
Cos4(180) mg/kg	42.980	11.66	35.54	11.56	30.73	12.47

En este caso, los tres intervalos entre una y otra de las cosechas del pasto con el Pb bioacumulado fueron homogéneos y las eficiencias fueron mayores respecto al caso del Jal Rojo, Para éste caso se presentó una menor cantidad de plomo extraído a comparación del Cobre, por lo que se puede explicar que el pasto tiene menor afinidad al plomo y por eso su eficiencia de fitoextracción, además de ser un metal potencialmente tóxico y es más fácil que la planta se estrese y no tenga la misma eficiencia que en el caso del Cu.

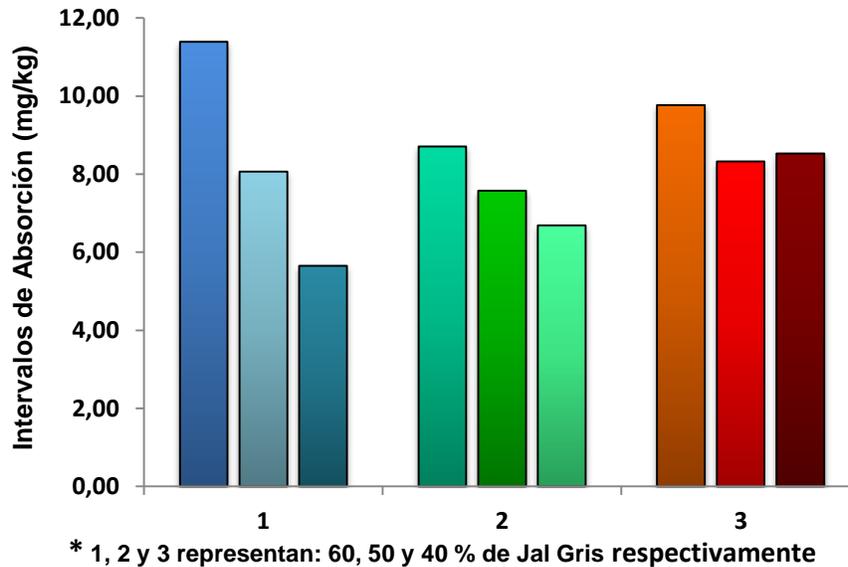


Figura 5.43. Valores en los intervalos de cada cosecha, 45, 90, 135 y 180 días de pasto inglés como planta fitoextractora de Pb.

En éste caso la relación de 50% y 40% de Jal Gris fue más homogénea que la de 60%, aunque las tres proporciones en general fueron buenas en cuanto a los niveles de Pb presentes.

5.5.2.1.4. Para el material del Suelo Testigo y Suelo Tepetatera considerando 100%

En las figuras 5.44 y 5.45 se muestra la acumulación de plomo considerando solamente el suelo sin agregar suelo testigo ni MO. En el caso del Suelo Testigo, se obtuvo de un sitio que no ha tenido ningún contacto con la zona minera y es relativamente rico en capa orgánica. En el caso de Suelo Tepetatera, al estar con poco contacto con la zona de jales y con poca capa orgánica, con condiciones típicas de suelo de la región y poco contacto con la población se decidió utilizarlo como ejemplo para ver el comportamiento del pasto en el tipo de suelos de la zona. Nuevamente se muestra una proporción de la extracción con el tiempo de crecimiento, lográndose para el caso de Suelo de la Tepetatera de hasta 18 mg de Pb por kg.

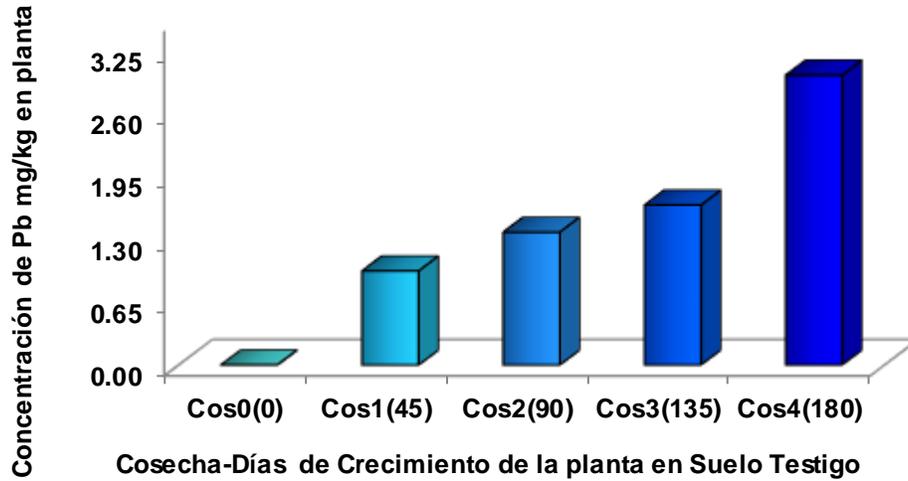


Figura 5.44. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 100% de Suelo Testigo en las macetas

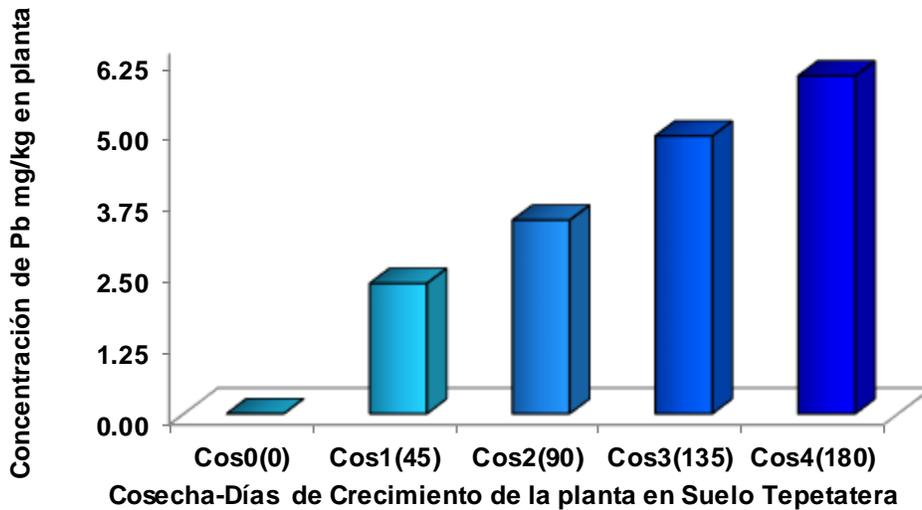


Figura 5.45. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 100% de Suelo Tepetatera en las macetas

Se puede observar en el caso del Suelo Testigo la baja concentración de plomo y con capa vegetal, es decir con mayor cantidad de MO que permite al Pb ser extraído por la planta y en el caso del Suelo Tepetatera se observa, por sus concentraciones, que tiene muy bajo contenido de plomo.

En la tabla 5.18 se presenta, como en los casos anteriores, una evaluación a través de la eficiencia de fitoextracción del pasto inglés donde la eficiencia de extracción del suelo testigo contaminado alcanzó una eficiencia de 35% y del suelo tepetatera de 5.22%.

Tabla 5.18. Eficiencia de fitoextracción de Pb por el pasto inglés, considerando el porcentaje de suelo de Jal Gris en cada maceta

Suelo testigo contenido de Pb = 8.54 mg/kg y Suelo Tepetatera contenido de Pb= 113.50 mg/kg				
Cosecha-Días	(ST)100%	% de eficiencia	(STEP)100%	% de eficiencia
Cos1(45) mg/kg	0.97	11.36	2.28	2.01
Cos2(90) mg/kg	1.37	16.04	3.40	2.99
Cos3(135) mg/kg	1.65	19.32	4.87	4.29
Cos4(180) mg/kg	2.99	35.01	5.93	5.22

En el caso del suelo testigo se alcanzó un porcentaje bajo con respecto al cobre (76.59), el pasto sufrió estrés, pero se mantuvo hasta el final del tiempo establecido a pesar de ser un metal potencialmente tóxico y debido a que las concentraciones de Pb fueron bajas, así el pasto logró una buena fitoextracción. En cuanto al Suelo Tepetatera es un suelo muy pobre en capas vegetales y nutrientes, a pesar de tener relativamente concentraciones menores de plomo que los otros sitios, al utilizarlo solo en las macetas, la fitoextracción fue pobre respecto a los sitios Jal Rojo y Jal Gris.

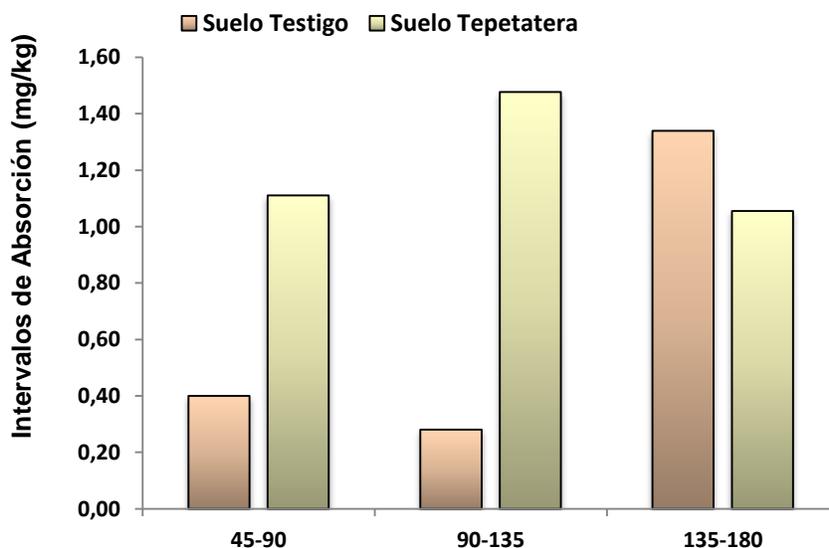


Figura 5.46. Valores en los intervalos de cada cosecha, 45, 90, 135 y 180 días de pasto inglés como planta fitoextractora de Pb

5.5.2.2. Índice de Bioacumulación (IB) de las combinaciones para Jal Rojo (60, 50 y 40 %)

En las figuras 5.46 a, 5.46 b y 5.46 c, se presentan los valores de Índice de Bioacumulación (IB) del pasto inglés al fitoextraer plomo, donde a medida que transcurre el tiempo bioacumula más metal, el mayor índice obtenido fue a los 180 días en el Jal Rojo de 60%.

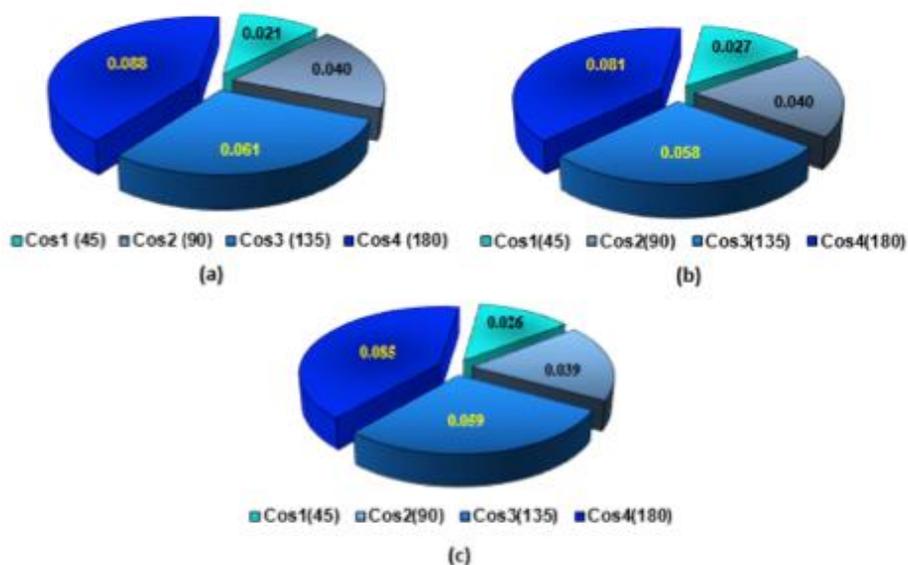


Figura 5.47. Índice de Bioacumulación (IB) de Pb en Pasto Inglés utilizando diferentes porcentajes de suelo del sitio Jal Rojo. (a) Para 60%. (b) Para 50%. (c). Para 40%.

5.5.2.3. Índice de Bioacumulación (IB) de las combinaciones para Jal Gris (60, 50 y 40 %)

En las figuras 5.46 a, 5.46 b y 5.46 c, como en el caso anterior, se presentan los IB del suelo Jal Gris, donde se colectaron muestras de varios sitios cercano a la Presa de Jales y se obtuvo por cuarteo una muestra compuesta, como se ha indicado se le llamó muestra Jal Gris. En este caso las muestras variaron con respecto a sus porcentajes, presentaron valores de IB algo mayores los de contenido de 40%, probablemente al tener mayor porcentaje de MO, donde el Pb fue adsorbido.

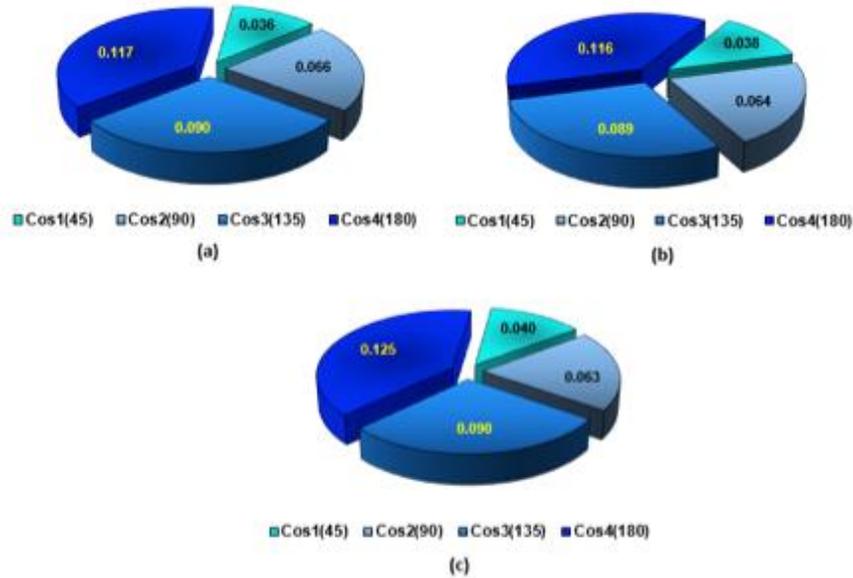


Figura 5.48. Índice de Bioacumulación (IB) de Cu en Pasto Inglés utilizando diferentes porcentajes de suelo del sitio Jal Gris. (a) Para 60%. (b) Para 50%. (c). Para 40%.

5.5.2.4. Índice de Bioacumulación (IB) para Suelo Testigo y de Suelo Tepetatera

En las figuras 5.48 a y 5.48 b se muestran los IB de ambos suelos respectivamente en los cuales se presenta una buena eficiencia para ambos casos.

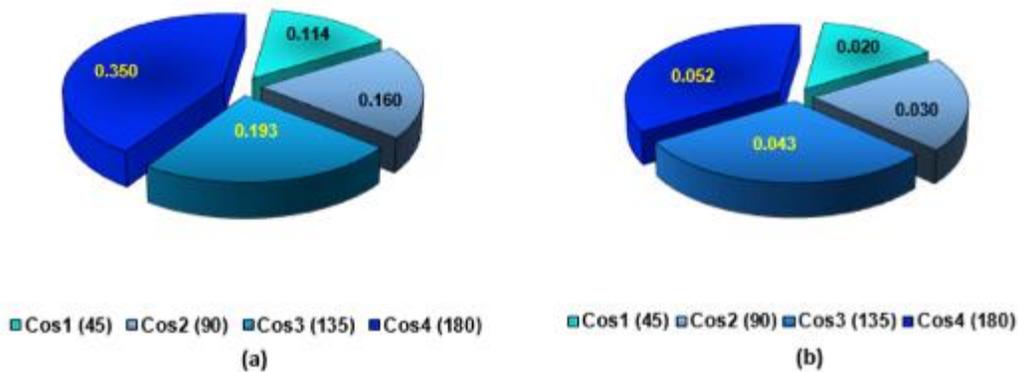


Figura 5.49. Índice de Bioacumulación (IB) de Pb en Pasto Inglés en Suelo Testigo (a) y en el suelo Tepetatera (b), considerando en ambos el 100% de suelo.

5.5.3. Resultados de la fitoextracción de zinc utilizando pasto

Se estudió el crecimiento del pasto y el Zn bioacumulado en esta planta utilizando suelos de los sitios Jal Rojo y Jal Gris, en las proporciones 60%, 50% y 40 % de cada uno combinado con 20% de Suelo testigo y los correspondientes porcentajes de Tierra para Macetas que se está llamando Materia orgánica (MO). Para los suelos Tepetatera y Testigo se consideró el 100%.

5.5.3.1. Combinaciones para Jal Rojo (60, 50 y 40 %)

Como se indicó en la metodología se llevó a cabo un tiempo de crecimiento del pasto inglés considerando los tiempos de cosecha de 0, 45, 90, 135 y 180 días para plomo de la misma forma que en el caso de cobre.

5.5.3.2. Para el material del Jal Rojo considerando 60%, 50% y 40% con 20% de suelo testigo y el porcentaje correspondiente de MO

En las figuras 5.36, 5.37 y 5.38 se presentan las concentraciones de Zn en cada cosecha de pasto correspondiente a las macetas con 60, 50 y 40 % de suelos de Jal Rojo, donde se tomó constante un 20% de suelo testigo como en el caso de los demás metales y los porcentajes 20, 30 y 40 % respectivamente de suelo para macetas (MO). Los resultados muestran nuevamente una correlación entre el tiempo de crecimiento y la cantidad de zinc extraído, cuya mayor cantidad fue cuando se utilizó 60% de Jal rojo.

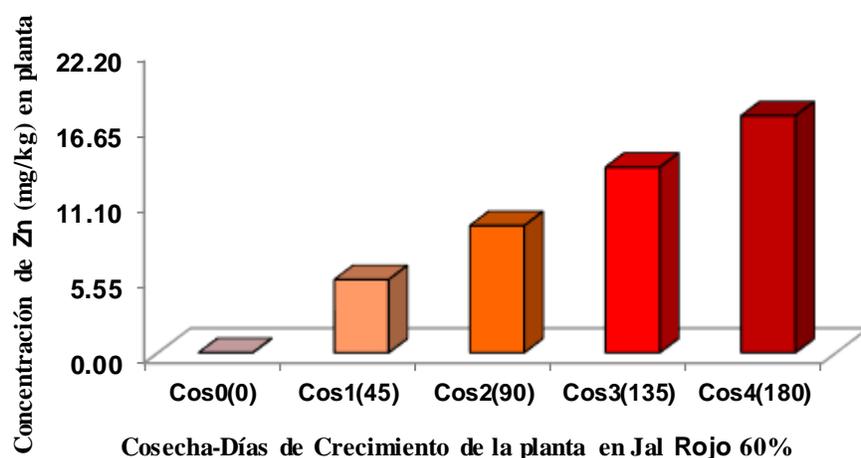


Figura 5.50. Concentración en mg/kg de Zn en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 60% de Jal Rojo en las macetas

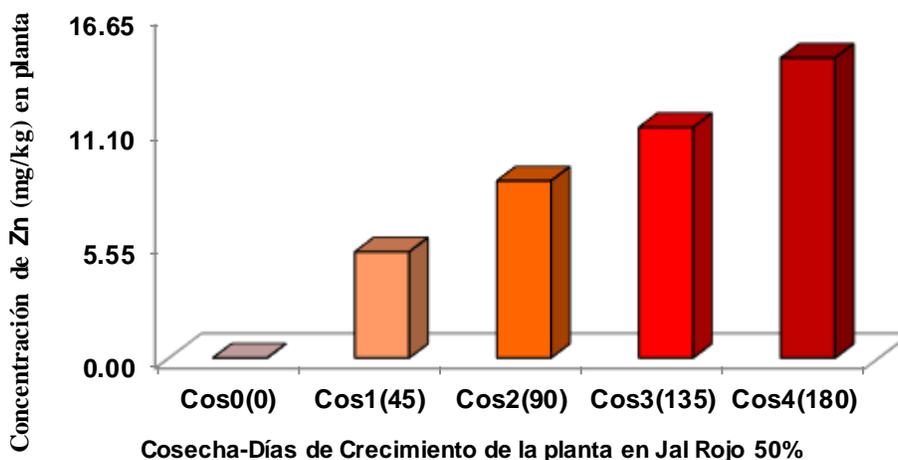


Figura 5.51. Concentración en mg/kg de Zn en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 50% de Jal Rojo en las macetas

5.5.3.3. Para el material del Jal Rojo considerando 40%, con 20% de suelo testigo y 40% de MO

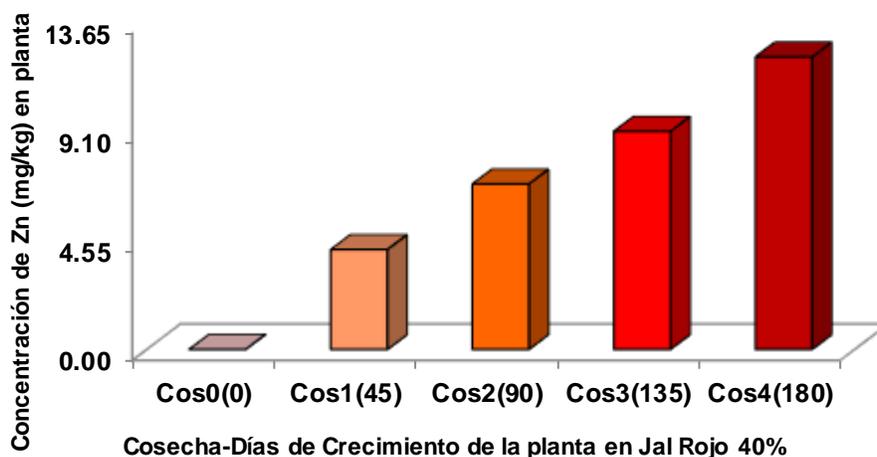


Figura 5.52. Concentración en mg/kg de Zn en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 40% de Jal Rojo en las macetas

En la tabla 5.19, se presenta una síntesis de los valores obtenidos de la acumulación del zinc en el pasto inglés por cada cosecha (45, 90, 135 y 180 días) para cada porcentaje de Jal Rojo. Las eficiencias de extracción son bajas en comparación de los demás metales con un rango entre 3.27 y 3.42%. Este metal al ser un elemento necesario para el desarrollo de las plantas tiende a ser absorbido y asimilado fácilmente por esta planta.

En la figura 5.52 se indica la relación entre cada cosecha, donde los mejores intervalos de tiempo de crecimiento y acumulación de zinc fue del 60%, seguido del de 50% y finalmente el de 40%.

Tabla 5.19. Eficiencia de fitoextracción de Zn por el pasto inglés, considerando el porcentaje de suelo de Jal Rojo en cada maceta.

Jal Rojo contenido de Zn = 532.34, 444.42 y 356.50 mg/kg						
Cosecha-Días	60%	% de eficiencia	50%	% de eficiencia	40%	% de eficiencia
Cos1(45)	5.37	1.01	5.14	1.16	4.17	1.17
Cos2(90)	9.34	1.75	8.59	1.93	6.9	1.94
Cos3(135)	13.64	2.56	11.18	2.52	9.1	2.55
Cos4(180)	17.42	3.27	14.55	3.27	12.2	3.42

Los niveles de absorción fueron bajos en comparación con los demás metales, lo que puede ser que el pasto no es tan ideal para fitoextraer éste metal por sus niveles de extracción.

En la figura 5.52 se indican los intervalos entre una y otra de las cosechas del pasto con el Zn bioacumulado, donde se observa una relación de cosecha a cosecha homogénea en todas las proporciones, presentándose mejor eficiencia en la proporción de 60%.

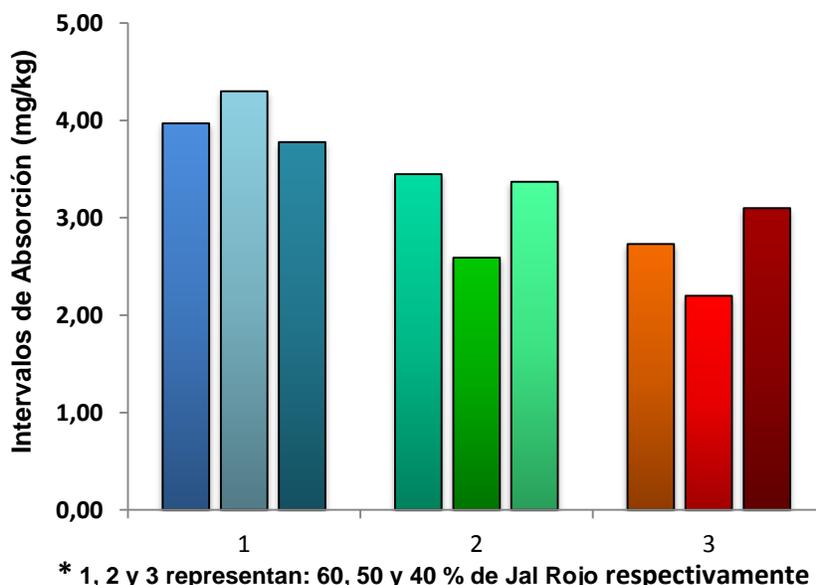


Figura 5.53. Valores en los intervalos de cada cosecha, 45, 90, 135 y 180 días de pasto inglés como planta fitoextractora de Zn.

5.5.3.4. Para el material del Jal Gris considerando 60%, 50% y 40% con 20% de suelo testigo y el porcentaje correspondiente de MO.

En las figuras 5.53, 5.54 y 5.55 se presentan las concentraciones de Zn en cada cosecha de pasto correspondiente a las macetas con 60, 50 y 40 % de suelos de Jal Gris, donde se tomó constante un 20% de suelo testigo y los porcentajes 20, 30 y 40 % respectivamente de suelo para macetas (MO). Los resultados son bajos a comparación a la extracción de los demás metales, lográndose como máximo una extracción cerca de los 15 mg de mg/kg de Zn, con una mayor cantidad cuando se utilizó 60% de Jal gris.

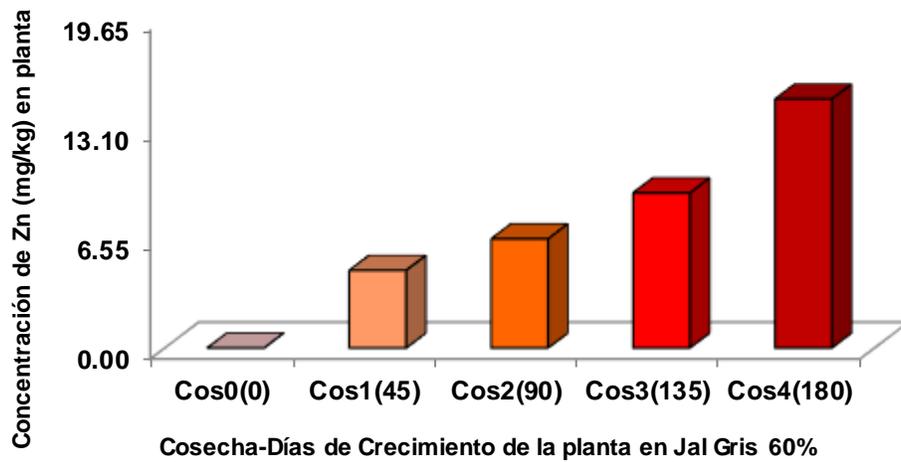


Figura 5.54. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 60% de Jal Gris en las macetas

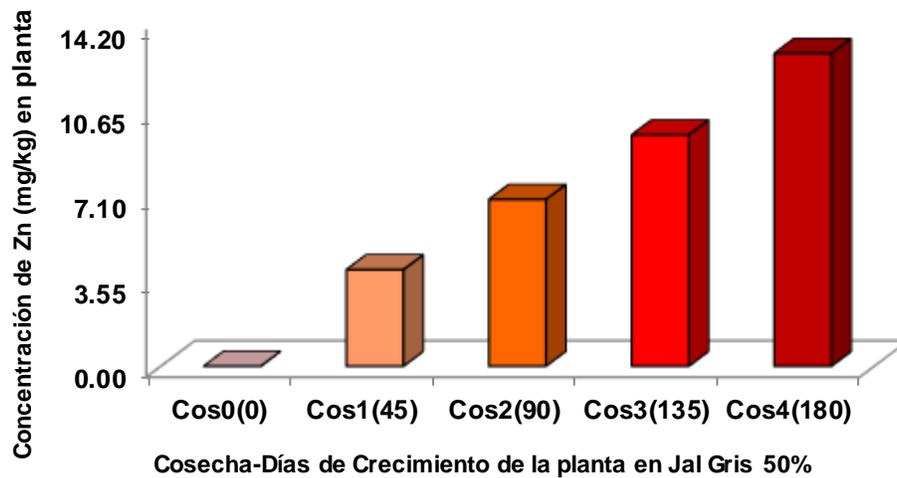


Figura 5.55. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 50% de Jal Gris en las macetas

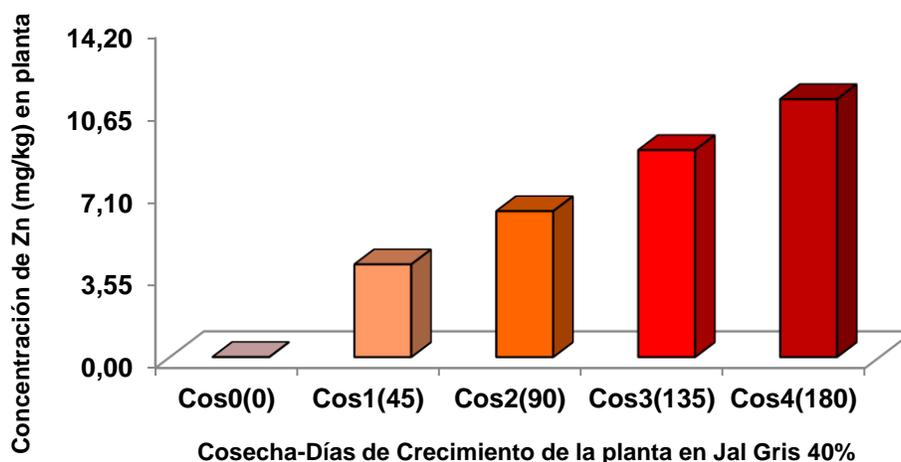


Figura 5.56. Concentración en mg/kg de Pb en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 40% de Jal Gris en las macetas

En la tabla 5.20, se presenta un resumen de los valores obtenidos de la acumulación de zinc en el pasto inglés por cada cosecha (45, 90, 135 y 180 días) para cada porcentaje del suelo en Jal Gris, presentándose la eficiencia de acumulación de cada caso, donde las eficiencias de remoción son muy similares oscilando entre 3.19% y 3.56%, siendo la mayor cuando se tiene un 40% de Jal Gris.

Tabla 5.20. Eficiencia de fitoextracción de Zn por el pasto inglés, considerando el porcentaje de suelo de Jal Gris en cada maceta

Jal Gris contenido de Zn = 465.75, 388.72 y 311.70 mg/kg						
Cosecha-Días	60%	% de eficiencia	50%	% de eficiencia	40%	% de eficiencia
Cos1(45)	4.63	0.99	4.05	1.04	3.99	1.28
Cos2(90)	6.52	1.40	6.99	1.80	6.28	2.01
Cos3(135)	9.27	1.99	9.70	2.50	8.91	2.85
Cos4(180)	14.87	3.19	13.12	3.38	11.10	3.56

En este caso, los tres intervalos entre una y otra de las cosechas del pasto con el Zn bioacumulado fueron más homogéneos y las eficiencias fueron menores respecto al caso del Jal Rojo, la Presa de Jales a la que pertenece el Jal Gris. el Zn se asimila mejor por las plantas por ser un macro elemento indispensable, pero en este caso el resultado no fue tan favorable.

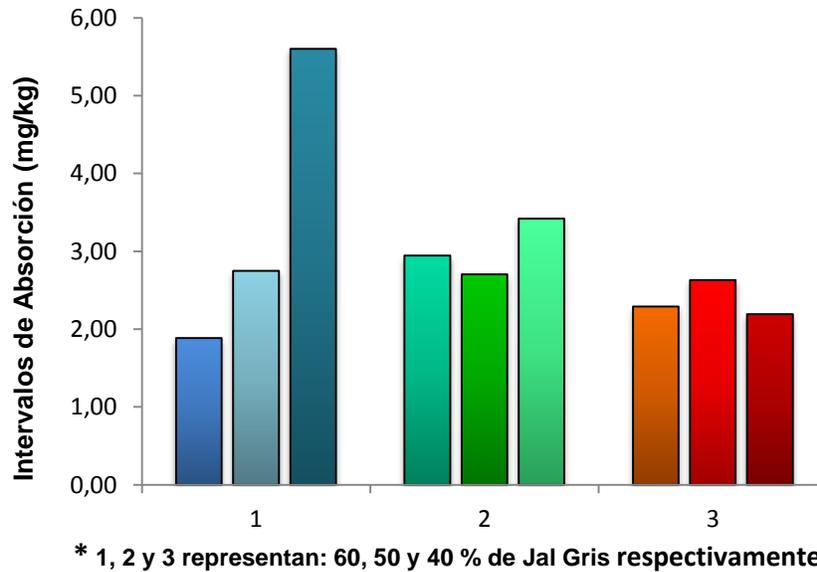


Figura 5.57. Valores en los intervalos de cada cosecha, 45, 90, 135 y 180 días de pasto inglés como planta fitoextractora de Zn.

Las tres proporciones fueron buenas, de nuevo la relación 50% y 40% de Jal Gris fueron más homogéneas, y como se ha indicado contienen más MO que permite absorber el Zn por la planta, pero por la composición arenosa del suelo posiblemente en las macetas se haya perdido Zn por riego, además de no presentar los resultados esperados.

5.5.3.5. Para el material del Suelo Testigo y Suelo Tepetatera considerando 100%

En las figuras 5.56 y 5.57 se muestra la acumulación de zinc considerando solamente el suelo sin agregar suelo testigo ni MO. En el caso del Suelo Testigo, se obtuvo de un sitio que no ha tenido ningún contacto con la zona minera y es relativamente rico en capa orgánica. En el caso de Suelo Tepetatera, al estar con poco contacto con la zona de jales y con poca capa orgánica, con condiciones típicas de suelo de la región y poco contacto con la población se decidió utilizarlo como ejemplo para ver el comportamiento del pasto en el tipo de suelos de la zona. Nuevamente se muestra una proporción de la extracción con el tiempo de crecimiento, lográndose para el caso de Suelo de la Tepetatera de hasta 8.18 mg de Zn por kg.

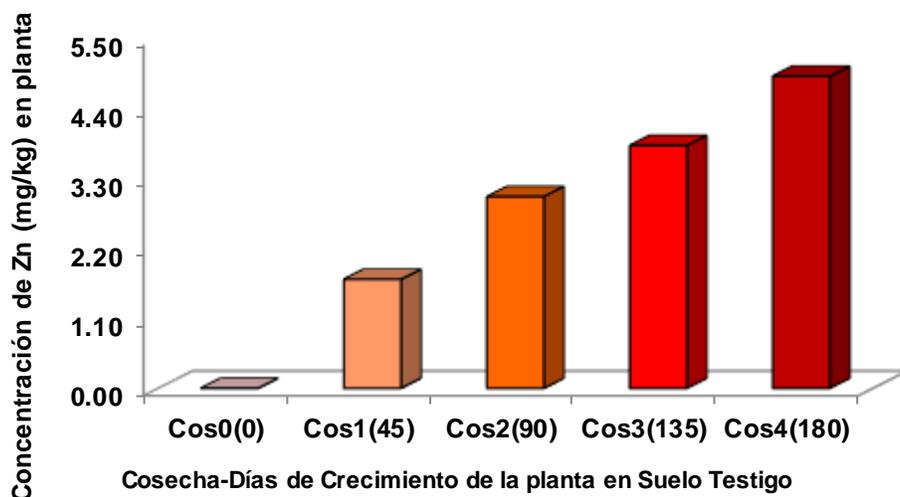


Figura 5.58. Concentración en mg/kg de Zn en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 100% de Suelo Testigo en las macetas

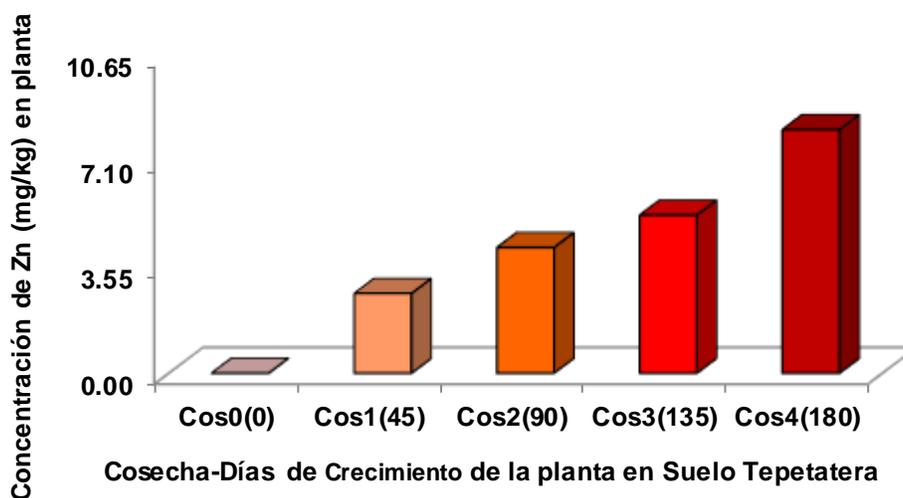


Figura 5.59. Concentración en mg/kg de Zn en cada cosecha de pasto inglés cuando se colocó un 100% de Suelo Tepetatera en las macetas

Se puede observar el en caso del Suelo Testigo la baja concentración de zinc y con capa vegetal, es decir con mayor cantidad de MO que permite al Zn ser extraído por la planta, aunque con concentraciones muy bajas y en el caso del Suelo Tepetatera se observa que se logró extraer un mayor contenido de zinc que en el suelo testigo.

En la tabla 5.21 se presenta, como en los casos anteriores, una evaluación a través de la eficiencia de fitoextracción del pasto inglés donde la eficiencia de extracción del suelo contaminado alcanzó una eficiencia de 93.87% en suelo testigo y 17.01% en suelo tepetatera.

Tabla 5.21. Eficiencia de fitoextracción de Zn por el pasto inglés, considerando el % de suelo de Jal Gris en cada maceta

Suelo testigo contenido de Zn= 5.22 mg/kg y Suelo Tepetatera contenido de Zn= 48.10 Mg/kg				
Cosecha-Días	(ST)100%	% de eficiencia	(STEP)100%	% de eficiencia
Cos1(45)	1.71	32.78	2.68	5.57
Cos2(90)	3.01	57.67	4.22	8.78
Cos3(135)	3.81	73.02	5.31	11.04
Cos4(180)	4.90	93.87	8.18	17.01

En el caso del suelo testigo se alcanzó un porcentaje alto con respecto a los demás, el pasto no sufrió estrés y se mantuvo verde, así el pasto logró una buena fitoextracción, aunque en cantidades bajas. En cuanto al Suelo Tepetatera es un suelo muy pobre en capas vegetales y nutrientes, a pesar de tener relativamente concentraciones menores de plomo que los otros sitios, al utilizarlo solo en las macetas, la fitoextracción fue buena respecto a los sitios Jal Rojo y Jal Gris.

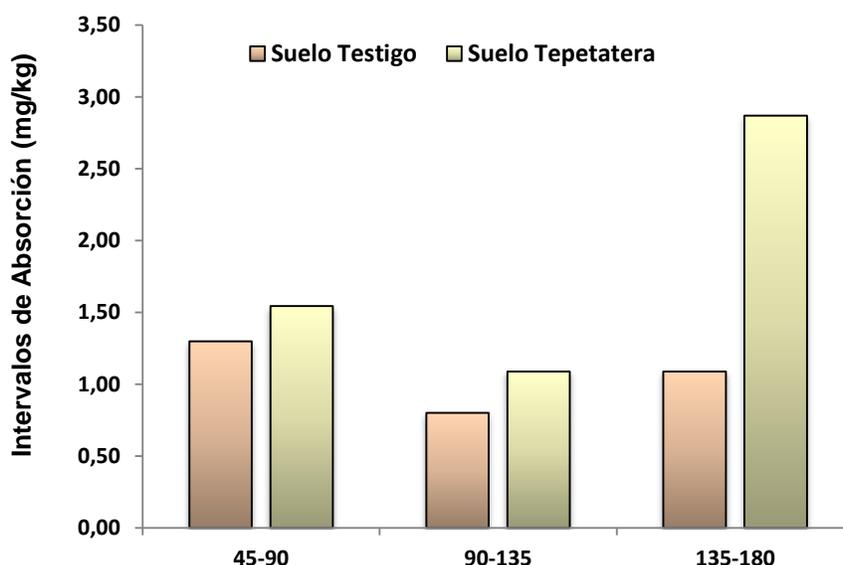


Figura 5.60. Valores en los intervalos de cada cosecha, 45, 90, 135 y 180 días de pasto inglés como planta fitoextractora de Zn

5.5.3.6. Índice de Bioacumulación (IB) de las combinaciones para Jal Rojo (60, 50 y 40 %)

En las figuras 5.59 a, 5.59 b y 5.59 c se presentan los valores de Índice de Bioacumulación (IB) del pasto inglés al fitoextraer zinc, donde a medida que transcurre el tiempo bioacumula más metal, el mayor índice obtenido fue a los 180 días en el Jal Rojo de 40%.

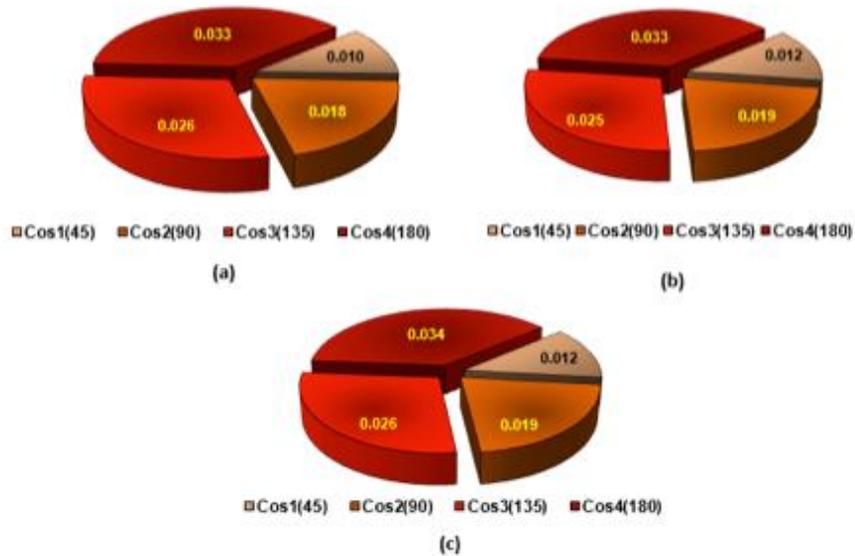


Figura 5.61. Índice de Bioacumulación (IB) de Cu en Pasto Inglés utilizando diferentes porcentajes de suelo del sitio Jal Rojo. (a) Para 60%. (b) Para 50%. (c). Para 40%.

5.5.3.7. Índice de Bioacumulación (IB) de las combinaciones para Jal Gris (60, 50 y 40 %)

En las figuras 5.60 a, 5.60 b y 5.60 c, como en el caso anterior, se presentan los IB del suelo Jal Gris, donde se colectaron muestras de varios sitios cercano a la Presa de Jales y se obtuvo por cuarteo una muestra compuesta, como se ha indicado se le llamó muestra Jal Gris. En este caso las muestras variaron con respecto a sus porcentajes, presentaron valores de IB algo mayores los de contenido de 40% y 50% que la de 60%, probablemente al tener mayor porcentaje de MO, donde el Zn fue absorbido.

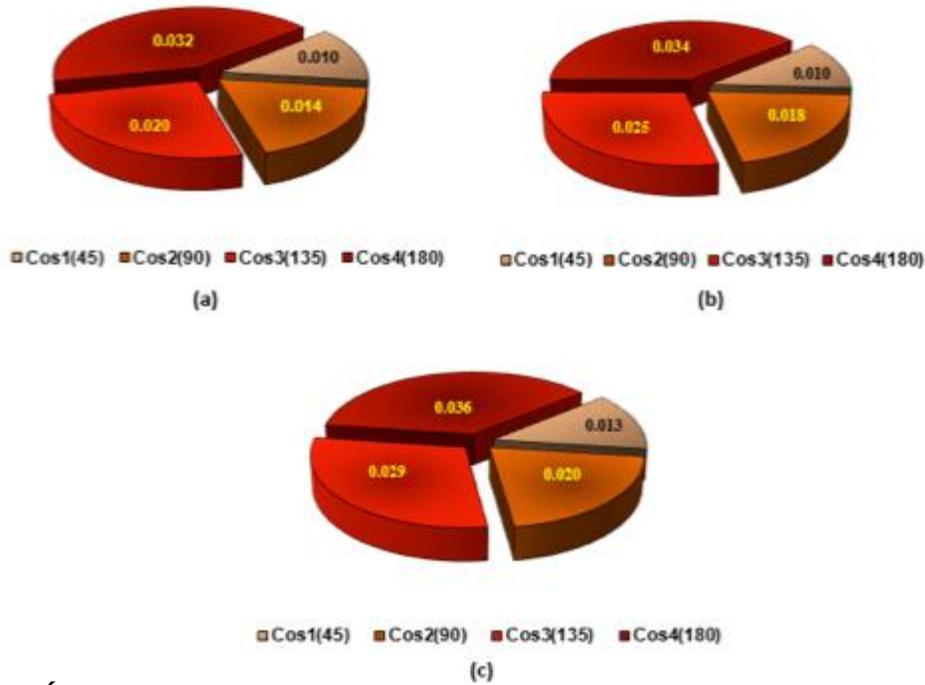


Figura 5.62. Índice de Bioacumulación (IB) de Cu en Pasto Inglés utilizando diferentes porcentajes de suelo del sitio Jal Gris. (a) Para 60%. (b) Para 50%. (c). Para 40%.

5.5.3.8. Índice de Bioacumulación (IB) para Suelo Testigo y Suelo Tepetatera

En las figuras 5.61 a y 5.61 b se muestran los IB de ambos suelos respectivamente, donde se presenta una buena eficiencia para los dos casos.

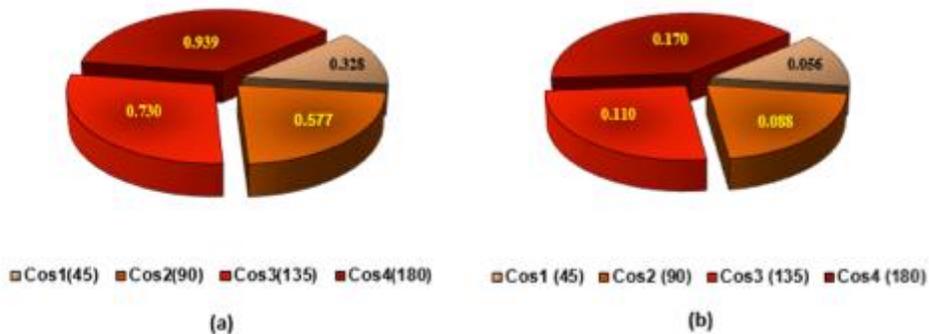


Figura 5.63. Índice de Bioacumulación (IB) de Zn en Pasto Inglés en Suelo Testigo (a) y en el suelo Tepetatera (b), considerando en ambos el 100% de suelo.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA Y APÉNDICES

6.1 CONCLUSIONES:

- Se realizó un estudio de caracterización de suelos en el Poblado Noria de Ángeles en Zacatecas a lo largo de un transecto que va desde la tepetatera de la mina hasta la presa de jales, pasando por todo el poblado.
- Los parámetros fisicoquímicos mostraron diferencias en todas las muestras, siendo de color claro los suelos del poblado y del ejido, color oscuro el suelo testigo, color gris la presa de jales y color rojizo la zona de jales rojos. Las muestras del poblado, el ejido, la tepetatera y la presa de jales presentaron arena muy fina, en tanto que en la zona de jales rojos y del parque fue arena gruesa.
- El porcentaje de humedad fue menor a 0.75% en todos los suelos, mientras que en la presa de jales fue hasta 1.75%. La salinidad más alta la presentaron los jales rojos con 1.3%, en la presa de jales fue de 0.5% y en los suelos fue menor a 0.3%.
- El pH de los suelos fue ligeramente alcalino, en tanto que en la zona de jales rojo y la presa de jales los valores fueron ácido con un promedio de 3.5, lo que permite una mayor movilidad de los metales.
- Los contenidos de carbono orgánico y materia orgánica fueron en todos los casos muy bajos (< 1%), sin embargo, el contenido de carbono total en los suelos de la tepetatera, el ejido y el poblado tuvieron porcentajes entre 2.6 y 3.1%, mientras que en los jales rojos y la presa de jales fue menor a 0.7%. El contenido de nitrógeno total también fue muy bajo, siendo el más alto el del ejido con 4%.
- Los metales tóxicos Cd, Cu, Pb y Zn tuvieron las mayores concentraciones en la presa de jales, seguido por la zona de jales rojos, la zona cercana a estos últimos y el parque, la tepetatera, el poblado y finalmente el ejido. La abundancia de los cuatro metales presentó la misma tendencia en cada sitio.
- El Cd presentó valores promedio de 10, 9, 3.5, 3 y 0.3 mg/kg en la zona de jales rojos, la presa de jales, la tepetatera, el poblado y el ejido, respectivamente.
- El Cu presentó valores promedio de 260, 130, 40, 36 y 20 mg/kg en la zona de jales rojos, la presa de jales, el ejido, la tepetatera y el poblado respectivamente.
- El Pb presentó valores promedio de 820, 600, 165, 113, y 90 mg/kg en la zona de jales rojos, la presa de jales, el poblado, la tepetatera y el ejido, respectivamente.
- El Zn presentó valores promedio de 875, 770, 237, 128, y 92 mg/kg en la zona de jales rojos, la presa de jales, la tepetatera, el ejido y el poblado, respectivamente.
- Se encontraron en toda la zona cuatro tipos de especies nativas que sobreviven a las condiciones del suelo, una corresponde a un tipo de arbusto, la gobernadora (*Larrea Tridentata*) y los otros tres son árboles: el huizache (*Acacia pennatula*), el pirul (*Schinus molle L.*) y el mezquite (*Prosopis laevigata*), las cuales presentaron diversas concentraciones de metales en sus tejidos. A pesar de que en todos los casos se

observaron concentraciones altas de metales que exceden los límites de fitotoxicidad, las plantas tenían buen aspecto y crecían de manera adecuada.

- La gobernadora (*Larrea Tridentata*) que se encontró en los suelos del poblado, ejido y tepetatera acumuló hasta 30 mg/kg de Cu y de Pb, rebasando ligeramente los límites de fitotoxicidad; en cuanto al zinc se excedió el límite de fitotoxicidad hasta 4 veces encontrándose concentraciones máximas de 163 mg/kg en la tepetatera.
- El huizache se encontró en el poblado, la presa de jales y la zona de jales rojos. Las concentraciones más altas de metales se encontraron en las plantas recolectadas en la presa de jales y en la zona de jales rojos con niveles de Cu de 87.5 y 36.6 mg/kg, respectivamente, excediendo los límites de fitotoxicidad, niveles de Pb de 110.5 y 116.3 mg/kg respectivamente, excediendo hasta 15 veces el nivel de fitotoxicidad, sin embargo, en la planta recolectada en el poblado, la acumulación de Pb fue de 9.1 mg/kg, justo en el límite de fitotoxicidad; finalmente, el Zn se encontró en altas concentraciones entre 256 y 383 mg/kg las cuales exceden el nivel de fitotoxicidad.
- En el caso del pirul, se encontraron varias plantas creciendo tanto en la presa de jales y en los jales rojos; los niveles de Cu en la planta fueron de 64.7 y 40.2, respectivamente excediendo parámetros de fitotoxicidad; el plomo se encontró en concentraciones de 110.5 y 116.3 mg/kg respectivamente, en tanto que en el poblado el contenido de Pb fue de 8.4. El Zn se encontró en altas concentraciones con niveles hasta 7 veces más altos que el valor de fitotoxicidad recomendado, con valores de 209.28, 415.15 y 300.83 mg/kg para el poblado, jal rojo y presa de jales respectivamente.
- El mezquite concentró alrededor de 60 mg/kg de Cu y de 100 mg/kg de Pb cerca de la presa de jales y en la presa de jales, en tanto que concentró hasta 300 mg/kg en la presa de jales.
- Se utilizó pasto inglés para evaluar las posibilidades de fitoextracción del Cu, Pb y Zn, encontrándose que en todos los casos la extracción aumentó proporcionalmente con el número de días. La mayor eficiencia de extracción se obtuvo a los 180 días para los tres metales y las distintas mezclas de suelo, materia orgánica y suelo testigo.
- Para el caso de Cu se extrajeron en 180 días hasta 41 mg/kg con una eficiencia del 26.51% en las mezclas de jal rojo con suelo testigo y materia orgánica, las mezclas de jal gris extrajeron hasta 39.4 mg/kg con una eficiencia del 29.1% y el suelo de la tepetatera extrajo hasta 14.42 mg/kg con una eficiencia de 45.86%.
- Para el caso de Pb se extrajeron en el mismo tiempo hasta 43.5 mg/kg con una eficiencia de 8.79% en las mezclas de jal rojo con suelo testigo y materia orgánica, las mezclas de jal gris extrajeron hasta 43 mg/kg con una eficiencia de 11.66% y el suelo de la tepetatera extrajo hasta 5.93 mg/kg con una eficiencia de 5.22%
- Para el caso de Zn se extrajeron en el mismo tiempo hasta 17.42 mg/kg con una eficiencia de 3.27% en las mezclas de jal rojo con suelo testigo y materia orgánica, las mezclas de jal gris extrajeron hasta 14.87 mg/kg con una eficiencia de 3.19% y el suelo de la tepetatera extrajo hasta 8.18 mg/kg con una eficiencia de 17.01%.
- Como conclusión, la fitoextracción mediante pasto inglés mostró buenos resultados para todos los metales, principalmente para Cu y Zn, sin mostrar estrés y buen contenido de metales fitoextraídos, lo cual recomendamos ésta planta para implementarla en un futuro si se desea biorremediar el lugar.

6.2 BIBLIOGRAFÍA:

Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. y Barberis, R. (2002). Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*, 119, p. 177.

Aguilera S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Casilla 233, Universidad de Chile, Santiago, Chile. Sitio web: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121065/Suelos_AGUILERA_2000.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Almeida A. (2014). Bacterias endófitas y plantas: la perfecta combinación a la hora de descontaminar. 2014, de Biogenic Colombia Sitio web: <http://blogs.eltiempo.com/biogenic-colombia/2014/07/25/bacterias-endofitas-y-plantas-la-perfecta-combinacion-a-la-hora-de-descontaminar-2>.

Ávalos H.C., Sotelo E., Domínguez J., Zorrilla M., Cortina S., Quiñones L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, (83), 5-71.

Banat K. M., Howari, F., Al-Hamad, A. A. (2005). Heavy Metals in Urban Soils of Central Jordan: Should we Worry about Their Environmental Risks. *Environmental Research*, 97, pp. 258-273.

Barceló Q. I., Bussy B. A., Solis C. H., Allende A. I., González C. C. (2000). Caracterización y comportamiento como secuestrante de metales del sedimento superficial de la presa José Antonio Alzate, México. *Américas y la acción por el medio ambiente en el milenio*. (pp. 1-10).

Barceló Quintal, I.D. (2000). "Estudio de la movilidad de Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en sedimentos de la presa José Antonio Alzate en el Estado de México". Tesis doctoral en Ingeniería-Ciencias del Agua; Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de Universidad Autónoma del Estado de México.

Barceló Quintal. Icela D., Bussy B. Anne Laure. Solís Correa. Hugo E., (2005). Applications of analytical chemistry in environmental research, Cap.10, pp. 161-188, ISBN: 81-308-0057-8, Ed. Manuel Palomar, Editorial Research Signpost, India.

Barceló Q. I., Gardezi A. K., Cetina A. V., Solis C. H., López Ch. V. (2016). Cooper Accumulation in *leucaena leucocephala* by Mycorrhizae *Glomus* Sp. Zac-19 in Symbiosis with *Rhizobium*. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*. P 181.

Burt R. (2004). Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42. Version 4.0. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. 700 ps.

Burt R., Wilson M., Keck T.J., Dougherty B.D., Strom D.E., Lindahl J.A., (2003). Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. *Advances in Environmental Research*, 8, pp. 51-67.

Campos O. H., Díaz M. G., Campos O. C., Aportes sedimentarios de los ríos Illuta y san José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. *IDESIA (Chile)* Vol. 25, Nº 2; 37-48.

Carrillo G. R., González Ch. (2005). Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes. 2005. Science of the Total Environment. Sitio web: www.sciencedirect.com.

Catalán L. M. (2011). Minería, una paradoja en el desarrollo de Zacatecas. El Independiente Zacatecas. Sitio web: <http://www.conflictosmineros.net/contenidos/23-mexico/9087-mineria-una-paradoja-en-el-desarrollo-de-zacatecas>.

Cortés J. E., Mugica A. V., González Ch. M., Carrillo G. R., Martínez G. M., Vaca M. M. (2013). Natural revegetation of alkaline tailing heaps at Taxco, Guerrero, Mexico. 2013. International Journal of Phytoremediation Sitio web: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23487991>.

Dane J.H., Topp G.C. (2002). Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Book Series No. 5. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wis. 1692 ps.

De Alba A. S. (2000). Redistribución del suelo por las prácticas de laboreo. Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM). Edafología. Volumen 7-2. mayo 2000. Pag. 75-90.

Delgadillo L. A., González R. C., Prieto G. F., Villagómez I. J., Acevedo S. O. (2011). Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution. Tropical and Subtropical Agroecosystems. Sitio web: http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Otilio_Sando/1.pdf.

FAO (2009). Guía para la descripción de suelos. Proyecto FAO – SWALIM, Nairobi, Kenya. Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.

Ecolástico L. C., Pérez E. J. (2012). Aplicación de compuestos orgánicos en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados. 1ª Ed. Garceta 189-192.

Fernández T. P., Sommer I., Cram S., Rosas I., Gutiérrez M. (2005). The influence of water-soluble As(III) and As(V) on dehydrogenase activity in soils affected by mine tailings. Science of the Total Environment Sitio web: www.sciencedirect.com.

Flores G. C. (2014). Determinación de bioacumulación de plomo y cadmio mediante absorción atómica en *Alyssum murale*, *Tecoma stans* y *Nicotiana glauca* colectadas en la comunidad minera de Maconí. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

García, I., Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>.

Garrido, A. (2006). Fundamentos de bioquímica estructural. 2ª Edición. Editorial Tébar, Madrid - España.

Gómez B. J., Santana C. J., Romero M. F., Armienta H. M., Mortón B. O., Ruiz H. E. (2010). Plantas de sitios contaminados con desechos mineros en Taxco, Guerrero. Boletín de la Sociedad Botánica de México Sitio web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282010000200011.

González F. E., Tornero C. M., Sandoval C. E., Pérez M. A., Gordillo M. A. (2011). Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con

biosólidos de origen municipal. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 27(4) 291-301.

Harper, E. (2004). *El ABC de la instrumentación en el control de procesos Industriales*. Edición única. Editorial Limusa, México D.F. - México.

Henriquez M., Pérez J., Gascó J. M., Rodríguez O. (2005). Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico en arena y caolín utilizando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Bioagro*. 17(1): 59-62.

INEGI Comunicado Núm 276/10, 20 de agosto de 2010, Aguascalientes, Ags.

Julca O. A., Meneses F. L., Blas S. R., Bello A. S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia Arica*, Vol. 24, N° 1; 49-61.

Kabata P. A., Dudka S. (1991). Trace metal contents of *Taraxacum officinale* (dandelion) as a convenient environmental indicator. *Environmental Geochemistry and Health*. Volume 13, Issue 2, pp 108–113.

Klute A. (1986). *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical Methods*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wis.

Mantecón A. (2012). El fantasma de Real de Ángeles. NTR Zacatecas. Sitio web: <http://ntrzacatecas.com/2012/12/09/el-fantasma-de-real-de-angeles>.

Martin, C.W. (2000). Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. *Catena* 39, 53-68.

Manzanares A. E., René V. C., Salas L. M., Hernández D. V., Letechipía L. C., Bañuelos V. R. (2006). Niveles de plomo en la población de alto riesgo y su entorno en San Ignacio, Fresnillo, Zacatecas, México. *Cuerpo Académico de Radiobiología, Universidad Autónoma de Zacatecas*. Sitio web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0036-36342006000300005&script=sci_arttext.

Matus F. L., Maire G. C. R., (2000). Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 747, Talca, Chile*. Vol. 60, num 2.

Méndez M., Armienta M. A. (2002). Arsenic phase distribution in Zimapán mine tailings, Mexico. *Geofísica Internacional* Sitio web: <file:///C:/Users/prueba/Downloads/Arsenic%20zimapan.pdf>.

Mesa D. (2003). Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 37, núm. 3, pp. 217-226.

Mireles F., Dávila J.I., Pinedo J.L., Reyes E., Speakman R.J., Glascock M.D. (2012). Assessing urban soil pollution in the cities of Zacatecas and Guadalupe, Mexico by instrumental neutron activation analysis. *Micro chemical Journal* Sitio web: www.elsevier.com/locate/micro.

Montes P. L. (2014). Espacialización de concentración de metales pesados Cromo, Zinc y Plomo en el complejo industrial fabrífame y propuesta de remediación de suelos. Tesis de Ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.

Moreno C., Chaparro A. E. (2008). Conceptos básicos para entender la legislación ambiental aplicable a la industria minera en los países andinos. Serie No° 134, p. 5.

Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por Arsénico, Berilio, Cadmio, Cromo Hexavalente, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Talio y Vanadio, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de noviembre de 2005.

Núñez M. G., Alarcón H. M., Melgoza C. A., Rodríguez A. F., Royo M. M. (2007). Evaluación de tres especies nativas del desierto chihuahuense para uso en fitoremediación. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica Sitio web: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311513005>.

Ortiz C. H., Trejo C. R., Valdez C. R., Arreola A. J., Flores H. A., López A. B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*amaranthushybridus l.*) y micorrizas. 2009. Universidad Autónoma de Chapingo Sitio web: (http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027152X2009000200009&script=sci_arttext).

Pineda, H. R. (2004). Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de *Glomus Intraradices* en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus L.*) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima. Tecomán, Colima.

Quevauviller P., Lachica M., Barahona E., Rauret G., Ure A., Gómez A., Muntau H., (1996). Interlaboratory comparison of EDTA and DTPA procedures prior to certification of extractable trace elements in calcareous soil. Sci. Total Environ. 178, 127–132.

Ratto M. S., Fatta N., (1990). Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera nucleo. Ciencia del Suelo, Volúmen 8, No. 1 p. 10.

Salas L. M., Manzanares A. E., Letechipía L. C., Vega C. H. (2009). Tolerant and Hyperaccumulators Autochthonous Plant Species from Mine Tailing Disposal Sites. Asian Journal of Experimental Sciences 2009 Vol. 23 No. 1 pp. 27-32.

Sauquillo A., Rigol A., Rauret, G. 2003. Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. Trends in Analytical Chemistry, 22, pp. 152-159.

SE. (2015). Zacatecas. 2015, de SE. Sitio web: <http://www.economia.gob.mx/delegaciones-de-la-se/estatales/zacatecas>.

Sepúlveda B. A., Pávez O., Tapia M., (2012). Fitoextracción de metales pesados desde relaves utilizando plantas de salicornia sp: Revista de Ingeniería. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Atacama., 28: 20-26.

Siegel, F. R. (2002). Environmental geochemistry of potentially toxic metals. Physical Chemistry, Springer. P 1-14.

Singh, O.V., S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja y R.K. Jain. 2003. Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination From Soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 61: 405-412.

Trejo C. R., Esquivel A. O., Pedroza S. A., Arreola A. J., Flores H. A., Ruiz T. J., Valdez C. R. (2009). Evaluación de trompillo (*Solanum elaeagnifolium*) en la fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados. Universidad Autónoma de Chapingo Sitio web: <file:///C:/Users/alumno/Downloads/rchszaVIII1069.pdf>.

Valadez R. A. (2005). Minera real de ángeles: de orgullo de zacatecas a paraje contaminado. La Jornada Sitio web: <http://www.jornada.unam.mx/2005/08/23/index.php?section=estados&article=032n1est>.

Vera G. Uta P. (2005). Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. 2006, de Springer-Verlag Sitio web: http://mycorrhiza.ag.utk.edu/reviews/rev_gohre1.pdf.

Wang Y. P., Chao C.C. (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.

6.3 APENDICES:

Apéndice A, Color:

Matiz.

- Expresa la longitud de onda dominante en la radiación reflejada.
- Se consideran 5 colores principales (R, rojo; Y, amarillo; G, verde; B, azul y P, púrpura) y 5 intermedios o complementarios.
- Se debe principalmente a la presencia de óxidos de hierro con distinto grado de hidratación.
- Para cada color se establece una gradación de 0 a 10. Así, por ejemplo: 0R 2.5R 7.5R 10R \equiv 0YR.
- Cada hoja de una tabla Munsell corresponde a un matiz, es decir a una misma longitud de onda.
- Los matices rojos (R) son frecuentes en suelos mediterráneos, tropicales y ecuatoriales, debido a la deshidratación casi irreversible de los óxidos de hierro que tiene lugar durante los periodos de desecación del suelo.
- Los suelos con condiciones reductoras presentan matices verdosos y azulados.

Brillo.

- Expresa la proporción de luz reflejada.
- Mide el grado de claridad o de oscuridad relativa del color comparado con el blanco absoluto.
- En una página de la tabla se representan en ordenadas:
0 = 0% de luz reflejada, color negro.
10 = 100% de luz reflejada, color blanco.
- En los suelos, los brillos más altos suelen ser del orden de 8 a 9.

Croma (Intensidad Cromática).

- Expresa la pureza relativa del color del matiz que se trate.
- Corresponde a la intensidad del color espectral dominante o saturación cromática.
- Es inversamente proporcional a la dominancia del gris. A mayor pureza de color corresponden valores de croma más altos.
- En los suelos el croma no suele ser superior a 8.

Interpretación del Color.

Como ejemplo, en caso del color negro puede ser debido a:

- Materia orgánica, característica de los horizontes superficiales.
- Componentes ferromagnesianos y a componentes litológicos negros.

Apéndice B, Humedad:

Finalmente se registró el peso de los crisoles y de la muestra al final del periodo, calculando así las diferencias en el peso, obteniendo la pérdida de agua en el proceso y determinando así el porcentaje de humedad en la muestra en gramos.

$$\% \text{ humedad} = [(PC + PHM) - (PC + PHS)]$$

Donde:

PC = Peso constante del crisol

PHM = Peso húmedo de la muestra

PHS = Peso seco de la muestra

Factor de correlación de humedad: $100 + \% \text{ Humedad} / 100$



Figura B.1. Determinación de la humedad

Apéndice C, Determinación de CO y MO en jales y suelos:

El interés del análisis es el contenido en materia orgánica (MO) de un suelo el cual reside en:

- Obtener una información indirecta de las propiedades físicas del suelo, ya que la MO influye en la retención de agua, así como en la aireación y estructuración del suelo.
- Interpretar aspectos relacionados con la nutrición de las plantas.
- Conocer la relación C/N que nos da una idea sobre la velocidad de mineralización de la materia orgánica, es decir, de la actividad de los microorganismos en el suelo.
- Permitir que puedan aplicarse determinados criterios taxonómicos.

Efectuar la corrección en los cálculos referentes a los determinados análisis, como el granulométrico.

La metodología elegida se basa en la técnica propuesta por Walkley y Black, sobre determinación de carbono orgánico activo y se mantienen los coeficientes habituales de transformación a carbono total y a materia orgánica propuestos por Van Bemmelen y Walkley. Se basa en un método volumétrico de óxido - reducción por retroceso, en el que se oxida la materia orgánica del suelo con un oxidante en exceso (dicromato potásico). Posteriormente se valora el dicromato residual mediante la sal de Mohr.

Material y Reactivos:

- Ácido fosfórico concentrado R.A.
- Ácido sulfúrico concentrado R.A.
- Matraces Erlenmeyer de 500 ml.
- Pipetas de 1 ml.
- Pipetas de 10 ml.
- Pipetas de 20 ml.
- Solución de dicromato potásico 1N: 49.0400 g de $K_2Cr_2O_7$ en polvo, R.A., secado previamente en estufa a 100-103 °C, se introducen en un matraz aforado de un litro. Se disuelve en agua y se lleva a volumen.
- Solución de difenilamina: 2.30 gr de producto, R.A., se disuelven en 20 ml de agua y 100 ml de H_2SO_4 concentrado.

Procedimiento:

1. Se tomarán 2 gr para muestras cuyo contenido en materia orgánica se sospecha sea inferior a 1%; 1 gr para muestras cuyo contenido oscile entre 1% y 3% y 0.5 gr para contenidos superiores a 3% (para suelos orgánicos, con contenidos del 12% o más de materia orgánica, se deberán tomar cantidades no superiores a 0.25 gr).
2. Se introduce la muestra pesada en el matraz Erlenmeyer de 500 ml y se agregan exactamente 10 ml de la solución de dicromato potásico 1N. Se agita con un suave movimiento de rotación hasta que todo el suelo se ha empapado de esta solución.
3. Añadir 20 ml de ácido sulfúrico concentrado agitando suavemente durante treinta segundos, al cabo de los cuales se deja en reposo durante treinta minutos.
4. Agregar de una sola vez, 200 ml de agua desmineralizada y enfriar hasta temperatura ambiente.
5. Añadir 10 ml de ácido fosfórico seguidos por 1 ml de la solución de difenilamina; nuevamente enfriar bajo el chorro de agua hasta temperatura ambiente.
6. Valorar con una bureta el exceso de dicromato potásico no reducido, mediante la solución de sal de Mohr 0.5 N.

Cálculos y Resultados:

Los resultados se expresan en peso de carbono o de materia orgánica respecto al suelo (%).

% Carbono orgánico = $(1-M/B) \times 3.9/P$

% Materia orgánica = % de Carbono orgánico x 1.72

- M = ml de sal de Mohr gastados en la prueba en la muestra.
- B = ml de sal de Mohr gastados en la prueba en blanco.
- P = peso en gr de la muestra.

Apéndice D, Determinación de MO en Plantas:

Se pesó en un crisol $10\text{ g} \pm 0,001\text{ g}$ de muestra seca a 36°C , libre de inertes y molida, si la muestra contiene carbonatos, eliminarlos agregando HCl 0,05 mol/L hasta que cese el burbujeo. Se secó a temperatura constante y se registró la masa de muestra seca. Se colocaron en la mufla las muestras pesadas contenidas en los crisoles y se programó una rampa de temperatura hasta llegar a 550°C . Manteniendo la temperatura durante 2 h y luego lentamente disminuirla hasta alrededor de 200°C .

Sacar, colocar en el desecador y dejar enfriar hasta temperatura ambiente. Pesar y registrar la masa con una exactitud de 0,001 g.

Se calculó la concentración de materia orgánica, expresada en porcentaje en base al peso registrado de la muestra introducida.

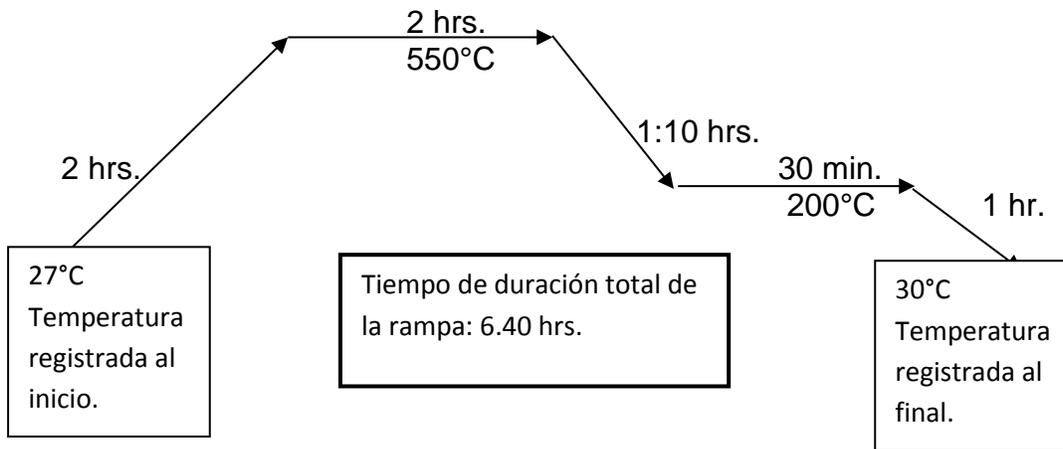


Figura D.1. Rampa de temperatura programada para las muestras.

Apéndice E, Determinación de CHN:

 <p>UCM CENTRO DE MICROANÁLISIS ELEMENTAL Sitio no. EHE QA, Facultad de CC. Químicas UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID</p>	<p><i>INFORME DE ENSAYO SIMPLIFICADO</i></p>	Código: PGC11-FR02.04
		Fecha de edición: 07/03/16

**CENTRO DE MICROANÁLISIS ELEMENTAL
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

Tlf : 91 394 1753 / 5211 Fax: 91 394 18 22 Correo electrónico: macroanalisis.elemental@furm.ucm.es

Código Cliente: ALL

Fecha de resultados: 01/02/2017

Equipo: LECO CHNS-932. Código 3288

RESULTADOS DE ANÁLISIS CHN

Contraseña Muestra	Contraseña Muestra CAI	%C	%H	%N	Desviaciones del método	Descripción de la muestra	Observaciones
1	Q01-17-103	2,58	0,55	0,30	Heterogénea	Sólido marrón	
2	Q01-17-104	3,12	0,55	0,26	Heterogénea	Sólido marrón	
3	Q01-17-105	0,07	0,40	0,19		Sólido marrón	
4	Q01-17-106	2,85	0,70	0,39	Heterogénea	Sólido marrón	
5	Q01-17-107	0,63	0,32	0,05	Heterogénea	Sólido negro-gris	

Responsable Técnico
José Carlos Menéndez Ramos
Fecha de emisión: 01/02/2017

Documento firmado electrónicamente. El CAI Microanálisis Elemental conserva el registro original.

Alcance validado (LC-LS) %C 0,50-94,70 %H 0,50-7,60 %N 0,50-23,00 %S 0,50-30,60

Desviaciones del método:

< LC: Inferior al Límite de cuantificación. > LS: Superior al Límite Superior. DM: Desviación del método

Los resultados aquí expuestos no reflejan la información completa del ensayo, y se refieren únicamente a la muestra a la que se hace referencia.

La muestra se analiza tal cual se recibe, sin someterla a ningún tratamiento previo y se pesa expuesta al aire y a temperatura ambiente.

Este Informe de Ensayo no podrá reproducirse parcialmente sin previa autorización del laboratorio

El contenido del presente informe no está cubierto por la acreditación de ENAC ni por sus acuerdos internacionales de reconocimiento

Página 1 de 1

Figura E.1 Hoja de resultados del análisis CHN realizados en el centro de microanálisis elemental de la Universidad Complutense de Madrid

Apéndice F. Determinación de los metales por Absorción Atómica:

Para las curvas de calibración estas se prepararon mediante estándares específicos para cada metal con una concentración de 100 ppm, de la cual se tomaron diferentes volúmenes para obtener las concentraciones deseadas por cada metal y así comenzar a su lectura.

Para la determinación de metales contenidos en plantas se omitió Cd, ya que los niveles de detección fueron muy bajos e incluso por la curva de calibración y se necesitaría un nuevo método el cual no fue posible determinar por la falta del equipo.

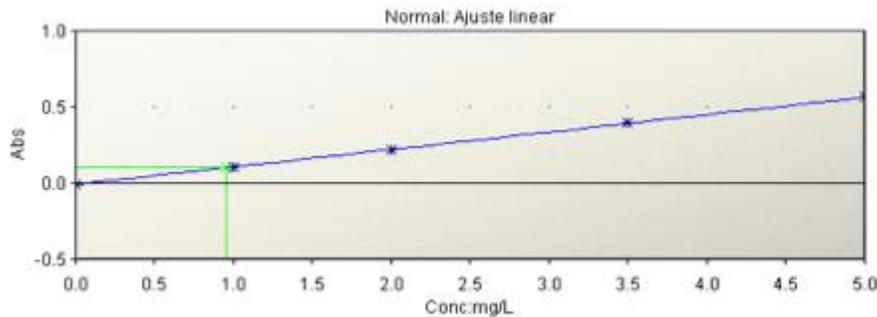


Figura F.1. Curva de calibración para Cobre.

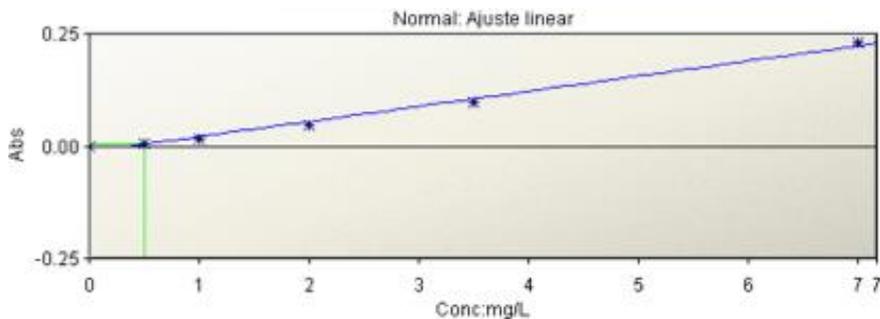


Figura F.2. Curva de calibración para Plomo.

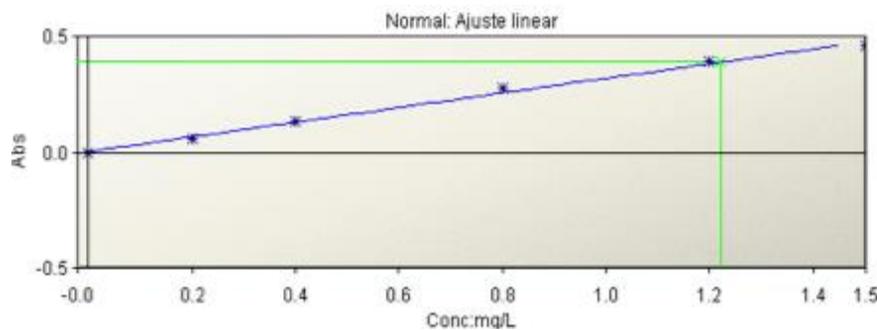


Figura F.3. Curva de calibración para Zinc.