

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPARTAMENTO
Fisiología y Farmacología

**Estudio de Residuos Provenientes de la Mina El Bote, Zacatecas y
de las Principales Plantas que se han Adaptado al Sitio**

Presenta:

M. en C. Juan Armando Flores de la Torre

Para obtener el grado de

Doctorado en Ciencias Biológicas

Co-TUTORES

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González

Dra. en C. Alma Lilián Barrera Guerrero

ASESOR

Dra. en C. Ma. Consolación Martínez Saldaña

Aguascalientes, Aguascalientes.

Junio 2018

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS



M. EN C. JOSÉ DE JESÚS RUÍZ GALLEGOS
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS
P R E S E N T E

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **JUAN ARMANDO FLORES DE LA TORRE** con ID 173191 quien realizó **LA TESIS** titulado: **ESTUDIO DE RESIDUOS PROVENIENTES DE LA MINA EL BOTE, ZACATECAS Y DE LAS PRINCIPALES PLANTAS QUE SE HAN ADAPTADO AL SITIO**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *el* pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 16 de Mayo de 2018

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Co-Tutor de Tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Secretario Técnico



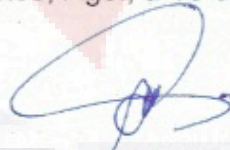
M. EN C. JOSÉ DE JESÚS RUÍZ GALLEGOS
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS
P R E S E N T E

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **JUAN ARMANDO FLORES DE LA TORRE** con ID 173191 quien realizó **LA TESIS** titulado: **ESTUDIO DE RESIDUOS PROVENIENTES DE LA MINA EL BOTE, ZACATECAS Y DE LAS PRINCIPALES PLANTAS QUE SE HAN ADAPTADO AL SITIO**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *el* pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 16 de Mayo de 2018



Dra. en C. Alma Lilián Guerrero Barrera
Co-Tutora de Tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Secretario Técnico




M. EN C. JOSÉ DE JESÚS RUÍZ GALLEGOS
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS
P R E S E N T E

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **JUAN ARMANDO FLORES DE LA TORRE** con ID 173191 quien realizó **LA TESIS** titulado: **ESTUDIO DE RESIDUOS PROVENIENTES DE LA MINA EL BOTE, ZACATECAS Y DE LAS PRINCIPALES PLANTAS QUE SE HAN ADAPTADO AL SITIO**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *el* pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 16 de Mayo de 2018



Dra. en C. Ma. Consolación Martínez Saldaña
Asesora de Tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Secretario Técnico



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

JUAN ARMANDO FLORES DE LA TORRE
DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
P R E S E N T E.

Estimado alumno:

Por medio de este conducto me permito comunicar a Usted que habiendo recibido los votos aprobatorios de los revisores de su trabajo de tesis y/o caso práctico titulado: **“ESTUDIO DE RESIDUOS PROVENIENTES DE LA MINA EL BOTE, ZACATECAS Y DE LAS PRINCIPALES PLANTAS QUE SE HAN ADAPTADO AL SITIO”**, hago de su conocimiento que puede imprimir dicho documento y continuar con los trámites para la presentación de su examen de grado.

Sin otro particular me permito saludarle muy afectuosamente.

ATENTAMENTE

Aguascalientes, Ags., a 16 de mayo de 2018

“Se lumen proferre”

EL DECANO

M. en C. JOSÉ DE JESÚS RUIZ GALLEGOS

c.c.p.- Archivo.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

De: "James W. LaMoreaux" <em@editorialmanager.com>

Fecha: 13 de mayo de 2018, 12:09:51 GMT-5

Para: Francisco Javier Avelar González <fjavelar@correo.uaa.mx>

Asunto: ENGE: Your manuscript entitled Effect of plant growth on Pb and Zn geoaccumulation in 300-year-old mine tailings of Zacatecas, México

Responder a: "James W. LaMoreaux" <eeswest@yahoo.com>

Ref.: Ms. No. ENGE-D-17-01930R3

Effect of plant growth on Pb and Zn geoaccumulation in 300-year-old mine tailings of Zacatecas, México
Environmental Earth Sciences

Dear Dr Avelar González:

It is my pleasure to accept your manuscript entitled Effect of plant growth on Pb and Zn geoaccumulation in 300-year-old mine tailings of Zacatecas, México for publication in Environmental Earth Sciences in its current state.

Please be sure to make all necessary editing on the galley proofs you receive. The online publication of your manuscript will be a permanent, inalterable record. No further revisions can be made after your manuscript is published online except by errata sheet.

After the typesetters enter your corrections, the manuscript will be published online.

On behalf of all the staff of Environmental Earth Sciences, congratulations and thank you for your contribution.

Please keep us in mind for any future work that you consider to be appropriate for our readers.

Thanks again,

James W. LaMoreaux, PhD
Editor-in-Chief
Environmental Earth Sciences





Effect of plant growth on Pb and Zn geoaccumulation in 300-year-old mine tailings of Zacatecas, México

Juan Armando Flores de la Torre^{1,2} · Kerry Mitchell^{1,3} · Magdalena Samantha Ramos Gómez¹ · Alma Lilian Guerrero Barrera¹ · Laura Yamamoto Flores¹ · Francisco Javier Avelar González¹ 

Received: 21 September 2017 / Accepted: 14 May 2018
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2018

Abstract

Concentrations of Pb and Zn, plant uptake of these metals, the influence of the plants' growth on the physicochemical properties and metal concentrations in the tailings of an abandoned 300-year-old mine tailing dam in Zacatecas, Mexico were investigated. Tailings were found to be heavily contaminated, with average levels of 2621 ± 53 and 3827 ± 83 mg/kg for Pb and Zn, respectively (maximum concentrations of 8466 ± 116 and $12,475 \pm 324$ mg/kg, respectively), exceeding international standards. Though physico-chemical conditions (pH, conductivity, redox potential, moisture, organic matter, nitrate, nitrite, ammonium nitrogen, total nitrogen, phosphorus and sulfates) do not favor the development of vegetation, some plants have adapted to these adverse conditions. Moreover, there was a significant reduction of Pb and Zn concentration in the rhizosphere (between 10–78% for Pb and 18–62% for Zn, depending on plant species). *Sporobolus airoides* showed average biomass concentrations of 173 ± 2 and 313 ± 6 mg/kg, for Pb and Zn, respectively; which implies a risk for mobility and possible incorporation into the food chain. *Barcleyanthus salicifolius*, *Asclepias linaria* and *Cortaderia selloana* on the other hand, showed average biomass concentrations of 28 ± 3 and 121 ± 5 mg/kg of Pb and Zn, respectively, thus representing a lower biomagnification risk. The effect of these plants to reduce metal concentrations in the rhizosphere, improve physico-chemical conditions in metal polluted substrates, but with limited metal accumulation in biomass, suggests that they can be evaluated for use in stabilizing metal polluted tailings.

Keywords Contamination · Metals · Bioaccumulation · Translocation · Rhizosphere

Introduction

Mining for high economic value ore mineral deposits often results in a simultaneous release of toxic elements into the environment (Álvarez-Ayuso et al. 2012; Andrés et al. 2012). These waste materials when poorly managed, are usually associated with the pollution of surrounding areas thus

representing a serious threat to environmental quality and human health (Álvarez-Ayuso et al. 2012; Rashed 2010; Kim et al. 2010; Otones et al. 2011). Mine tailings generally contain high concentrations of heavy metals, which through phenomena such as surface run-off, leaching and windborne transport, may eventually affect various components of the natural environment (Al-Rashdi and Sulaiman 2013; Ding et al. 2011). Though soils have a limited capacity to stabilize high concentrations of metals, these metals tend to accumulate in the system (soil–rhizosphere–plant) (Adamo et al. 2003). Untreated metal pollution is considered nondegradable (Li et al. 2014; Tüzen 2003).

Zacatecas, Mexico has historically been a mining state par excellence, and it continues to be an activity upon which the economy greatly depends. Due to minimal attention being given to waste generation, high concentrations of heavy metals have accumulated in urban areas, principally in large tailings dams on the outskirts of towns and cities,

✉ Francisco Javier Avelar González
fjavelar@correo.uaa.mx

¹ Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Avenida Universidad #940, 20231 Aguascalientes, Aguascalientes, México

² Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Carretera Guadalajara km 6 Ejido la Escondida, 98060 Zacatecas, Zacatecas, México

³ Department of Public Health and Preventive Medicine, St. George's University, P.O. Box 7, True Blue, St. George's, Grenada

Dedicatoria

*A mi esposa,
mis hijas,
mis padres,
mi hermano,
a la Universidad Autónoma de Zacatecas.*



Agradecimientos

Agradezco al Dr. en C. Francisco Javier Avelar González, por su apoyo en todo momento, desde el proceso de selección al doctorado, hasta el día de hoy, además de ser un ejemplo de objetividad y de trabajo. A la Dra. en C. Alma Lilián Guerrero Barrera, por formar parte de mi comité tutorial y estar al pendiente de los avances. A la Dra. en C. Ma. Consolación Martínez Saldaña, que desde el primer día que me entrevisté con ella, me envió con la persona indicada y me brindó su apoyo en todo momento.

A I.B.Q. Laura Yamamoto Flores por todas las enseñanzas y apoyo brindado en el Laboratorio de Estudios Ambientales, a la Dra. en C. Samantha Ramos Gómez por el seguimiento que le dio a mi trabajo.

Al Dr. Juan José Peña Cabriales por estar siempre al pendiente de los avances y brindarme apoyo para avanzar en diversos proyectos.

Gracias a Kerry, Viridiana por brindarme su amistad, además de compartir conocimientos en todo este tiempo.

A mis compañeros de trabajo, de los cuales tengo la fortuna de recibir su amistad: Argelia, Flavio, Donaji, Rosy Mendoza, Maricela, Coco, Marisa, Flor, Zulema, Toñita, Blanca, Marco, Rosy Ramírez, Luz, Hugo, que siempre cuento con ellos.

A mis papás y hermano que siempre están para todo, incondicionales como siempre, han sido unos pilares fundamentales para lograr mis metas.

A mis hijas que me han enseñado el valor de una familia y que el contar con ellas me ha impulsado a culminar todos mis proyectos.

A mi esposa por su amor incondicional, gracias por estar siempre conmigo, este logro es nuestro.

SE LUMEN PROFERRE

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS PARTICULARES	3
JUSTIFICACIÓN	5
HIPÓTESIS	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Regiones y distritos mineros	6
2.2 Contaminación de suelos	7
2.3 Metales pesados y metaloides	7
2.4 Elementos tóxicos para los sistemas biológicos	8
2.5 Normatividad	13
2.6 Características fisicoquímicas de los suelos	13
2.7 Remedación de suelos	15
2.7.1 Fitoremediación	15
2.7.2 Características de las plantas hiperacumuladoras	16
2.8 Factor de biodisponibilidad y factor de traslocación	18
2.9 Toxicidad y metabolismo celular de metales y metaloides en plantas	19
3. MATERIAL Y MÉTODOS	21
3.1 Área de muestro	21
3.2 Procedimiento de muestreo	22
3.3 Manejo de muestras	22
3.3.1 Secado	23
3.4 Análisis de suelos	24
3.4.1 Medición del pH	24
3.4.2 Conductividad eléctrica	25
3.4.3 Potencial redox	26
3.4.4 Contenido de materia orgánica	26
3.4.5 Cuantificación de metales contenidos en las muestras de suelos	28
3.4.8.1 <i>Procesos de extracción y digestión de muestras de suelo</i>	29
3.4.6 Potencial de lixiviación	32
3.4.7 Extracción secuencial	32
3.5 Cuantificación de metales en muestras de plantas	33
3.5.1 Digestión de muestras provenientes de plantas	33
3.5.2 Absorción atómica por el método de generador de hidruros para cuantificación de arsénico	33
3.5.2.1 <i>Preparación de la muestra</i>	34
3.7 Obtención del factor de biodisponibilidad	35
3.8 Obtención del factor de traslocación	36
4. RESULTADOS	37
4.1 Muestreo de suelos	37
4.2 Muestreo de plantas	40

4.3	Identificación taxonómica de plantas	40
4.4	Caracterización Fisicoquímica de suelos	42
4.4.1	Medición de pH	42
4.4.2	Medición de potencial redox en suelo	42
4.4.3	Medición de conductividad de jales	43
4.4.4	Medición de sólidos disueltos en jales	43
4.4.5	Cuantificación de la cantidad de materia orgánica	44
4.4.6	Cuantificación de fósforo	45
4.4.7	Medición de nitrógeno (total, amoniacal, nitrito, nitrato)	45
4.5	Caracterización fisicoquímica de rizosferas	46
4.5.1	Medición de pH	46
4.5.2	Medición de potencial redox	47
4.5.3	Medición de conductividad	48
4.5.4	Medición de sólidos disueltos	49
4.5.5	Medición de materia orgánica	50
4.5.6	Medición de fósforo	51
4.6	Caracterización del contenido de metales y metaloides	53
4.6.1	Suelos jales antiguos	53
4.6.2	Rizosferas jales antiguos	58
4.6.3	Suelos control	64
4.7	Análisis comparativo de concentraciones de metales entre suelos-controles, rizosferas-controles, suelos-rizosferas	70
4.7.1	Cadmio	70
4.7.2	Cromo	75
4.7.3	Cobre	80
4.7.4	Fierro	81
4.7.5	Manganeso	82
4.7.6	Níquel	83
4.7.7	Plomo	84
4.7.8	Zinc	85
4.8	Extracción Secuencial	86
4.9	Factor de movilidad	90
4.10	Cuantificación de metales en las diversas secciones de las plantas	94
4.10.1	<i>Asclepias linaria</i>	94
4.10.2	<i>Barkleyanthus salignie</i>	96
4.10.3	<i>Cortaderia selloana</i>	98
4.10.4	<i>Sporobolus airoides</i>	101
4.11	Índice de geoacumulación	103
	DISCUSION	106
	CONCLUSION	109
	REFERENCIAS	112
	Anexos	118

Resumen

La minería es una actividad económica que ha impulsado el desarrollo de muchos países, México no es la excepción y Zacatecas, es uno de las entidades federativas que mayor impacto ha recibido de la minería tanto económico como ambiental, ya que a lo largo de cientos años se han abandonado sin control sitios de desecho de residuos mineros, que en la actualidad ya son sitios muy cercanos o incluso forman parte de la urbanización provocando interacción con organismos vivos y con el ser humano, generando complicaciones de salud. Por lo cual es relevante estudiar dichos sitios, para generar una estrategia que permita la contención en la distribución de los contaminantes presentes.

El análisis realizado a los desechos mineros de la mina El Bote, Zacatecas, desechos con mas de 300 años abandonados, muestran que son de carácter principalmente inorgánico, no tienen la capacidad de retener cantidades de agua, contienen escasas cantidades de fósforo, nitrógeno (total, amoniacal) bajo contenido de materia orgánica, lo que provoca que predomine un ambiente adverso para el desarrollo de cualquier organismo vivo, sin embargo en el sitio, se han encontrado plantas que se han adaptado y que se pudieran utilizar como herramienta para una estrategia de fitoestabilización.

Se ha encontrado concentraciones de metales tóxicos que superan la normatividad tanto nacional como internacional de: plomo, arsénico, zinc, fierro, lo cual hace a estos desechos mineros altamente tóxicos y generadores de contaminación. Dicha contaminación puede distribuirse por medio de la cadena trófica a través de las plantas y animales que se encuentran en el sitio, por medio de viento, arrastre por lluvia y lixiviación.

La caracterización fisicoquímica de los desechos mostró que el pH de la zona oscila de 7.0 a 8.5, provocando que dicha característica sea un factor importante de movilidad de los metales hacia capas mas interna de la corteza terrestre. Los

análisis de potencial redox muestran que se tiene un estado anaerobio en la mayor parte del sitio.

Derivado de lo anterior es importante realizar un estudio de movilidad de metales, por medio de una extracción secuencial, encontrado que la fase donde la concentración de los metales predomina es la que se encuentra anclada a silicatos, fase que es prácticamente inmóvil, sin embargo cerca de 1% de los metales tales como el plomo, se encuentra en la fase móvil, lo cual indica que dicho metal se ha estado moviendo hacia capas más bajas de la corteza terrestre y se encuentra biodisponible para los organismos vivos.

El estudio realizado con las plantas mostró que en el sitio hay plantas que no muestran propiedades hiperacumuladoras e incluso plantas que pudieran llamarse tolerantes o resistentes, ya que son capaces de sobrevivir a las condiciones adversas de los residuos y además no introducen los metales tóxicos a su biomasa, razón por la cual el presente estudio puede servir como inicio de una estrategia de fitoestabilización de zonas contaminadas y utilizar plantas como *Sporobolus airoides* y *Cortaderia selloana*, para desarrollar una estrategia de contención, ya que muestra factores de biodisponibilidad y factores de traslocación por debajo de 0.2.

Los resultados de este proyecto de investigación señalaron la importancia de considerar las características fisicoquímicas durante la evaluación del comportamiento de los metales en la zona, de igual forma el análisis de los metales, mostró que zonas similares no pueden ser tratadas simplemente como desecho industrial y posterior a ello reutilizarlo como zonas de recreación, sino que se debe de poner atención ya que son sitios que pueden contaminar mantos acuíferos importantes para el flujo de agua en la población.

Derivado de la movilidad que presentan los metales a largo plazo se debe generar una estrategia de remediación que no sea tan costosa económicamente y que a largo plazo los metales se mantengan estáticos evitando su dispersión.

Abstract.

Mining is an economic activity that has driven the development of many countries, Mexico is not the exception and Zacatecas, is one of the federal entities that has received the greatest impact from both economic and environmental mining, since over a hundred years waste disposal sites of mining waste have been left unchecked, which are now very close sites or even part of the urbanization causing interaction with living organisms and humans, generating health complications. Therefore, it is relevant to study these sites, to generate a strategy that allows the containment in the distribution of the present pollutants.

The analysis carried out on mining waste at the El Bote mine in Zacatecas, which has been abandoned for more than 300 years, shows that they are mainly inorganic in character, do not have the capacity to retain quantities of water, contain little amounts of phosphorus, nitrogen (total , ammoniacal) with low content of organic matter, which causes an adverse environment to predominate for the development of any living organism, however on the site, plants have been found that have been adapted and that could be used as a tool for a strategy of phytostabilization.

It has been found concentrations of toxic metals that exceed the national and international regulations of: lead, arsenic, zinc, iron, which makes these mining wastes highly toxic and generators of pollution. This contamination can be distributed through the trophic chain through the plants and animals found at the site, by means of wind, rainwater and leaching.

The physicochemical characterization of the wastes showed that the pH of the zone ranges from 7.0 to 8.5, causing this characteristic to be an important factor of metal mobility towards innermost layers of the earth's crust. The redox potential analyzes show that there is an anaerobic state in most of the site.

Derived from the above, it is important to carry out a study of metal mobility, by means of a sequential extraction, found that the phase where the concentration of metals predominates is that which is anchored to silicates, a phase that is practically

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

immobile, nevertheless near of 1% of metals such as lead, is in the mobile phase, which indicates that this metal has been moving towards lower able of the earth's crust and is bioavailable to living organisms.

The study carried out with the plants showed that there are plants on the site that do not show hyperaccumulating properties and even plants that could be called tolerant or resistant, since they are able to survive the adverse conditions of the waste and also do not introduce the toxic metals to their biomass, which is why the present study can serve as the start of a phytostabilization strategy for contaminated areas and use plants such as *Sporobolus airoides* and *Cortaderia selloana* to develop a containment strategy, since they show bioavailability factors and translocation factors below of 0.2.

The results of this research project pointed out the importance of considering the physicochemical characteristics during the evaluation of the behavior of metals in the area, similarly the analysis of metals, showed that similar areas can not be treated simply as industrial waste and subsequent to reuse it as recreation areas, but attention must be paid because they are sites that can contaminate aquifers important for the flow of water in the population.

Derived from the mobility that metals present in the long term, a remediation strategy must be generated that is not so economically costly and that in the long term the metals remain static, avoiding their dispersion.

1. INTRODUCCIÓN.

La minería es una de las actividades industriales y económicas mas importantes a nivel global y una de las actividades humanas que contribuyen mayormente al deterioro ambiental (Machado-Estrada, et al, 2013). El impacto de los desechos de la minería sucede alrededor de todo el mundo, en dichos desechos se encuentra una variedad muy amplia de metales, metaloides y elementos potencialmente tóxicos tales como: As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn (Jana Urike, et al, 2012).

La utilización de actividades económicas de manera no sustentable, han contribuido a la emisión de compuestos potencialmente tóxicos, que bajo ciertas condiciones y concentraciones, pueden tener efectos nocivos a la salud de la población y afectaciones al equilibrio ecológico y el ambiente (Flores J. y Albert L., 2004).

En la minería las técnicas utilizadas para la extracción de los minerales y metales valiosos, aunado a las limitaciones normativas en México, han propiciado la contaminación de entornos, algunos de éstos se han constituido en pasivos ambientales, causado la incertidumbre de los particulares, en cuanto a las acciones que se deben llevar a cabo para remediar un sitio.

Zacatecas se ha definido como un estado minero por excelencia, actividad de la cual depende en gran parte su economía, provocando una atención mínima en la generación de desechos, razón por la cual se han acumulado en zonas urbanizadas grandes cantidades de metales pesados, que pueden estar biodisponibles por las grandes lagunas de jales que se encuentran cerca de poblaciones mineras, tales como la zona de estudio del presente trabajo (Flores y Albert , 2004).

El efecto de los metales que encuentran en el ambiente pueden ir desde el intervalo de beneficio (siendo algunos esenciales), hasta causante de problemas crónicos y otros tóxicos adversos, esto es dependiendo de su concentración, por lo que su cuantificación es de relevancia (Papanikolau *et. al.*, 2005).

De acuerdo a la naturaleza de las células vegetales, éstas deben de poseer un mecanismo de captación tanto de nutrientes como de sustancias que no actúan como nutrientes, tales como metales y metaloides, lo que conduce a algunas de

ellas a mostrar cierta capacidad de adaptación, la cual se puede usar como monitor biológico de lo que pudiera estar sucediendo con los residuos mineros a través del tiempo y con los cambios posibles que presenten en las características fisicoquímicas (Si Jing, 2013; Gupta D. K., et al, 2013).



OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la concentración de metales, las propiedades fisicoquímicas, la textura, las propiedades mineralógicas, el potencial de lixiviación de metales y el potencial de neutralización de jales provenientes de la mina el Bote, Zacatecas.

Identificar a nivel de especie las principales plantas que se han adaptado a las condiciones de los residuos de la mina “El Bote”, Zacatecas y estudiar las concentraciones de metales en las diferentes partes de la planta.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar Área de muestreo
- Realizar muestreo sistemático del área
- Llevar a cabo un inventario ecológico de plantas que habitan en los depósitos de jales provenientes de la mina “El Bote” Zacatecas.
- Caracterizar (pH, conductividad, potencial redox, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, humedad, textura, contenido de metales y metaloides, mineralogía) los jales provenientes de la mina “El Bote” de Zacatecas, Zacatecas.
- Determinar el potencial de lixiviación de los metales presentes en jales provenientes de la mina “El Bote” Zacatecas.
- Determinar el potencial de neutralización de los jales provenientes de la mina “El Bote” Zacatecas.
- Llevar a cabo el fraccionamiento de metales que se encuentren por encima de la normatividad vigente presentes en jales provenientes de la mina “El Bote” Zacatecas.
- Cuantificar metales en las diversas secciones de las plantas (raíz, tallo, hoja, flor y/o fruto) que habitan en los depósitos de jales provenientes de la mina “El Bote” Zacatecas.

- Determinar factor de biodisponibilidad y factor de traslocación raíz-diversas secciones de la planta.
- Encontrar plantas que tengan capacidad de hiperacumulación y plantas capaces de tolerar metales o metaloides.



JUSTIFICACIÓN

Derivado de siglos de actividad minera, se han encontrado sitios con jales que presentan altas concentraciones de metales y metaloides distribuidos en diversas zonas urbanizadas de la ciudad de Zacatecas.

Dado que dichos metales participan en procesos de bioacumulación, biomagnificación y presentan alto nivel de toxicidad, es conveniente determinar el riesgo potencial de la zona a través de la caracterización de los jales mineros y las plantas que habitan en ellos, utilizando a estas como un monitor biológico de los posibles cambios que han ocurrido a través del tiempo en los jales mineros.

HIPÓTESIS

Los residuos a través del tiempo han sufrido una serie de modificaciones que han generado factores que están permitiendo el crecimiento y adaptabilidad de algunas plantas que se pueden utilizar como monitor biológico y colaborar con procesos de remediación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Regiones y distritos mineros

El Estado de Zacatecas presenta manifestaciones de mineralización prácticamente en todo su territorio, aunque el grado de incidencia es mayor en algunas áreas (Figura 1) donde los eventos metalogénicos se manifestaron con mayor intensidad formando yacimientos minerales económicos, lo que propicio el desarrollo de distritos mineros que han producido grandes cantidades de metales, algunos de ellos desde tiempos prehispánicos y que aun continúan en operación (MGMEZ, 1991).

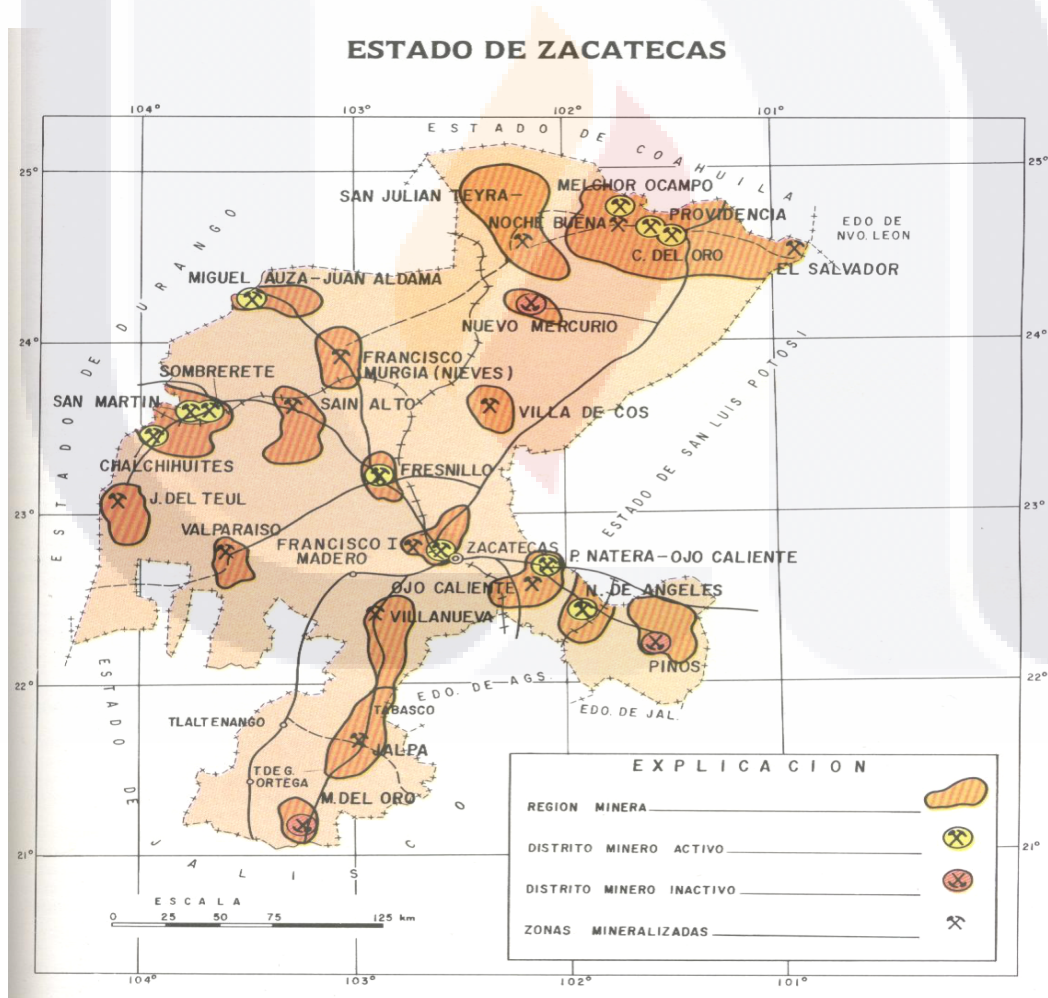


Figura 1. Regiones Mineras en el Estado de Zacatecas (MGMEZ, 1991)

2.2 Contaminación de suelos

La presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación.

Los contaminantes pueden ser geogénico o antropogénico, los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc., y de los residuos sólidos urbanos.

La explotación y extracción de metales produce anualmente millones de toneladas de residuos, la mayoría con pirita y otros sulfuros, cuya oxidación libera grandes cantidades de metales pesados y metaloides al ambiente, y en particular a los suelos. (Galán, Romero, 2008)

En general, los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes son de tres tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de oxidación-reducción o fotoquímicas) y biológicos (resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas o de procesos de bioabsorción) (Lasat Mitc, 2002).

2.3 Metales pesados y metaloides

Los metales pesados se clasifican en dos grupos:

Oligoelementos o micronutrientes. Necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos una vez pasado cierto umbral. Incluyen B, Al, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.

Sin función biológica conocida. Son altamente tóxicos, e incluyen As, Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Bi.

La dinámica de los metales pesados en el suelo puede clasificarse en 4 vías:

- Movilización a las aguas superficiales o subterráneas

- Transferencia a la atmosfera por volatilización
- Absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas.
- Retención de metales pesados en el suelo de distintas maneras: disueltos o fijados, retenidos por adsorción, complejación y precipitación.

La toxicidad de los metales pesados y metaloides depende, de la concentración, la forma química y la persistencia.

Los metales pesados muestran gran afinidad, como principales ligandos, por grupos sulfidrilo, radicales amino, fosfato, carboxilo e hidroxilo. (Navarro, et. al., 2007)

2.4 Elementos tóxicos para los sistemas biológicos.

La posición y clasificación de los elementos químicos en el clásico sistema periódico (tabla) de los elementos, no se encuentra ordenada y no muestra cuales de esos elementos son necesarios para el funcionamiento de los organismos, ni cuales pueden generar toxicidad crónica a organismos vivos. Esto es debido a que el factor que ordena el sistema periódico solo considera factores fisicoquímicos de los elementos. Sin embargo, se ha establecido actualmente un sistema biológico de los elementos (figura 2) que se estableció considerando aspectos de investigación fisiológica y bases bioquímicas (Sherameti Irena, Varma Ajit, 2010).

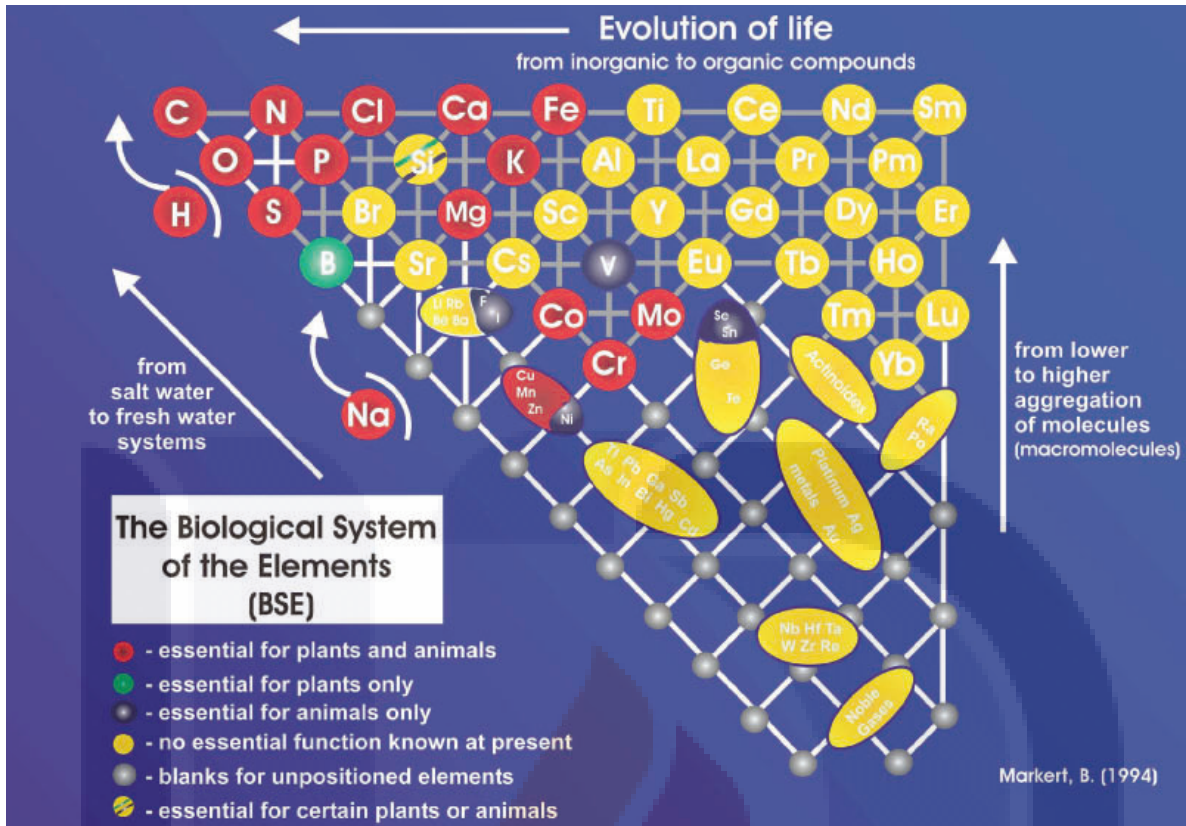


Figura 2. Sistema biológico de los elementos (Sherameti Irena, Varma Ajit, 2010)

2.4.1 Níquel

El níquel es un elemento que se encuentra en el ambiente sólo en muy pequeños niveles. Los humanos usan el níquel para muchas aplicaciones diferentes. La aplicación más común del níquel es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Este puede ser encontrado en productos metálicos comunes como es la joyería. Y en los alimentos que naturalmente contienen pequeñas cantidades de níquel (Fay M., et al. 2004).

Las propiedades del Níquel lo hacen muy deseable para combinarse con otros metales y formar mezclas llamadas aleaciones. Algunos de los metales con los cuales se combina el níquel son el hierro, cobre, cromo y zinc. El níquel también se combina con muchos otros elementos tales como el cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel. Muchos de los compuestos de níquel son solubles en agua y tienen un color verde característico. El níquel y sus compuestos no tienen ni olor ni sabor característico. [Fay M., et al. 2004].

Resiste la corrosión alcalina y no se inflama en trozos grandes, pero los alambres muy finos pueden incendiarse. El níquel puede existir en los estados de oxidación 0, 1+, 3+, 4+. Además de los compuestos simples o sales, el níquel forma una variedad de compuestos de coordinación o complejos. La mayor parte de los compuestos de níquel son verdes o azules a causa de la hidratación o de la unión de otros ligandos al metal. [Choppin G.R., Jaffe B. 1970].

El níquel aparece bajo cinco formas isotópicas diferentes, no es muy activo químicamente. Es soluble en ácido nítrico diluido y se convierte en pasivo (no reactivo) en ácido nítrico concentrado. No reacciona con álcalis. Aparece en forma de metal en el meteorito, también se encuentra en combinación con los elementos, en minerales como las garnierita, milerita, niquelita, pentlandita, y pirrotina. [Castro Jiménez C. et. al 2004]

La fuente principal del níquel es mineral de sulfuro y de óxidos los cuales contienen bajas concentraciones de níquel. El níquel metálico se produce mediante procesos preliminares sedimentarios y térmicos seguidos por electrolisis; esta secuencia produce el 99.95% de níquel puro. Aunque el níquel está también presente en cantidades significativas en los lechos marinos. [Kalpakjian S, et. al.2002].

2.4.2 Arsénico

El arsénico es un elemento natural que se comporta como un metaloide. Está presente en el entorno de forma natural y como consecuencia de ciertas actividades humanas. Se presenta de diferentes maneras, existe tanto bajo forma inorgánica como orgánica. Generalmente se considera que el arsénico inorgánico es más tóxico.

En el entorno natural, el arsénico está presente en cantidades bastante abundantes cerca de $5 \times 10^{-4}\%$ de la corteza terrestre y en cantidades más reducidas en la roca, el suelo, agua y el aire. Esta presente en numerosos minerales, cerca de un tercio del arsénico presente en la atmósfera proviene de fuentes naturales, por ejemplo de los volcanes, y el resto proviene de actividades humanas. Cuando hay contaminación geológica natural, se pueden encontrar altos niveles de arsénico en el agua bebida que proviene de pozos profundos

El arsénico se presenta en diferentes formas y parte del arsénico es transportado de un medio a otro en el entorno, lo que puede provocar un cambio en su forma. El viento o el agua pueden mover el arsénico presente en las rocas o suelos erosionados. Muchos compuestos orgánicos se fijan en el suelo y solo se mueven un poco cuando el agua se filtra a través de los suelos (Carbonell 1995).

Los niveles de arsénico en el entorno son variables. En las áreas rurales los niveles de arsénico en el aire son muy bajos a comparación de las zonas urbanas que son un poco más altos, aunque los niveles de arsénico mas altos en el aire los encontramos en zonas industriales. En el agua, los niveles de arsénico más bajos los encontramos en el agua de mar, un poco más alto o un nivel intermedio los encontramos en los ríos y lagos y niveles más altos los encontramos en las aguas subterráneas de las áreas con depósitos de roca volcánica o de minerales ricos en arsénico. Los niveles de arsénico en suelos y sedimentos aumenta cuando hay fuentes de contaminación, ya sean éstas naturales y/o de origen humano.

Las fuentes más importantes de exposición al arsénico de los seres humanos son los alimentos y el agua. Los alimentos son generalmente la fuente principal, excepto en las zonas en las que el agua para beber está contaminada por el arsénico de forma natural. Las cantidades de arsénico inhaladas por no fumadores son muy pequeñas, excepto en las zonas contaminadas por las industrias. Los fumadores inhalan más arsénico, ya que éste forma parte de los cientos de químicos presentes en el humo de tabaco. La exposición al arsénico en el lugar de trabajo puede ser bastante alta, pero en muchos países las cantidades presentes en el aire del lugar de trabajo son controladas (IPCS 2004).

Los trabajos con mayor exposición al arsénico son:

- Minas de metales
- Producción de pesticidas
- Fundición de cobre
- Manufacturas de pieles (Pérez de las Casas 2005).

2.4.3 Plomo

El plomo es un metal no esencial para los humanos y se define como tóxico para los mamíferos. Sus efectos adversos fueron descritos hace más de 2000 años, como una enfermedad conocida como plumbismo o saturnismo.

El plomo puede ingresar al organismo a través de diversas fuentes de contaminación tales como agua, comida, suelo, utensilios, viento y el uso de gasolina. La vía de contaminación es la ingestión oral y la absorción a través del tracto gastrointestinal y la absorción a través del tracto respiratorio, una vez en el organismo afecta al sistema hematopoyético, nervioso, reproductor y urinario (Papanidolau *et. al.*, 2005; Gutierrez *et. al.*, 2004).

El plomo tiene la capacidad de bioacumularse por lo que su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena alimentaria, encontrando el plomo y sus derivados en todas partes del medio ambiente: aire, plantas, animales, ríos, océanos, lagos, polvo y en el suelo (Benavides *et. al.*, 2006; Davis *et. al.*, 2003). En la década de 1930 a 1950 la medicina laboral se preocupaba por los niveles de metales como el plomo en personas que laboraban en minas, industrias metalúrgicas, refinerías, ahora en la actualidad no sólo esa es la preocupación, sino que la contaminación de metales como el plomo en el medio ambiente, fue incontrolada, hay que poner atención también en toda la demás población, por las altas concentraciones de plomo encontradas en sitios urbanizados (García *et. al.*, 2003; Ramírez, 2005).

Alrededor de 1960, la intoxicación por plomo en los países desarrollados pasó de un problema ocupacional a problema de salud pública, sobre todo en infantes, pues el infante puede intoxicarse por ingestión de residuos de pinturas que contengan plomo, por vivir en ciudades industriales contaminadas o en zonas aledañas a depósitos de relieves de plomo. Por ese motivo, los médicos eventualmente pueden encontrar cuadros clínicos de intoxicación por plomo en su práctica (Ramírez, 2005; Ginocchio y Baker, 2004).

2.5 Normatividad

La Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, establece valores límite de de algunos metales y metaloides en suelo. Estos valores se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de referencia en distintos tipo de suelo [NOM-147-SEMARNAT/SSA1, 2004].

Concentraciones de referencia totales por tipo de uso de suelo		
Contaminante	Uso agrícola/residencial /comercial (mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Bario	5400	67000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plata	390	5100
Plomo	400	800
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	78	1000
NOTA:		
<ul style="list-style-type: none"> a. En caso de que se presenten diversos usos de suelo en un sitio, debe considerarse el uso que predomine b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos del suelo, se usará el valor residencial 		

2.6 Características fisicoquímicas de los suelos

Las características físicas y químicas del suelo son importantes para el control de su capacidad adsorptiva y así pues afectarán la disponibilidad de metales y metaloides a las plantas.

La capacidad de adsorción de un suelo está afectada por su textura, contenido de sesquióxidos y por la presencia de otros elementos que puedan interferir en el proceso de adsorción. El pH del suelo influye en la actividad del aluminio en arcillas y en óxidos e hidróxidos, pero es la cantidad de dichos coloides mas que el efecto

del pH sobre ellos el factor que gobierna su capacidad adsortiva (Carbonell Barrachina, et al, 1995)

De acuerdo al tamaño de partícula que predomine en los suelos, existen varias clasificaciones provenientes de distintas convenciones, las mas usadas son: AASHO – *American Association of State Highway Officials*, USDA – *United States Department of Agriculture* y CSSC – *Canada Soil Survey Committee*, y teniendo un sistema unificado (Tabla 2) (SSSA Book Series, 2007).

Tabla 2. Comparación de limites de tamaño de partícula en cuatro sistemas de clasificación de tamaño de partícula (SSSA Book Series, 2007)

Tamaño mm	CSSC	USDA	UNIFIED	AASHO
0.0002	Arcilla fina	Arcilla	Fino (limo o arcilla)	Coloide
	Arcilla gruesa			Arcilla
0.002	Limo fino	Limo		Limo
0.006				
0.02				
0.06	Limo grueso			
	Arena muy fina	Arena muy fina		
0.1	Arena fina	Arena fina	Arena fina	Arena fina
0.2	Arena media	Arena media		
0.4	Arena gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena gruesa
1.0	Arena muy gruesa	Arena muy gruesa		
2.0	Grava	Grava fina	Arena gruesa	Grava fina
20			Grava fina	Grava media
		Grava gruesa	Grava gruesa	Grava gruesa
70				
80	Adoquines	Adoquines	Adoquines	Piedras

2.7 Remediación de suelos.

Actualmente se encuentran diversas técnicas de remediación , tales como procedimientos de fitoremediación, fisicoquímicos y microbiológicos, o inclusive únicamente la contención y aislamiento de la zona contaminada (Otones V., 2011).

2.7.1 Fitoremediación.

Existen diferentes técnicas de tratamiento de suelos contaminados con elementos tóxicos, tales como la fitoremediación que ha surgido con un potencial elevado referente al costo beneficio, siendo una alternativo a los clásicos métodos de ingeniería, que suelen ser caros y además invasivos para el medio ambiente.

La fitoremediación utiliza tecnologías fitoestabilizadoras, mas económicas, encontrándose especies de plantas hiperacumuladoras de arsénico (Otones V., 2011). En la tabla 3 se citan algunas estrategias de fitoremediación que pueden utilizarse para descontaminar suelo, aire y agua de trazas de algunos elementos.

Tabla 3. Lista de estrategias de fitoremediación (Yang Xiaoe, et al, 2005)

Técnicas de fitoremediación	Mecanismo de acción	Medio tratado
Fitoextracción	Acumulación directa de contaminantes dentro de callos de plantas que posteriormente migran a otros tejidos	Suelo
Rizofiltración (fitofiltración)	Absorbe y adsorbe contaminantes in raíces de plantas	Agua superficial y agua expuesta a raíces
Fitoestabilización	Exudados de raíz que causan precipitación de metales, disminuyendo la biodisponibilidad de la biomasa	Agua subterránea, suelos y residuos mineros

Fitovolatilización	Plantas que provocan la evaporación de ciertos iones metálicos y moléculas orgánicas volátiles	Suelo y aguas subterráneas
Fitodegradación	Degradación microbiológica en una región de la rizosfera	Agua subterránea sin la rizosfera y suelo
Fitotransformación	Plantas captadoras de contaminantes orgánicos y su degradación	Agua subterránea y superficial
Remoción de contaminantes aéreos	Captación de moléculas orgánicas volátiles por medio de hojas	Aire

2.7.2 Características de las plantas hiperacumuladoras

Se considera que América Latina y Europa son los mayores focos de biodiversidad de metalofitas.

Las metalofitas son especies de plantas que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelo con altos niveles de metales y, por ello, son endémicas de suelos con afloramientos naturales de minerales metálicos.

Si no actuamos a tiempo, con la pérdida de estas especies habremos perdido unas herramientas biológicas fundamentales para la revegetación y la recuperación de suelos contaminados por actividades industriales y mineras.

La concentración final en los tejidos aéreos depende del metal y de la especie. (Becerril, et.al., 2007)

Existen varias marcas básicas que distinguen a las plantas hiperacumuladoras de las no hiperacumuladoras:

- Un fuerte aumento de la razón de captación de metales
- Un posible incremento de las peptidasas en plantas no hiperacumuladoras que provocan muerte celular

- Un eficiente efecto de traslocación de la raíz hacia otros tejidos de las plantas
- Una gran habilidad de detoxificación y secuestro de los metales en las hojas o tejidos aéreos (Rascio, Navari Izzo, 2011; Palma J. M. et.al., 2002)

Para el caso particular de las plantas hiperacumuladoras de arsénico, uno de los mecanismos que se cree que colabora con la hiperacumulación y que la planta logre mantener altas concentraciones, es debido a que existe una rápida traslocación acompañada de una reducción de arsénico de arsenato (As V) a arsenito (As III) (Singh Nandita, 2006).

Muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo porque restringen su absorción y/o translocación hacia las hojas, lo que les permite mantener concentraciones constantes y relativamente bajas en la biomasa aérea independientemente de la concentración metálica del suelo en un intervalo amplio (estrategia de exclusión). Otras plantas absorben los metales activamente a partir del suelo y los acumulan en formas no tóxicas en su biomasa aérea (estrategia acumuladora). Una respuesta intermedia es la que presentan las plantas indicadoras, cuya concentración metálica refleja la del suelo. Entre las acumuladoras se han reconocido diferentes grados de acumulación metálica, desde pequeñas elevaciones sobre el nivel de fondo hasta concentraciones excepcionalmente elevadas de metales pesados en su biomasa aérea sin mostrar ningún síntoma visible de toxicidad.

Se le designa el nombre de hiperacumuladora de metales a la planta que acumula $>1000\text{mg kg}^{-1}$ (Figura 3) (Delgadillo, 2011).

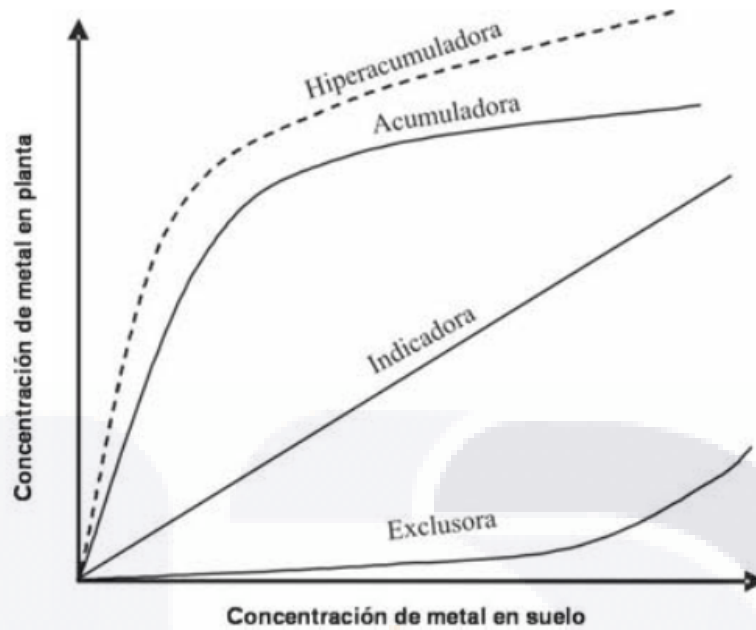


Figura 3. Respuestas típicas de las plantas frente a la presencia de metales pesados en el suelo (Adriano, 2001)

2.8 Factor de biodisponibilidad y factor de traslocación

Tanto el factor de biodisponibilidad como el factor de traslocación, reflejan la cantidad de analito en estudio que una planta es capaz de absorber y distribuir en sus diversas secciones a partir de la concentración del analito que se encuentra en la matriz donde se encuentra cultivada la planta (Otones, et al, 2011).

El factor de biodisponibilidad indica que tanto metal es capaz de absorber una planta, ya sea en conjunto o en cada sección de la misma.

El factor de traslocación señala la cantidad de metal que se distribuye desde la raíz de la planta hacia todas las demás secciones de la misma.

Las plantas que muestran un factor de traslocación >1 de la raíz hacia las hojas, se pueden utilizar para aplicaciones fitoremediadoras, retirando de forma periódica las partes aéreas (Machado-Estrada, et al, 2013; Jana Urike, et al, 2012).

2.9 Toxicidad y metabolismo celular de metales y metaloides en plantas

Las plantas absorben un elevado número de elementos provenientes del suelo, algunos de los cuales se desconoce su función biológica y de otros se sabe que son tóxicos incluso a bajas concentraciones (Peralta-Videa J. R., 2009).

Considerando que todos estos elementos pueden llegar a incorporarse a la cadena trófica. Dentro de la planta pueden ocurrir mecanismo de captación y biotransformación que juegan un papel importante en la bioacumulación, generando un impacto especialmente en los humanos (Peralta-Videa J. R., 2009)

Toxicidad de los metales y metaloides puede ser debida a el estrés oxidativo que se genera por la exposición a estos, aunque el mecanismo molecular exacto no esta completamente claro, el término estrés oxidativo involucra a una situación en la que las células expuestas a niveles excesivos de moléculas de oxígeno o sus formas reducidas tal como superóxido, peróxido de hidrógeno y radicales hidroxilo, la sobreproducción de estas especies reactivas de oxígeno (ROS) es comúnmente originada por metales pesados en animales y tejidos de las plantas, involucrando todo un mecanismo de producción y regulación de la acumulación de ROS por defensas anti-oxidantes pudiendo diferir dependiendo del metal y las especies. La sobreproducción de ROS es alarmante por que puede afectar proteínas, lípidos y DNA, generando peroxidación de lípidos, destrucción de membrana, inactivación enzimática, desnaturalización o mutación de DNA, comprometiendo la viabilidad celular. Las defensas antioxidantes consisten de enzimas tales como super oxido dismutasa (SOD), que remueve radicales superoxido (O_2^{-1}), catalasa (CAT), peroxidasas (POX) y peroxidoreductasas que descomponen el peróxido de hidrógeno H_2O_2 , así como antioxidantes no enzimáticos tal como glutatión (GSH) y ácido ascórbico (ASC) que participan en la remoción del H_2O_2 . Además otras enzimas como glutatión reductasa (GR) controla el estado redox de GSH necesario para los efectos antioxidantes. ROS se producen básicamente en compartimentos celulares asociados con la cadena transportadora de electrones en cloroplastos, mitocondria y peroxisomas. Su producción también se encuentra asociada con la

actividad de glicolato oxidasa (GOX) de la fotorespiración, xantina oxidasa y acil CoA oxidasa.

Superoxido dismutasa (SOD) cataliza la desprotonación del superóxido O_2^- a O_2 y H_2O_2 , siendo una de las mejores líneas de defensa celular al estrés del medio ambiente (Gupta D. K., et al, 2013).

La quelación de metales pesados también es una estrategia metabólica de detoxificación en una gran variedad de plantas (Yadav S. K., 2010)



3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Área de muestreo.

La zona a muestrear son los residuos de la mina “El Bote” Zacatecas, ubicada actualmente en una zona urbanizada, geográficamente le corresponden las coordenadas $22^{\circ}46'35''N$ y $102^{\circ}26'21''W$, con un área aproximada de $150,400\text{ m}^2$ (figura 4), se dividirá en dos zonas, una correspondiente a los jales antiguos y otra correspondiente a jales mas recientes

En el Estado de Zacatecas, en particular en la zona de estudio el clima predominante es de tipo seco, se caracteriza por una temperatura mayor de $18^{\circ}C$. En este sitio las precipitaciones pluviales, son del orden de 400mm por año, se presentan con más intensidad en verano, y son escasas durante el resto del año (Monografía geológico-minera de Zacatecas, 1991).



Figura 4. Fotografía satelital de las zonas de muestreo, marcada de color negro

Esta zona se seleccionó, debido a las características que en conjunto se que provocan un estado de estrés a la vegetación endémica, tales como: concentración de metales pesados y metaloides, características fisicoquímicas (pH, textura,

potencial redox, materia orgánica, potencial de lixiviación) condiciones climatológicas.

3.2 Procedimiento de muestreo.

El método seleccionado para el muestreo será sistemático, ya que se basa en un patrón geométrico específico donde las muestras son tomadas a intervalos regulares a lo largo de ese patrón. Útil para cubrir en forma fácil y uniforme un sitio, de forma que toda la población de muestras esta representada en la muestra.

Las muestras se registraran en campo indicando: localización, número de muestra, intervalo de profundidad y fecha de muestreo.

La caracterización del sitio ha permitido identificar las actividades antropogénicas o naturales en la zona así como las características de la zona.

Para la obtención de las muestras del suelo, el muestreo se debe realizar con una cuchara o espátula de acero inoxidable o plástico.

Se debe evitar que el equipo de muestreo provoque contaminación entre las diferentes muestras, para lo cual se deberá limpiar con una brocha o cepillo.

Las muestras de suelo recolectadas se colocaran en bolsas de polietileno, identificadas perfectamente y selladas herméticamente, para su posterior análisis.

Las muestras de plantas se obtendrán de forma que permita extraer desde la raíz, colocándose en bolsas de polietileno, identificadas perfectamente para su análisis posterior.

Ambas muestras, tanto de suelo como de planta, deben tomarse en conjunto, del mismo sitios, de tal forma que se puedan obtener resultados directos del suelo donde la planta se desarrolló.

3.3 Manejo de muestras

La muestra debe ser envasada y cerrada herméticamente, lo mas pronto posible debe ser llevada al laboratorio en donde será preparada conforme a la naturaleza de los contaminantes y sometida a los procesos de análisis correspondientes.

Durante el traslado es necesario evitar el efecto de factores externos que pueden cambiar la naturaleza de la muestra (por ejemplo, la temperatura y los rayos ultravioleta).

Se deberán tomar en cuenta los siguientes factores:

- Características del sitio: condiciones climáticas, presencia de vegetación, uso actual del suelo, edificaciones e infraestructura, actividades ajenas al proceso propio de contaminación que pudieran influir en la calidad del muestreo y presencia de residuos o materiales de relleno.
- Características del suelo: textura, color, presencia de humedad, tamaño de partícula, presencia de hojarasca y presencia de otros materiales eliminados durante el muestreo

3.3.1 Secado

El secado se realiza con el propósito de que todas las muestras se encuentren bajo las mismas condiciones, en cuanto a contenido de moléculas de agua, facilitar el manejo de la muestra, mejorar la homogeneización y disminuir los cambios químicos indeseables. Las muestras de suelo se secan de preferencia al ambiente. Cuando por condiciones ambientales se requiera se pueden secar en un horno a una temperatura no mayor de 35°C, mientras que las muestras de plantas posterior al lavado y enjuagado sin uso de detergentes, se procede a secarlas en estufas de temperatura controlada, no excediendo los 80°C, el tiempo estimado de secado es desde 48 hrs hasta 9 días, esto dependerá de la especie de vegetación colectada.

Una vez secas las muestras de suelo deben ser cribadas en una malla de 9.51 mm. Y las de plantas deberán ser seccionadas, en sus diferentes porciones presentes al momento del muestreo: raíz, tallo, hoja, flor, fruto.

Se debe evitar el uso de material metálico en mal estado o deteriorado, así como el que contiene pintura como protección, dado que pueden ser fuente de contaminación con zinc, cadmio o plomo. En el proceso del tamizado de suelos, el material que se usa son charolas de unicel, el suelo se hace pasar por tamices de acero inoxidable de diferentes tamaños de malla. Una vez tamizado el material se

separa 1.5kg de suelo como muestra final, cantidad suficiente para realizar las determinaciones químicas y físicas que permitirán caracterizar el suelo.

En las muestras de plantas, una vez seccionadas, se procede a secar perfectamente las muestras en una estufa a temperatura de 80°C, esto puede durar hasta 9 días dependiendo el tipo de planta, posteriormente se procede a moler perfectamente la muestra, para homogenizar el tejido (NMX-AA-132-SCFI-2006).

3.4 Análisis de suelos

Se realizara la medición de pH, conductividad eléctrica, potencial redox, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, humedad, textura, contenido de metales y mineralogía de las muestras de suelo obtenidas, con el objetivo de realizar la caracterización del suelo de la zona de estudio.

Para que las muestras sean homogéneas se logra utilizando bolsas de polietileno haciendo girar la muestra en todas direcciones. Se extraen las submuestras necesarias que vayan a ser utilizadas para cada una de las determinaciones analíticas. Para realizar el pesado de la muestra debe realizarse con espátulas y con la ayuda de pinceles de pelo de camello para limpiar completamente la espátula. La submuestra extraída debe ser pesada con balanza analítica que genere una precisión elevada (NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004)

3.4.1 Medición del pH

El pH es uno de los mas comunes e importantes mediciones en análisis de suelos. Muchas reacciones químicas y biológicas son controladas por el pH de los suelos en solución en equilibrio con la superficie de las partículas de los suelos (Xinde Cao, 2001).

Para la medición del pH el instrumento debe ser calibrado con un mínimo de dos puntos, la calibración inicial del potenciómetro debe de realizarse con las soluciones amortiguadoras de pH 4 y pH 7. Dependiendo del valor de la muestra, se deberá realizar una segunda calibración que oscile dentro del pH de la muestra con una diferencia aproximada de tres unidades de pH entre ellos. La calibración y la medición de pH deben realizarse a 25°C±1.0°C.

La preparación de extractos para la medición de pH, se realiza mediante la colocación de 5 gr de suelo aforando a 50 mL de agua destilada en tubos cónicos que permiten tanto la agitación como la centrifugación, los cuales se agitan 24 hrs y posteriormente se dejan reposar por otras 24 hrs., con el objetivo de que todos los analitos libres se disuelvan en el agua y se pueda medir el pH de los extractos lo más estable posible. El electrodo se debe sumergir en la parte clara del sobrenadante, tomando la lectura de potenciómetro, esperando que ésta sea la más constante (SSSA Book Series 2007; CSSS, 1993; NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004).

3.4.2 Conductividad eléctrica

Este análisis cuantitativo de sales solubles en suelos muestra procesos muy importantes en el estudio de los suelos, la dinámica de las sales y evaluación de la salinidad (Guang-Ming, et al, 2006).

La concentración total de solutos en suelos es normalmente estimada calculando la conductividad eléctrica. Aunque la relación entre la conductividad y la concentración de sales varía algunas veces dependiendo de la composición iónica de la solución. El procedimiento es utilizando un conductímetro que detecta automáticamente la conductividad además de realizar el ajuste automático interno por compensación de temperatura.

Para obtener las conductividades, se deben preparar extractos de forma igual que para la medición de pH, tal que permitan introducir el conductímetro, para ello se preparan muestras en relación 1:1 o 1:2 suelo:agua destilada/desionizada, agitar por 1 hora, posteriormente filtrar la suspensión usando papel filtro con alta capacidad de retención, asegurándose que el filtrado se encuentre aproximadamente a 4°C antes del análisis.

Para el análisis se debe preparar una solución reciente de KCl 0.01 M. Ésta solución debe tener una conductividad eléctrica de 1.413 dSm^{-1} a una temperatura de 25°C. El conductímetro se debe calibrar usando el estándar de KCl, se debe medir por triplicado a una temperatura de 25°C, para posteriormente ajustar la compensación por temperatura a una razón de 0.0191 C^{-1} . Posteriormente se leen los extractos,

reportando los resultados utilizando el sistema internacional de unidades en dS m^{-1} (SSSA Book Series 2007; CSSS, 1993).

3.4.3 Potencial redox

Cuantificar potencial redox en suelos se realiza para conocer la intensidad de reducción u oxidación y la relación de esto con procesos biológicos que suceden dentro de los suelos (Xinde Cao, 2001). Conforme el O_2 , disuelto en el suelo desaparece, el potencial redox decrece. Las reacciones químicas en los suelos envuelven una combinación de transferencia de electrones y protones, conocidas como reacciones de oxidación. Existen cuatro factores importantes de tomar en cuenta para la medición del potencial redox en suelos: primero el rango de potencial redox en suelos sin altos contenidos de materia orgánica puede ir desde 300 mV, mientras que en suelos con abundante materia orgánica puede llegar aproximadamente hasta 1000 mV. El segundo factor es el alto contenido de componentes reducidos que contribuyen a que la reproducibilidad no sea muy precisa. El tercer factor de tomarse en cuenta es que el O_2 es fácilmente reducido y usualmente ausente en suelos muy saturados. El cuarto factor es que existen algunos elementos y microorganismos que pueden interferir en la verdadera intensidad de reducción.

El potencial redox se debe cuantificar en solución acuosa preferentemente, para lo cual se preparan extractos de igual forma que para la cuantificación de pH y conductividad eléctrica, posteriormente se procede a introducir el electrodo en el sobrenadante para obtener el valor de potencial redox (SSSA Book Series 2007; CSSS, 1993).

3.4.4 Contenido de materia orgánica

El total de Carbono presente en suelos proviene de la suma del Carbono orgánico e inorgánico, presentes en la materia orgánica de los suelos, el carbono inorgánico comúnmente se encuentra en forma de carbonatos asociados a minerales. No todos los suelos contienen carbono inorgánico, sin embargo en todos los suelos de origen

agrícola, se encuentra presente el carbono orgánico. El carbono orgánico puede ser determinado directamente del carbono total, después de la remoción del carbono inorgánico por técnicas de oxidación con dicromato.

Para cuantificar el carbono orgánico es necesario pesar 0.5 g de suelo seco, previamente pasado por un tamiz de 0.5 mm y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 500 mL, de igual forma procesar un testigo sin suelo. Adicionar 10 mL de dicromato de potasio 1 N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo, posteriormente adicionar rápidamente 20 mL de H₂SO₄ concentrado directamente a la suspensión, girar nuevamente el matraz y agitar de esa forma durante un minuto. Dejar reposar la suspensión durante 30 minutos sobre una lámina de asbesto o sobre una mesa de madera, añadir 200 mL de agua destilada, 5 mL de H₃PO₄ concentrado y de 5 a 10 gotas del indicador difenilamina. A continuación titular la disolución con sulfato ferroso gota a gota hasta un punto final verde claro.

Con los volúmenes gastados obtenidos tanto de la muestra como el testigo se realizan los cálculos correspondientes para obtener la cantidad de carbono orgánico en las muestras de suelo, empleando la ecuación 1:

Ec. 1

$$\%C \text{ orgánico} = \frac{B - T}{g} N \quad (0.39)$$

Donde:

B significa el volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el testigo en mL.

T nos dice el volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra en mL.

N es la normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras)

g indica los gramos de la muestra que se utilizaron para realizar la prueba.

El factor 0.39 deriva de relacionar el peso equivalente del carbono con un factor de corrección donde se supone que el método sólo oxida el 77% del carbono presente, todo lo anterior expresado en porcentaje (Ec. 2)

Ec. 2

$$\frac{12}{4000} \times \frac{1}{0.77} \times 100 = 0.39$$

Una vez obtenido el porcentaje de carbono orgánico, se calcula la cantidad de materia orgánica a partir de la ecuación 3.

Ec. 3

$$\% M. O. = \% C \text{ orgánico} \times 1.724$$

Donde:

1.724 corresponde al factor de Van Benmelen, el cual resulta de la suposición de que la materia orgánica contiene 58% de carbono orgánico por lo tanto: $\frac{1}{0.58} = 1.724$ (SSSA Book Series 2007; CSSS, 1993).

3.4.5 Cuantificación de metales contenidos en las muestras de suelos

Para la caracterización de los suelos se cuantificará cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), zinc (Zn), plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), aluminio (Al) y mercurio (Hg).

El método que de acuerdo a la normatividad vigente tiene la mayor precisión y exactitud y con el cual los resultados con un adecuado funcionamiento es Absorción atómica, que de acuerdo al metal que se quiera cuantificar, se usará la variante de la técnica más adecuada, ya sea aspiración directa (flama), horno de grafito, generación de hidruros y vapor frío, en la tabla 4, se muestran los límites de detección para algunos metales y metaloides que se cuantificarán.

Tabla 4. Límites de detección estimados para Absorción atómica (NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004).

Metal	Límite de detección (mg/L)		
	Aspiración directa	Horno de grafito	Generación de hidruros y vapor frío
Arsénico	-----	-----	0.002
Mercurio	-----	-----	0.0002
Plomo	0.1	0.001	-----

3.4.8.1 Procesos de extracción y digestión de muestras de suelo.

Para el proceso de extracción ácido por microondas se requiere un estricto control de la temperatura del microondas ya que el recipiente cerrado provee el principal control de retroalimentación del mecanismo de optimización del método. El control del método requiere de un sensor de temperatura en uno o mas recipientes durante la descomposición completa. El sistema de digestión debe medir la temperatura dentro de un intervalo de $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ y permitir el ajuste de la potencia de salida de las microondas dentro de 2 segundos.

Todos los recipientes para digestión y volumétricos deben de ser lavados cuidadosamente con acido y enjuagados con agua. Cuando se haga un cambio repentino entre muestras de alta concentración a muestras de baja concentración, todos los recipientes deben limpiarse con acido clorhídrico (1:1) (a mas de 80°C y un poco menos que la ebullición) por un mínimo de dos horas seguido por acido nítrico caliente (1:1) (a mas de 80°C y menor a la ebullición) por un mínimo de dos horas, se enjuagan con agua y secan en un ambiente limpio. Este procedimiento de limpieza se debe de aplicar antes de usar los recipientes de digestión cuando se desconoce el uso previo de los mismos o cuando se sospeche de una contaminación cruzada. El material volumétrico para digestión y los recipientes de almacenaje se deben lavar con ácidos mas diluidos (aproximadamente 10% V/V) apropiados para los plásticos usados y después se enjuagan con agua y secan en un ambiente limpio.

Pesar una muestra perfectamente homogenizada con resolución de 0.001g dentro de un recipiente apropiado para la digestión que contenga válvula, tapa y el ensamble.

A 0.500 gr de muestra solida, en este caso suelo agregar 10 ± 0.1 ml de ácido nítrico concentrado, o 9 ± 0.1 ml de ácido nítrico y 3 ± 0.1 ml de ácido clorhídrico concentrados, dentro de una campana de extracción. Para el caso de las plantas la cantidad de muestra será de 0.100 gr.

El HCl debe adicionarse en forma concentrada y no en combinación premezclada, ya que puede generar la evolución de gas cloro, u otros gases, resultantes de la solución ácida premezclada. Estos gases pueden reaccionar violentamente bajo calentamiento.

Durante la digestión generalmente se producen óxidos tóxicos de nitrógeno y vapores de cloro. De manera que en todas las etapas en las que los recipientes deben abrirse, se deben de realizar dentro de un sistema apropiado. Los analistas deben usar guantes y mascarar de protección para seguridad personal.

Se debe estar atento a la ocurrencia de una reacción violenta, especialmente en muestras que contengan gases volátiles o especies orgánicas fácilmente oxidables. Cuando se digiera una matriz de este tipo, inicialmente no use más de 0.100 g de muestra. Si ocurre una reacción violenta tras la adición del reactivo, deje que la muestra se pre-digiera sin cubrir el recipiente hasta que cese. Por consideraciones de seguridad se puede agregar calor una vez que la reacción haya cesado, la muestra puede continuar con su procedimiento. Sin embargo, si no ocurre alguna reacción apreciable, se prefiere usar 0.500g de muestra.

Esta técnica es un método optimizado, diseñado para proporcionar lixiviados de muestras consistentes a través de condiciones específicas de reacción. El tiempo de irradiación (digestión) para cada grupo de muestras es de 10 minutos. La temperatura de cada muestra se puede elevar hasta $175 \pm 5^\circ\text{C}$ en aproximadamente 5.5 ± 0.25 minutos y mantenerse a $175 \pm 5^\circ\text{C}$ por 4.5 minutos cuando se utilice el sistema de retroalimentación, el numero de muestras que pueden ser simultáneamente digeridas puede variar, de acuerdo con el perfil de calentamiento

(el numero depende de la potencia de la unidad, el numero de recipientes y las perdidas de calor de los recipientes).

La presión llegara a su punto máximo entre 5 y 10 minutos para muchas muestras. Si la presión excede el límite de presión de los recipientes, la presión debe reducirse en forma segura utilizando los mecanismos de alivio de los recipientes.

Al final del programa de microondas, los recipientes deben enfriarse por un mínimo de 5 minutos antes de sacarlos de la unidad de microondas. Cuando el recipiente se ha enfriado a temperatura ambiente, verifique que los sellos no estén rotos, pese y registre el peso de cada uno de los recipientes si la perdida en peso de la muestra (antes y después de la digestión) excede 1% del peso de la muestra mas los ácidos, descarte la muestra. Determinar la razón de la perdida de muestra. Estas se atribuyen típicamente a la perdida de la integridad del sello de las muestras, un tiempo mayor a 10 minutos, una muestra muy grande, o condiciones impropias de calentamiento. Una vez que el origen de la perdida se corrige, prepare una muestra nueva o coloque las muestras nuevamente para que la digestión se inicie.

Completar la digestión de la muestra destapando cuidadosamente y venteando cada recipiente dentro de una campana de extracción. Transferir la muestra a una botella lavada con acido. Si la muestra digerida contiene partículas que puedan obstruir el nebulizador o interferir con la inyección de la muestra dentro del instrumento, se debe centrifugar de 2,000 a 3,000 rpm durante 10 minutos, sedimentar hasta que los sobrenadantes sedimentos y la solución se observe totalmente clara o filtrar, teniendo precaución del que el equipo de filtrado debe estar previamente lavado y enjuagado con ácido nítrico (aproximadamente 10% v/v y agua.

Transferir o decantar la muestra a un recipiente volumétrico de vidrio, diluir la muestra digerida a un volumen conocido. El extracto ahora esta listo para el análisis de metales (Otones, 2011; NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004).

3.4.6 Potencial de lixiviación

Se coloca una muestra de jal en agitación con agua meteórica (desmineralizada a pH 5 – 5.5) en una proporción 1:2 durante 4 h. A continuación se traslada la mezcla a una minicelda de alteración, se deja en inundación durante 3 h y finalmente se obtienen los lixiviados por filtración al vacío. Para determinar la influencia del pH sobre la liberación del metal, se lleva a cabo el mismo procedimiento, realizándolo con tres diferentes soluciones extractantes de agua desmineralizada a pH 4.7 y 9. Una vez obtenidos los lixiviados se cuantifican los metales y metaloides por absorción atómico, como se indica en la sección descrita para ello anteriormente (Ramos-Gómez, et al., 2012).

3.4.7 Extracción secuencial

El fraccionamiento de metales se realiza de acuerdo con la modificación del método de extracción secuencial de Tessier *et al* (1979), para obtener cinco fracciones:

1. Intercambiable. Sedimento extraído a temperatura ambiente por 1 hora con 8 mL de una solución de cloruro de magnesio (1M a pH 7.0), en continua agitación.
2. Unida a carbonatos. A partir del residuo anterior se trabaja a temperatura ambiente con 8 mL de acetato de sodio (1 M a pH 5.0), en continua agitación, el tiempo necesario para completar la extracción.
3. Unida a óxidos de manganeso y fierro. Con el residuo del paso anterior se extrae esta fracción agregando 20 mL de Na₂S₂O₄ + 0.175M de Citrato de sodio + 0.025 M de ácido cítrico como de describió Anderson y Jenne, a temperatura de 96 +/- 3 °C con agitación ocasional.
4. Unida a materia orgánica. Adoptado del método descrito por Gupta y Chen, a partir del residuo anterior se le adicionan 3 mL de 0.02 M de ácido nítrico y 5 mL de peróxido de hidrógeno al 30% a pH 2 ajustándolo con ácido nítrico, la mezcla se lleva a 85 +/- 2 °C por 2 horas con agitación ocasional. Se le agrega un segundo volumen de peróxido de hidrógeno al 30% (3 mL) con agitación ocasional ya que estuviese a la temperatura de 85°C. Posterior a enfriarlo se le agrega 5 mL de acetato de amonio 3.2 M en un volumen al

20% de ácido nítrico, agitado continuamente por 30 minutos. La adición del acetato de amonio se realiza para prevenir la absorción de metales extraídos en los sedimentos oxidados.

5. Residual. El residuo de la anterior fracción se digiere utilizando una combinación de ácido fluorhídrico y ácido perclórico (Tessier y col., 1979)

3.5 Cuantificación de metales en muestras de plantas

Para la caracterización de los suelos se cuantificará cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), zinc (Zn), plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), aluminio (Al) y mercurio (Hg).

El método que de acuerdo a la normatividad vigente tiene la mayor precisión y exactitud y con el cual lo resultados con un adecuado funcionamiento es Absorción atómica, que de acuerdo al metal que se quiera cuantificar, se usará la variante de la técnica mas adecuada, ya sea aspiración directa (flama), horno de grafito, generación de hidruros y vapor frío (NOM-147-SEMARNAT-SSA-1, 2004)

3.5.1 Digestión de muestras provenientes de plantas

El procedimiento para la digestión de las plantas es relativamente sencillo, ya que la materia orgánica es mucho mas fácil de digerir que la materia inorgánica. Se digieren usando microondas, utilizando triplicado de muestras, 0.1 g de muestra por cada 2 mL de HNO₃ (65%), llevarlo a 220°C 2 hrs, posteriormente agregar 1 mL de H₂O₂ (30%) y llevarlo nuevamente a 220°C por 2 hrs. (Jana et al, 2012; Otones, 2011)

3.5.2 Absorción atómica por el método de generador de hidruros para cuantificación de arsénico.

La técnica adecuada para la cuantificación de arsénico por absorción atómica es por medio de generador de hidruros. Se debe tener como consideración que el arsénico elemental y algunos de sus compuestos orgánicos son volátiles y es probable que se pueda perder una porción de arsénico durante su preparación, por

lo que es importante estandarizar perfectamente la metodología hasta llegar a la cuantificación.

3.5.2.1 Preparación de la muestra

Para una alícuota de 50 ml de muestra digerida, se adicionan 10ml de HNO₃ concentrado, 12 ml de 18N H₂SO₄. Se evapora la muestra en la placa calefactora hasta la aparición de humos blanco de SO₃ (volumen de 20 ml aprox). No dejarlo secar. Si se seca, detener la digestión, enfriar y agregar HNO₃ adicional. Se mantiene un exceso de HNO₃ (evidencia de humos cafés) y no permitir que la solución se oscurezca porque el arsénico se puede reducir y perder. La digestión de la muestra estará terminada cuando la muestra permanezca incolora o amarillo paja durante la evolución de los humos de SO₃. Toda la operación debe realizarse bajo una campana de extracción.

Enfriar la muestra, se agregan 25 ml de agua, y de nuevo evapora a humos nitrosos para eliminar todos los óxidos de nitrógeno que queden en la solución. Se enfría y se agregan 40ml de HCl, para posteriormente aforar a 100ml con agua.

Se preparan los estándares de trabajo a partir de la solución estándar de arsénico (1ml=1µg As). La curva de calibración debe encontrarse dentro del intervalo lineal.

- Solución estándar de arsénico: se toma una alícuota de 10ml de la solución intermedia de arsénico dentro de un matraz volumétrico de 100ml y aforar con agua que contenga 1.5ml de HNO₃ concentrado por litro (1ml=1µg As).
- Preparar 5 estándares de trabajo transfiriendo 0,0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 de la solución estándar anterior en un matraz volumétrico de 100ml y aforar. La concentración de estos estándares de trabajo serán: 0,5, 10, 15, 20 y 25 µg As/L.

Para el análisis

- Seleccionar una longitud de onda de 193.7nm
- Transferir una porción de 25ml de la muestra digerida o estándar al vaso de reacción. Adicionar 1ml de la solución de KI y 0.5ml de solución de SnCl₂. Dejar un mínimo de 10min. Para que el metal pueda ser reducido a su estado mas bajo de oxidación.

- Realizar el análisis y registrar la lectura de absorbancia o concentración del analito, según corresponda.

En el análisis de arsénico se puede utilizar instrumentos con generador de hidruros de flujo continuo y utilizar como reductor NaBH_4 en el proceso de formación del hidruro correspondiente siguiendo las especificaciones de análisis reportadas por el fabricante (NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004).

3.7 Obtención del factor de biodisponibilidad

A partir de los resultados de las cuantificaciones de metales tanto en plantas como en suelo, la obtención del factor de biodisponibilidad se calcula utilizando la ecuación 5

Ecuación 5.

$$BF = \frac{[metal]_{sección\ de\ la\ planta}}{[metal]_{suelo}}$$

Donde

BF indica el factor de biodisponibilidad

$[metal]_{sección\ de\ la\ planta}$ señala la concentración del metal ya sea en hojas, tallo, flor, fruto o raíz, por lo que se podrán reportar BF para cada sección.

$[metal]_{suelo}$ indica la concentración del metal cuantificada en el suelo donde la planta estaba cultivada (Otones, et al, 2011).

3.8 Obtención del factor de traslocación

De igual forma que con el factor de biodisponibilidad, para el cálculo del factor de traslocación, se aplica la ecuación 6, para lo que es necesario los resultados de concentraciones de metales en todas las secciones de la planta, para así obtener el factor de traslocación entre la raíz y las otras secciones obtenidas

Ecuación 6

$$TF = \frac{[metal]_{sección\ de\ la\ planta}}{[metal]_{raíz}}$$

Donde:

TF es el factor de traslocación

[metal]_{sección de la planta} señala la concentración del metal en alguna sección de la planta con excepción de la raíz.

[metal]_{raíz} indica la concentración del metal presente en la raíz de la planta (Otones, et al, 2011)



4. RESULTADOS

4.1 Muestreo de Suelos

La zona de estudio se encuentra localizada en la ciudad de Zacatecas, Zacatecas, en el sitio que aloja los residuos de lo que fue la Mina “El Bote”, por la naturaleza del sitio, se dividió en 2 zonas de estudio: zona de jales antiguos (figura 5) y zona de jales recientes (figura 6), además se tomaron muestras control de los alrededores de la mina, de donde se estima que no ha llegado la contaminación de los jales depositados en el sitio (figura 7).

La cantidad de muestras obtenidas se muestra en la tabla 5, donde se puede observar que el número de suelos, plantas y rizosferas obtenidas en las dos diferentes zonas (jales antiguos y recientes) es similar en ambas, debido a que como lo marca la normatividad vigente el número de muestras depende del área de muestreo y en este caso el área es prácticamente la misma de alrededor de 150,400 m², mientras que para las plantas el número de muestras varía debido a la diferente población en ambas zonas. Para cada una de las muestras se obtuvieron sus respectivas coordenadas, tal como lo establece la normatividad vigente (anexo 1).

Tabla 5. Relación de muestras tomadas de la mina “El Bote” Zacatecas

Muestra	Jales Antiguos	Jales Recientes	Controles
Suelo	50	42	25
Planta	95	10	11
Rizosfera	95	10	11
Total	240	62	47



Figura 5. Fotografía satelital de la zona de jales antiguos de la mina “El Bote” Zacatecas (www.googleearth.com)



Figura 6. Fotografía satelital de la zona de jales recientes de la mina “El Bote” Zacatecas (www.googleearth.com)



Figura 7. Fotografía satelital de los sitios control (www.googleearth.com)



4.2 Muestreo de plantas



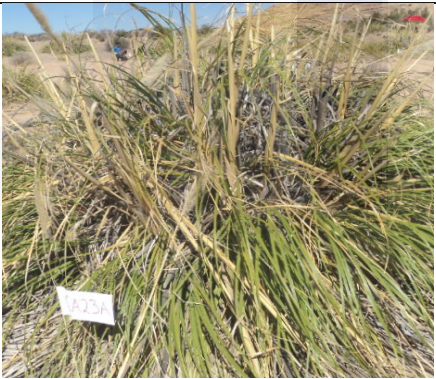
Las muestras de plantas se tomaron por duplicado, una para la identificación taxonómica, la cual se transporta en el interior de una hoja de periódico para que la humedad sea absorbida y así poder realizar el inventario ecológico, la otra para la cuantificación de metales en las diferentes secciones de la planta posibles (raíz, tallo, hojas, flor), para lo cual las diferentes secciones de la planta se tienen que secar a 60°C por el tiempo necesario que oscila entre 10 y 22 días, para posteriormente molerlas en una licuadora invertida que permita tener una muestra homogénea, que pierda dureza y con un tamaño de partícula menor a 1 mm.

Debido a que no todas las plantas se seccionan en todos sus componentes, derivado de su morfología y tiempo de muestreo, en las muestras que se encuentran secas hasta el día de hoy, se obtuvieron 115 raíces, 105 tallos, 115 hojas, 15 flor, mostrándose la tabla completa en el anexo 2.

4.3 Identificación taxonómica de las plantas obtenidas

De las 116 plantas obtenidas en el muestreo, se llevaron al herbario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, donde se colocaron en un secador, para evitar la presencia de hongos y así realizar la primera etapa de la identificación taxonómica, que consiste en la identificación general por un experto para posteriormente, una vez almacenadas las muestras a 4°C, realizar la comparación con los ejemplares que se encuentran en el herbario y tener una identificación certera. Las plantas que predominan en cantidad se muestran en la tabla 6, y las fotografías de todas las plantas recolectadas se muestran en el anexo 3.

Tabla 6. Plantas predominantes en la mina “El Bote” Zacatecas

Zona	ID Taxonómica	Nombre común	Fotografía
Jales Antiguos	Sporobolus airoide <u>Familia:</u> Poaceae <u>Género:</u> Sporobolus	Alkali sacaton	
	Dalea bicolor <u>Familia:</u> Fabaceae <u>Género:</u> Dalea	Dalea	
	Cortaderia seloana <u>Familia:</u> Poaceae <u>Género:</u> Cartaderia	Hierba de pampas	

4.4 Caracterización fisicoquímica de jales

4.4.1 Medición de pH

Una vez estabilizados los extractos (suelo-agua destilada, relación 1:10) se procedió medir los niveles de pH, de los suelos obtenidos de la zona de jales antiguos, por medio de un potenciómetro y electrodo, obteniendo resultados que se muestran en la figura 8, pudiéndose observar que todas las muestras se encuentran en un rango de entre 7 y 8.6 de pH por lo que se puede decir que las muestras 1 a la 16 se encuentran dentro del rango medianamente alcalinas y a partir de la muestra 17 dentro del rango neutro.

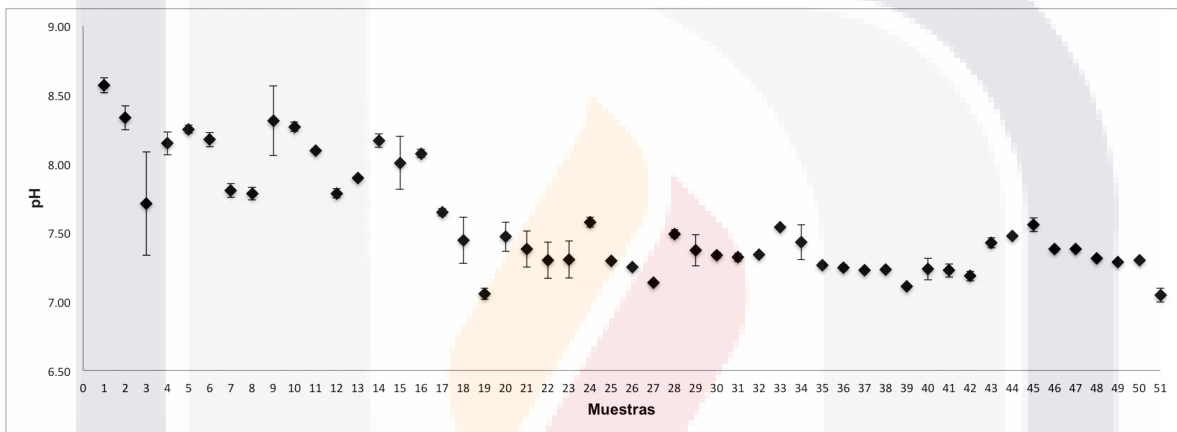


Figura 8. Valores de pH de las muestras de suelos de la zona de jales antiguos

4.4.2 Medición de potencial RedOx en jales (mV).

La medición de los niveles de potencial RedOx, se realizó de igual manera en los extractos estables que se prepararon para medir pH, los resultados se observan en la figura 9, donde se observa que los niveles de potencial RedOx para todas las muestras se encuentran del lado positivo, lo que indica que en el suelo predominan las condiciones aerobias.

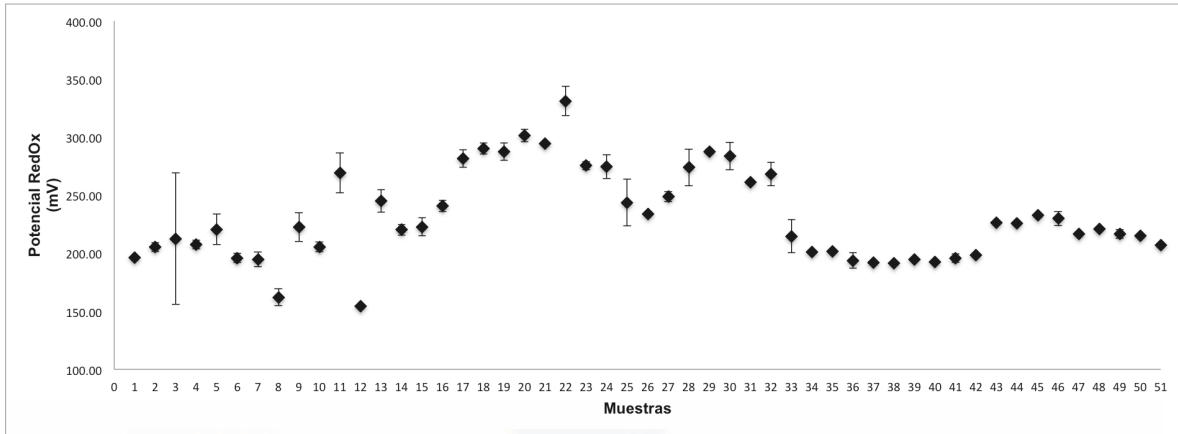


Figura 9. Valores de potencial Red-Ox de suelos de la zona de jales antiguos

4.4.3 Medición de la conductividad en jales (uS/cm)

La obtención de los valores de conductividad, se realizó también a partir de extractos de suelo-agua, observándose los resultados en la figura 10, dichos resultados se observan homogéneos que oscilan alrededor de 50 – 120 uS/cm, considerándose muy ligeramente salinos hasta la muestra numero 40, posterior a esta se alcanzan niveles de hasta 1400 uS/cm, por lo que se consideran moderadamente salino y salinos, lo que indica que la cantidad de iones disueltos o móviles en las muestras de suelo analizadas.

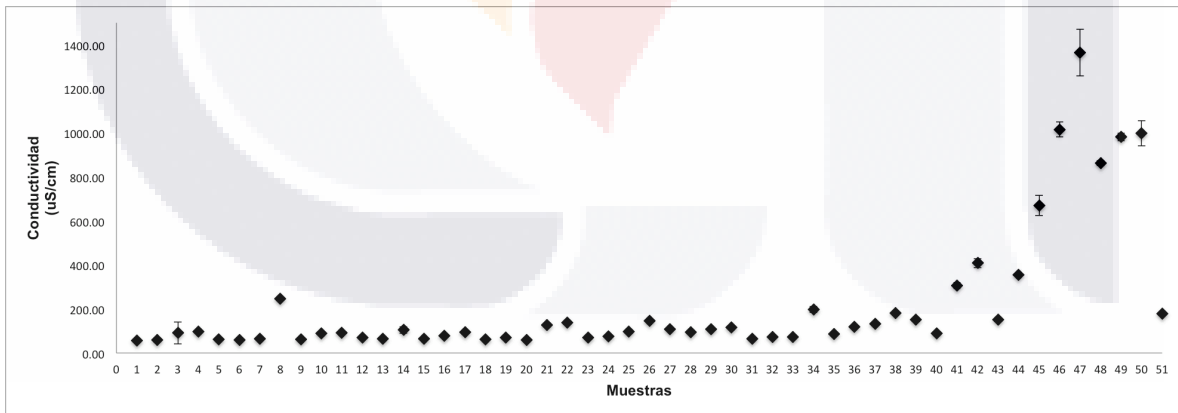


Figura 10. Valores de Conductividad de suelos de la zona de jales antiguos

4.4.4 Medición de sólidos disueltos en suelos (mg/L)

La cantidad de sólidos disueltos encontrados en los extractos de suelo preparadas de igual manera que para las mediciones anteriores, arrojan resultados donde se

observa que la cantidad de sólidos disueltos oscila entre 20 y 80 mg/L a excepción de la muestra 45 en adelante donde la cantidad de sólidos disueltos se dispara hasta alrededor de 700 mg/L, valores directamente proporcionales con la conductividad (figura 11).

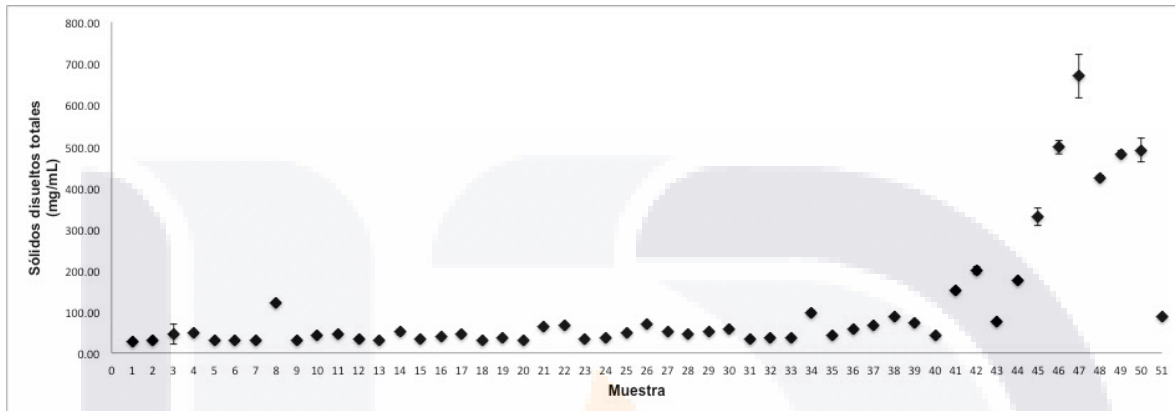


Figura 11. Valores de sólidos disueltos totales de suelos de la zona de jales antiguos

4.4.5 Cuantificación de la cantidad de materia orgánica

Se realizó a partir de suelo tamizado, completamente seco, a partir de una muestra de 0.5 g, por medio de una metodología volumétrica, donde se observa que por la naturaleza del suelo, la cantidad de materia orgánica presente en el mismo es casi nula ya que los porcentajes oscila desde 0.05% hasta 0.12% (figura 12), señalando que las dos zonas donde se ve un incremento de materia orgánica hasta valores de 0.3, son zonas donde la cantidad de plantas presentes es relativamente abundante, mas sin embargo no se ha manifestado en un impacto considerable.

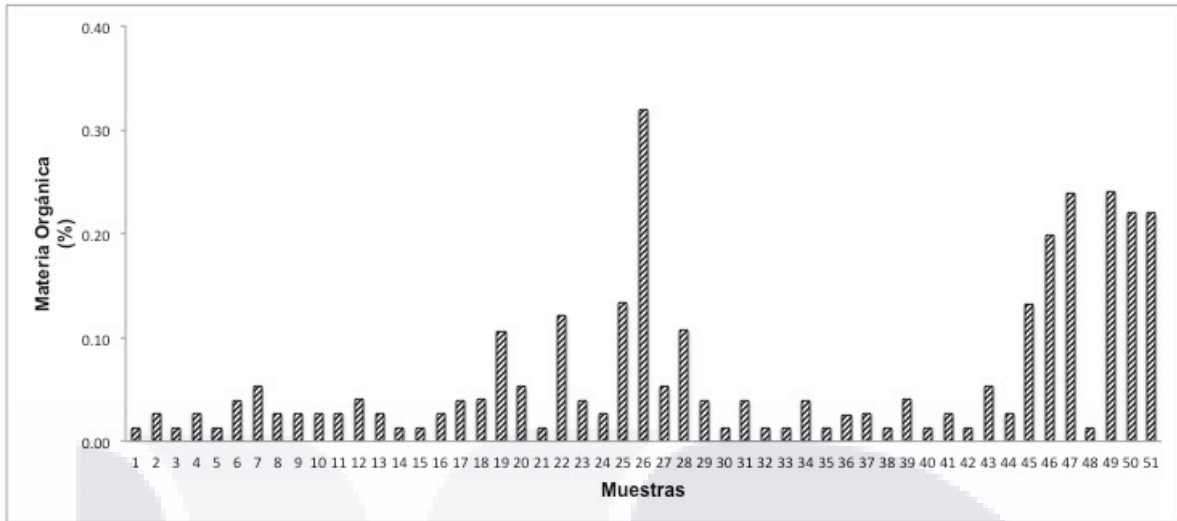


Figura 12. Contenido de materia orgánica en suelos de la zona de jales antiguos

4.4.6 Cuantificación de fósforo

Para el caso de fósforo (figura 13) en las muestras analizadas se tiene un promedio de 3 mg/L, lo que indica la posible presencia de fósforo inorgánico que esta sufriendo un proceso de oxidación, corroborando los resultados del potencial redox obtenidos en las mismas muestras.

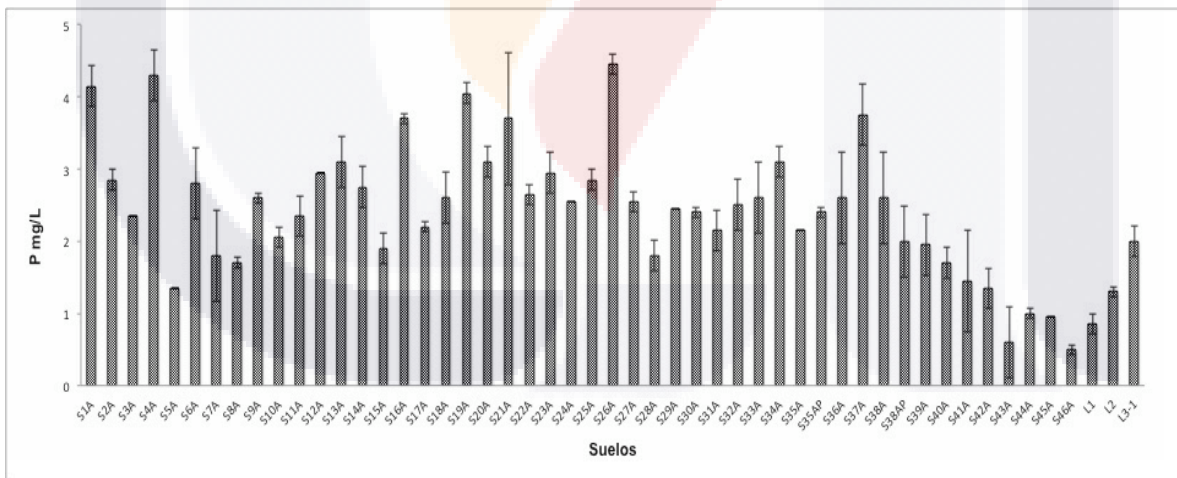


Figura 13. Resultados de cuantificación de fosforo en suelos de jales antiguos

4.4.7 Cuantificación de nitrógeno (total, amoniacal, nitratos, nitritos)

La cuantificación de nitrógeno total, amoniacal, nitratos y nitritos se realizó mediante una técnica estandarizada por la casa comercial Hach^R, denominada *Test in tube*

por sus siglas en inglés, prueba en tubo, arrojando resultados promedio donde la cantidad de nitrógeno total es nula en todas las muestras analizadas hasta el momento, lo que indica que la naturaleza del suelo es principalmente de carácter inorgánico, corroborando los resultados de cantidad de materia orgánica encontrados en las mismas muestras (tabla 7).

Tabla 7. Resultados promedio de sales de nitrógeno

Sal disuelta	Promedio (mg/L)	Desviación estándar
N_t	19.28	0.50
NH₃-N	1.18	1.02
NO₃-N	19.45	0.60
NO₂-N	0.07	0.006

4.5 Caracterización fisicoquímica de rizosferas

4.5.1 Medición de pH

Una vez estabilizados los extractos (suelo-agua destilada, relación 1:10) se procedió medir los niveles de pH, de las rizosferas obtenidos de la zona de jales antiguos, por medio de un potenciómetro y electrodo, obteniendo resultados que se muestran en la figura 15, pudiéndose observar que todas las muestras se encuentran en un rango de entre 7 y 7.5 de pH por lo que se puede decir que las muestras se encuentran dentro de la clasificación de neutras, a excepción de algunas que se encuentran en el rango de ligeramente ácidas.

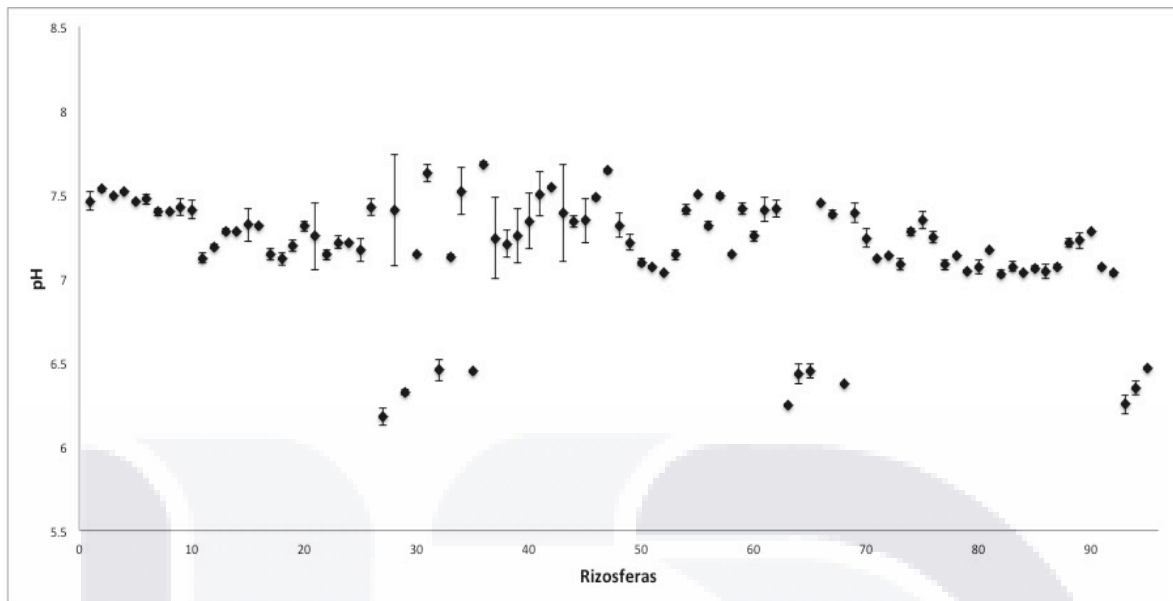


Figura 15. Valores de pH de las muestras de rizosferas de la zona de jales antiguos

4.5.2 Medición de potencial RedOx en suelo (mV).

La medición de los niveles de potencial RedOx, se realizó de igual manera en los extractos estables que se prepararon para medir pH, los resultados se observan en la figura 16, donde se observa que los niveles de potencial RedOx para todas las muestras se encuentran del lado positivo, lo que indica que en la rizosfera predominan las condiciones aerobias.

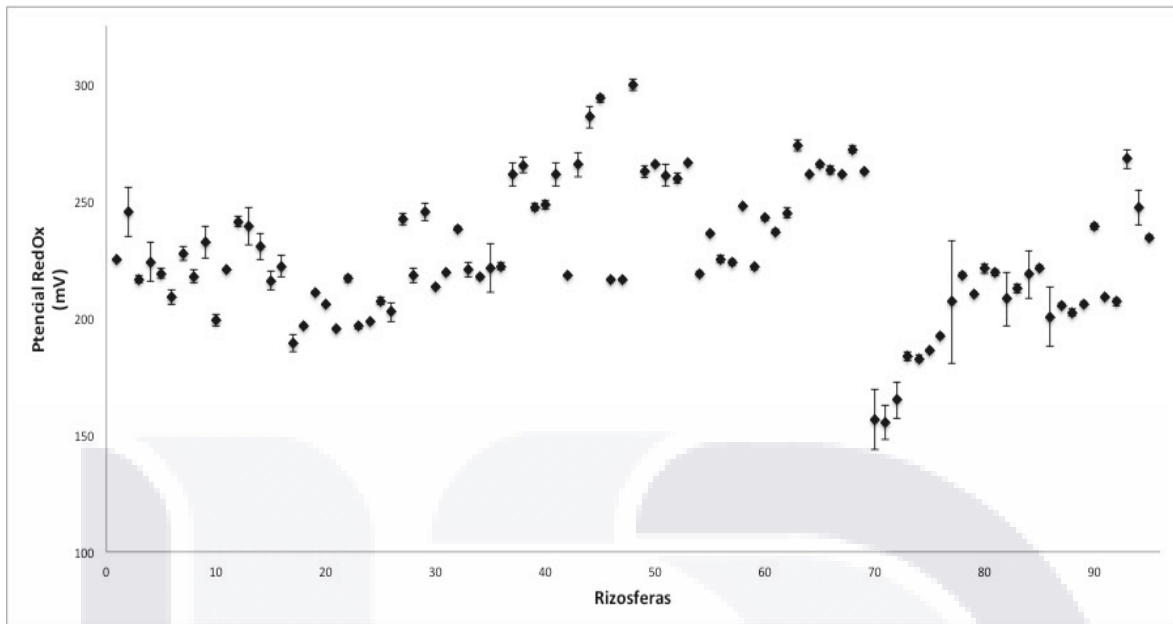


Figura 16. Valores de potencial Red-Ox de rizosferas de la zona de jales antiguos

4.5.3 Medición de la conductividad en rizosferas (uS/cm)

La obtención de los valores de conductividad, se realizó también a partir de extractos de suelo-agua, observándose los resultados en la figura 6, dichos resultados se observan homogéneos que oscilan alrededor de 50 – 200 uS/cm, considerándose ligeramente salinos hasta la muestra numero 80, posterior a esta se alcanzan niveles de hasta 1000 uS/cm, por lo que se consideran moderadamente salino y salinos, lo que indica que la cantidad de iones disueltos o móviles en las muestras de rizosferas analizadas (figura 17).

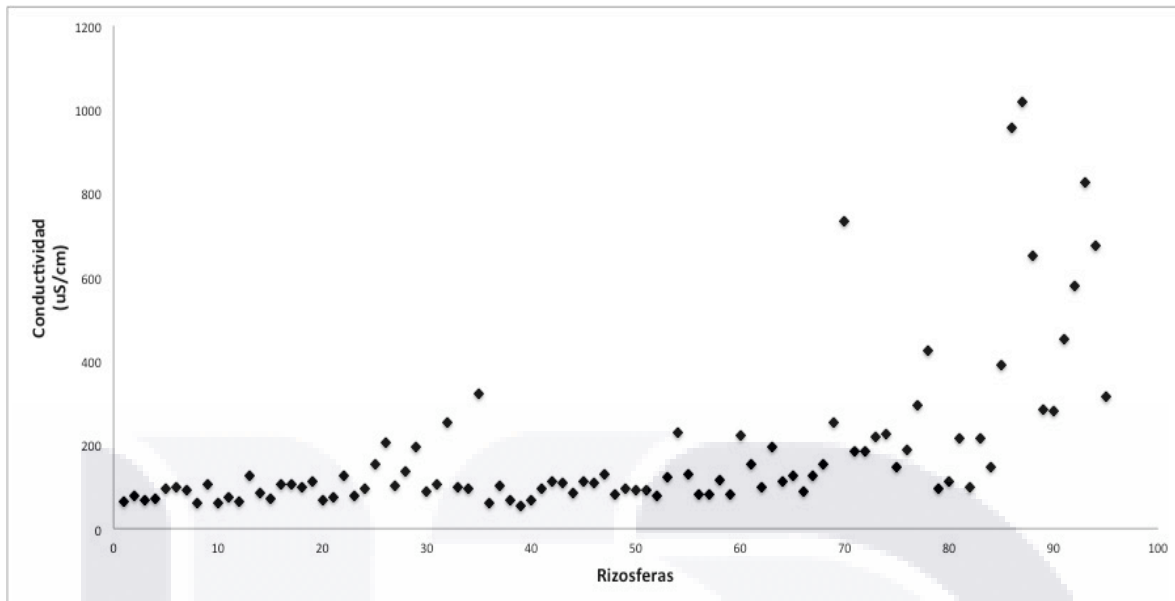


Figura 17. Valores de Conductividad de rizosferas de la zona de jales antiguos

4.5.4 Medición de sólidos disueltos en rizosferas (mg/L)

La cantidad de sólidos disueltos encontrados en los extractos de suelo preparadas de igual manera que para las mediciones anteriores, arrojan resultados donde se observa que la cantidad de sólidos disueltos oscila entre 20 y 100 mg/L a excepción de la muestra 80 en adelante donde la cantidad de sólidos disueltos se dispara hasta alrededor de 500 mg/L, valores directamente proporcionales con la conductividad (figura 18).

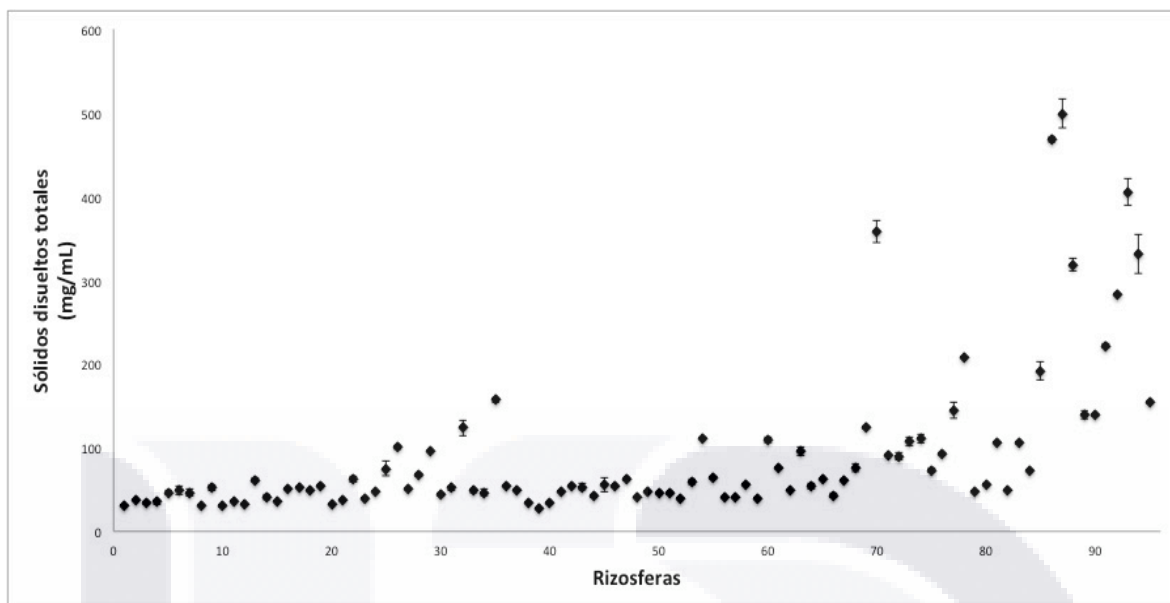


Figura 18. Valores de sólidos disueltos totales de rizosferas de la zona de jales antiguos

4.5.6 Cuantificación de la cantidad de materia orgánica

Se realizó a partir de suelo tamizado, completamente seco, a partir de una muestra de 0.5 g, por medio de una metodología volumétrica, donde se observa que por la naturaleza del suelo, la cantidad de materia orgánica presente en el mismo es casi nula ya que los porcentajes oscila desde 0.05% hasta 0.10%, señalando que las 10 ultimas muestras presentan un incremento de materia orgánica hasta valores de 0.20%, sitio donde se observa un arrastre por diferencia de altura, mas sin embargo no se ha manifestado en un impacto considerable (figura 19).

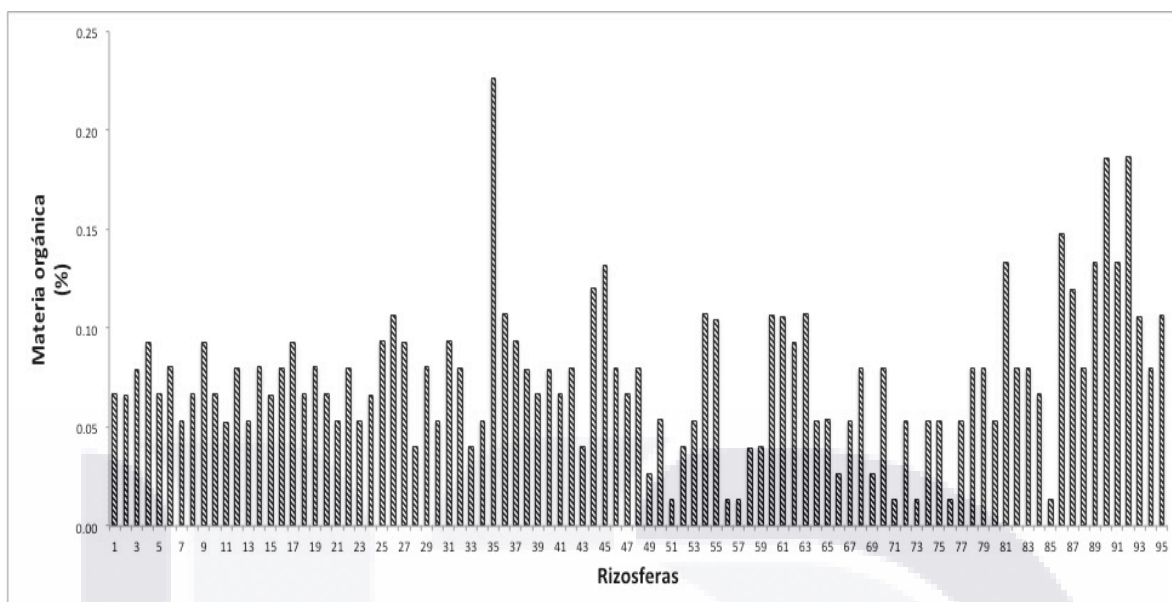


Figura 19. Contenido de materia orgánica en rizosferas de la zona de jales antiguos

4.5.7 Cuantificación de fósforo

Para el caso de fósforo en las muestras de rizosferas analizadas (figura 20) se tiene un promedio de 3 mg/L, lo que indica la posible presencia de fósforo inorgánico que está sufriendo un proceso de oxidación, corroborando los resultados del potencial redox obtenidos en las mismas muestras, mostrando resultados muy similares a los de las muestras de suelo

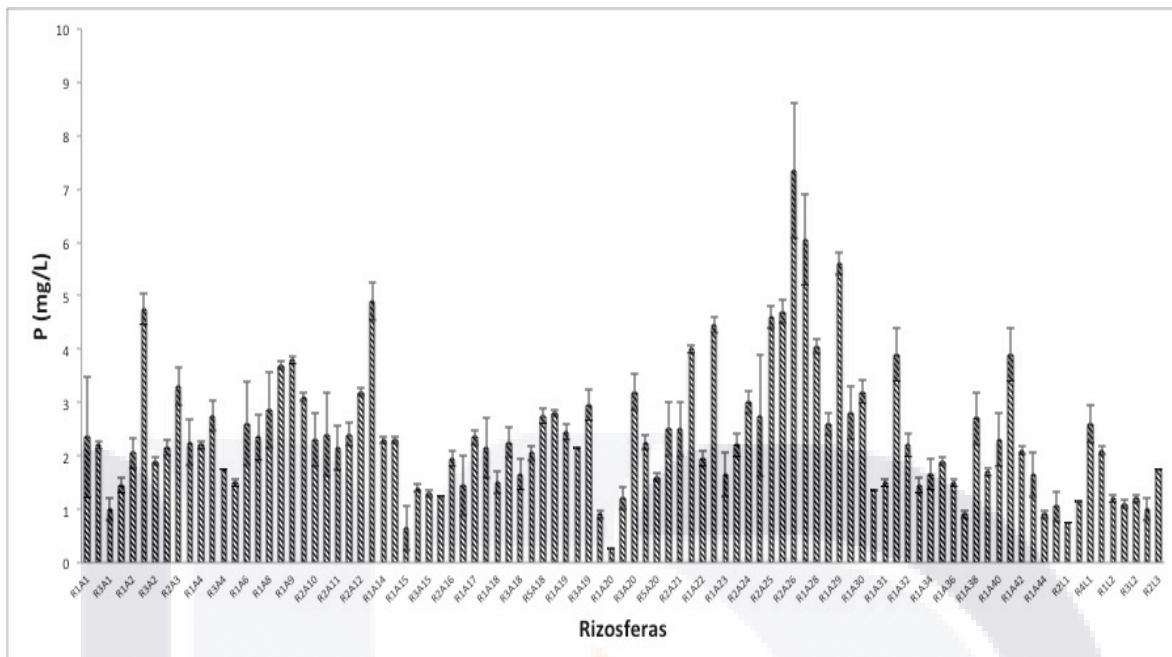


Figura 20. Resultados de cuantificación de fósforo en rizosferas de jales antiguos.

4.6 Caracterización del contenido de metales y metaloides

Los resultados de la caracterización del contenido de metales y metaloides (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn), se dividen en dos zonas: 1) Jales antiguos y 2) Jales recientes, tanto de muestras de suelo como de rizosferas, mostrando resultados comparativos con sitios tomados como controles. Se tomo como valor límite para $p = 0.05$, en los análisis de varianza (ANOVA) aplicadas en todos los análisis comparativos que se muestran en esta sección.

4.6.1 Jales antiguos

La figura 21 muestra los resultados de la concentración de Cd en suelos de jales mineros, oscilando el promedio alrededor de 23 mg/Kg, mostrando algunas muestras que superan la normatividad mexicana vigente de 37 mg/Kg.

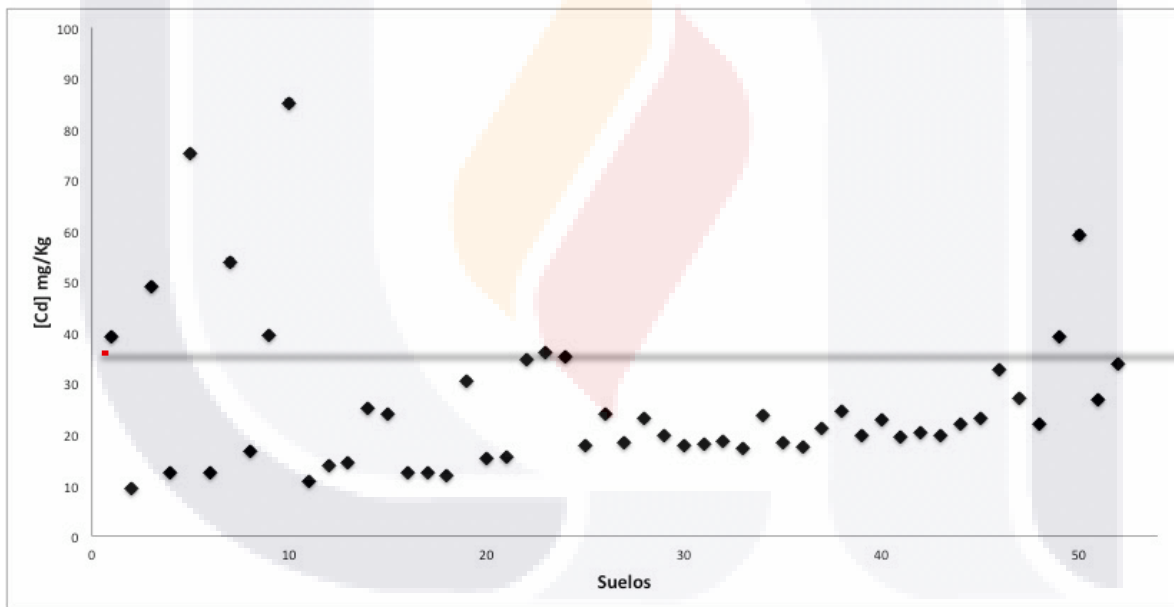


Figura 21. Dispersión de la cuantificación de Cd en suelos de jales antiguos

En la figura 22 se muestran los resultados de la cuantificación de Cu en suelos de jales antiguos, observándose un promedio de 153 mg/Kg, notándose que las últimas 6 muestras tienen un incremento que alcanza los 400 mg/Kg, debido probablemente al arrastre de material por corriente de agua en presencia de lluvia.

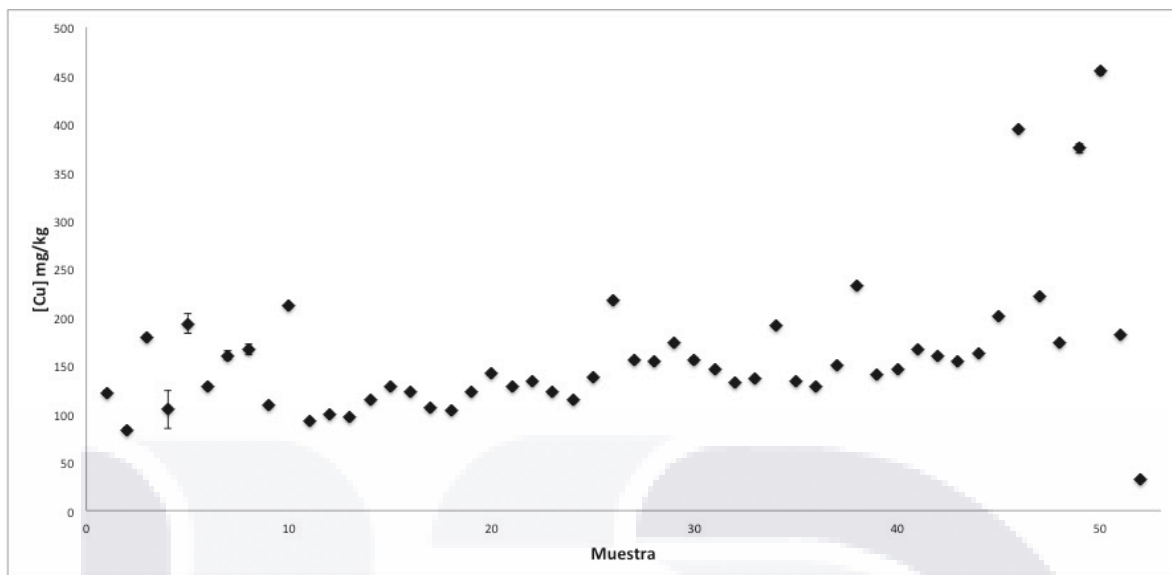


Figura 22. Dispersión de la cuantificación de Cu en suelos de jales antiguos

Los resultados de la cuantificación de Cr en suelos de jales antiguos se muestran en la figura 23, donde se observa que existe una tendencia a elevarse la concentración en las ultimas muestras llegando hasta valores de 70 mg/Kg, mostrando un promedio de 25 mg/Kg, valor que no supera lo establecido por la normatividad oficial mexicana.

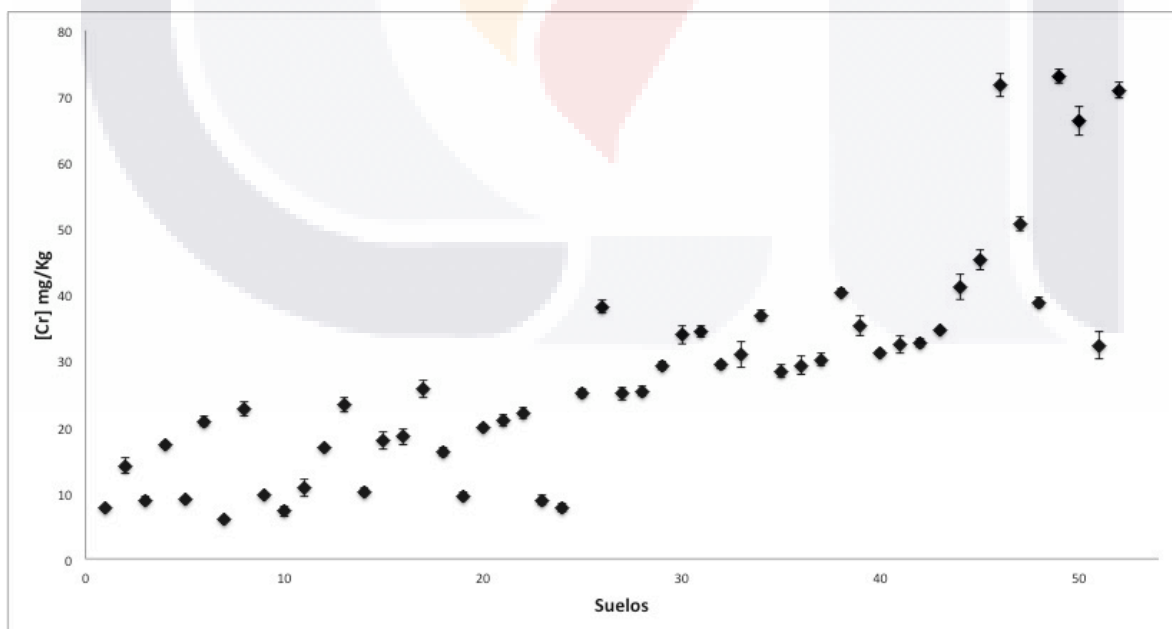


Figura 23. Dispersión de la cuantificación de Cr en suelos de jales antiguos

Las concentraciones de Fe encontradas en los suelos de jales antiguos oscilan entre los 10 000 mg/Kg y los 49 000 mg/kg, derivado de las características propias de los residuos mineros (figura 24).

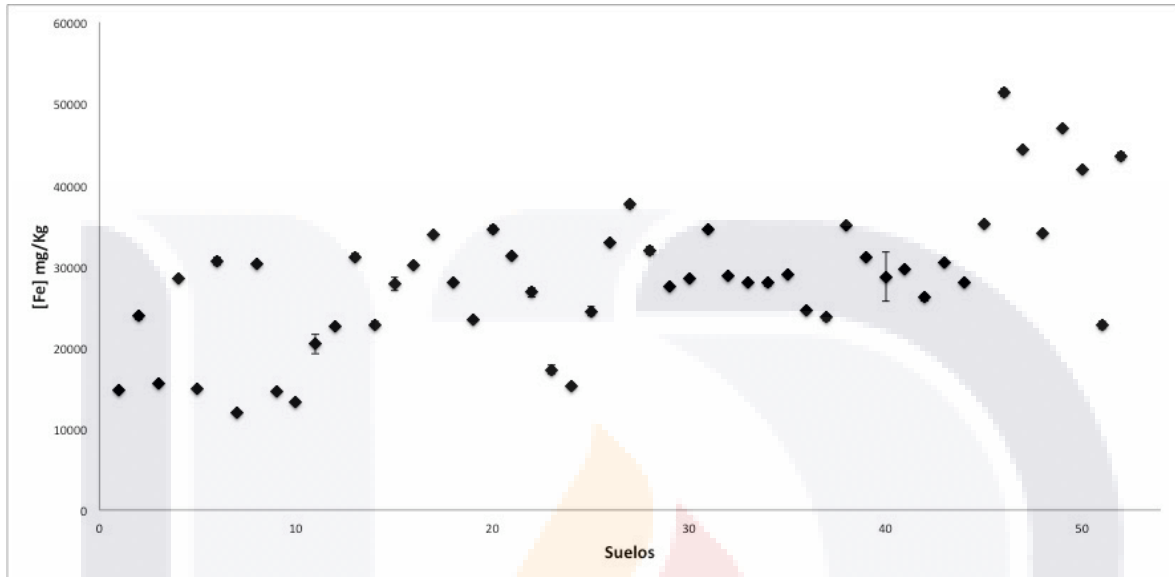


Figura 24. Dispersión de la cuantificación de Fe en suelos de jales antiguos

La figura 25 muestra los resultados de la concentración de Mn en suelos de los jales antiguos, se observa un promedio de 1320 mg/kg para las primeras 40 muestras, las posteriores muestran una elevación con un promedio de 2800 mg/kg, igualmente la posible causa es el arrastre que provoca la lluvia, hacia la zona de donde se tomaron las ultimas muestras.

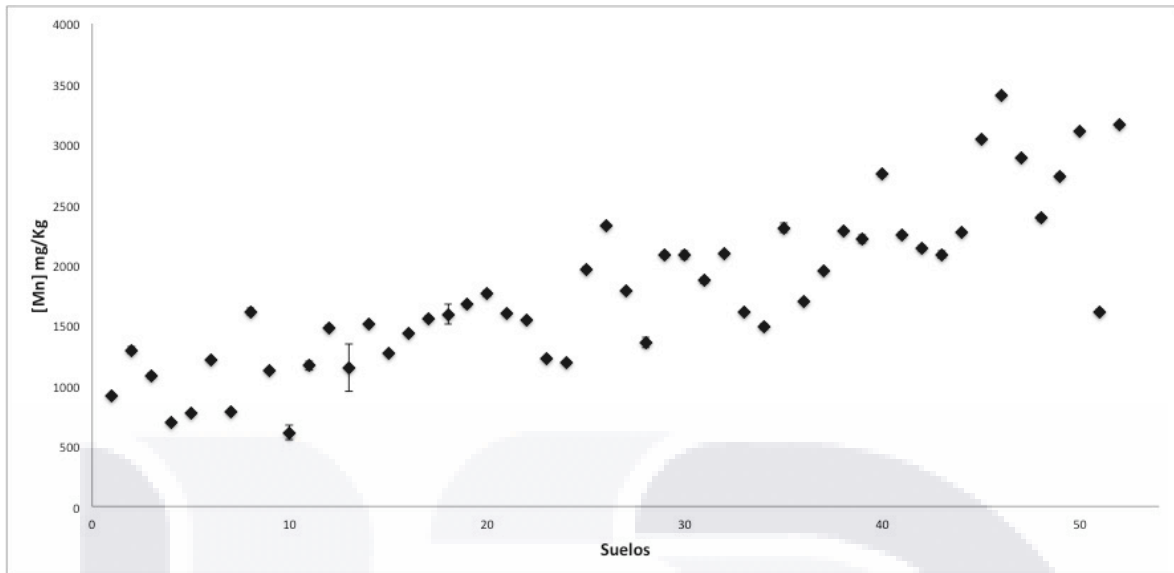


Figura 25. Dispersión de la cuantificación de Mn en suelos de jales antiguos

En la figura 26 se observa que las primeras 40 muestras tienen un promedio de concentración de Ni de alrededor 20 mg/kg, mientras que las posteriores a la muestra 40, donde posiblemente haya un arrastre por lluvia la concentración promedio se incrementa hasta 42 mg/Kg.

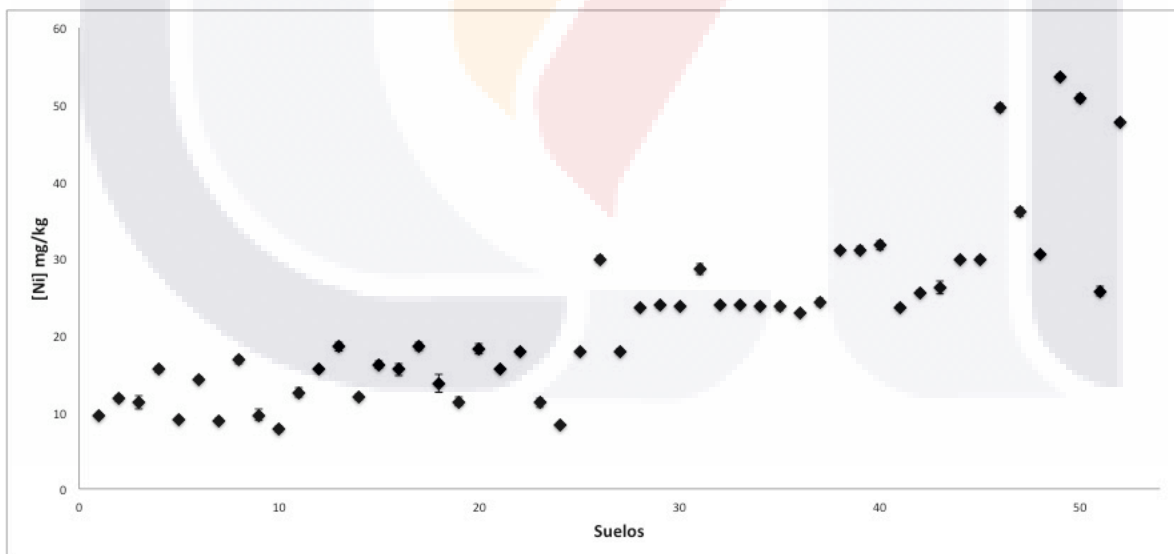


Figura 26. Dispersión de la cuantificación de Ni en suelos de jales antiguos

Los resultados de la cuantificación de Pb en suelos de jales antiguos, superan lo establecido por la normatividad mexicana vigente, llegando algunos puntos hasta concentraciones de 8500 mg/Kg, con un promedio de 2400 mg/Kg (figura 27).

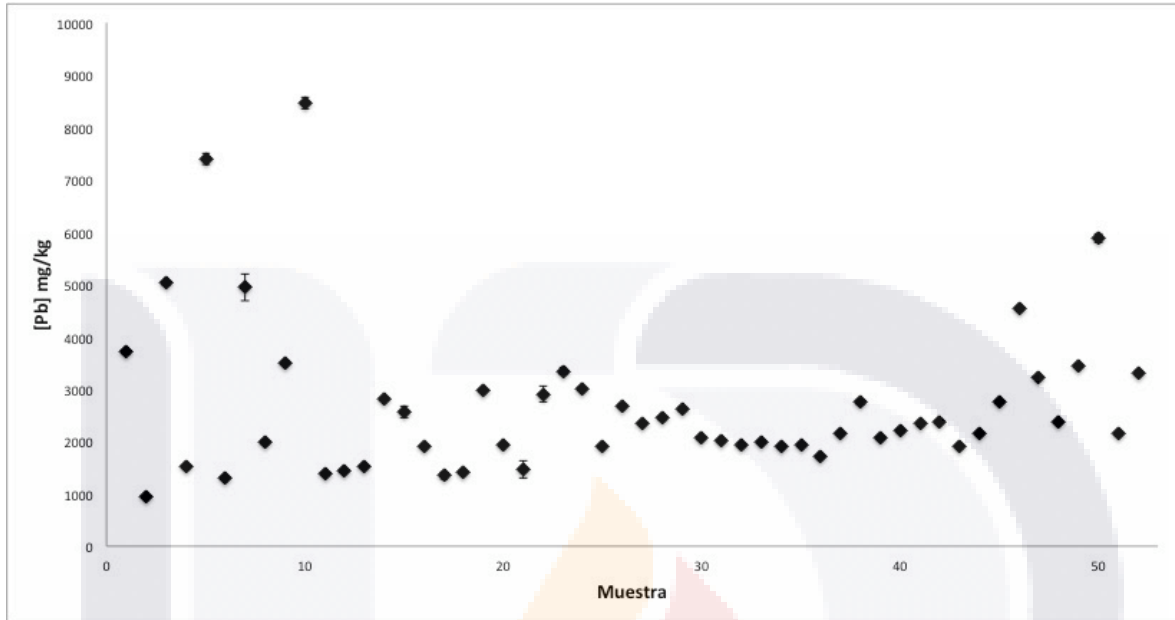


Figura 27. Dispersión de la cuantificación de Pb en suelos de jales antiguos

Finalmente, la figura 28 muestra los resultados de la cuantificación de Zn en suelos de jales antiguos, con un promedio de 3100 mg/Kg, con algunos puntos disparados hasta 14 000 mg/Kg, que se pudieran considerar datos atípicos.

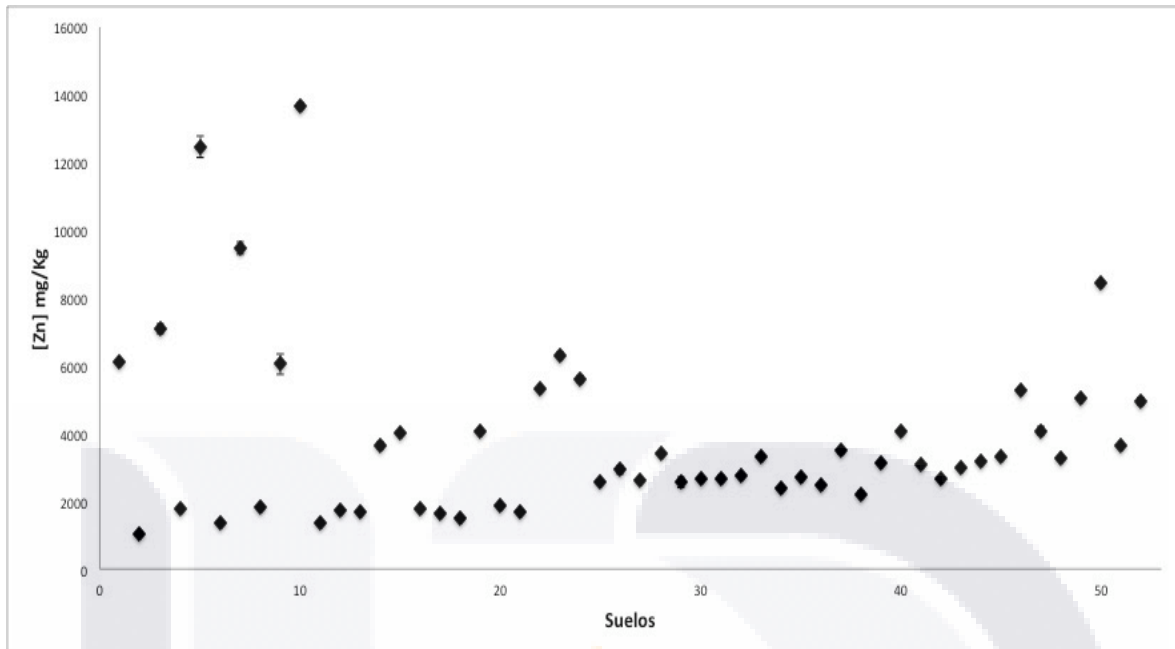


Figura 28. Dispersión de la cuantificación de Zn en suelos de jales antiguos

4.6.2 Rizosferas jales antiguos

En la figura 29 se puede observar los resultados de la cuantificación de Cd en rizosferas de jales antiguos, mostrando que en su mayoría los niveles de Cd no superan lo establecido por la normatividad vigente mexicana, sin embargo se observan algunos puntos que superan dicha normatividad llegando a valores de 112 mg/Kg.

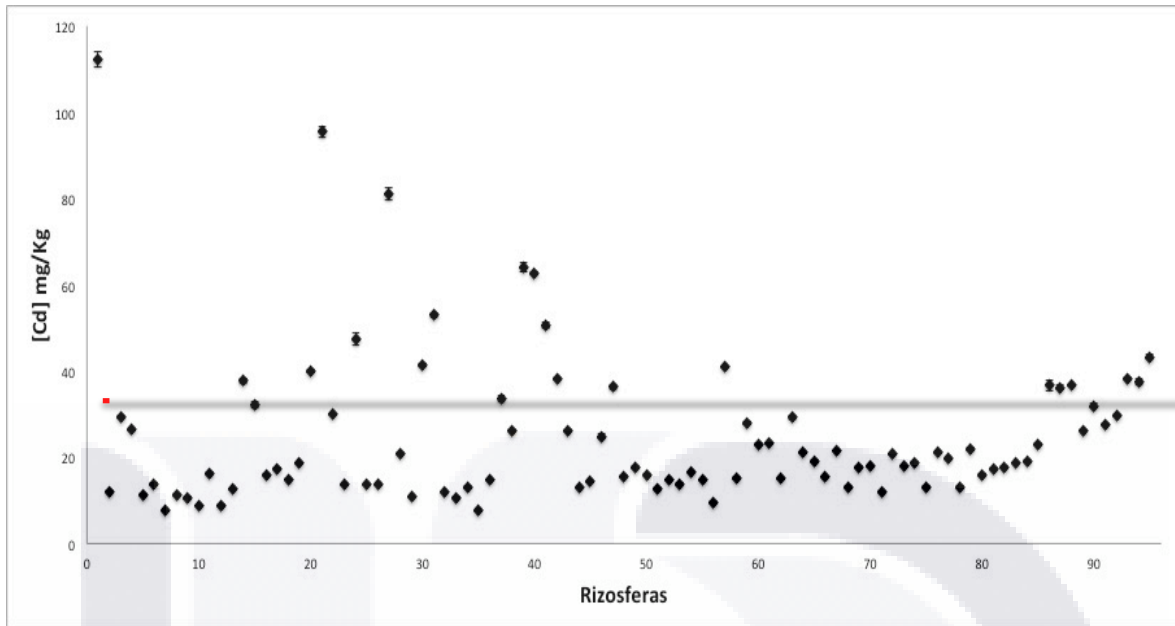


Figura 29. Dispersión de la cuantificación de Cd en rizosferas de jales antiguos

En la figura 30 se muestran los niveles de Cu en rizosferas de jales antiguos, con valor promedio de 120 mg/Kg , mostrando al igual que en gráficas anteriores, un aumento de la concentración del metal en las últimas 10 muestras con valor promedio de 306 mg/Kg, probablemente debido al arrastre por lluvia que se observa en la zona de muestreo de esos 10 puntos.

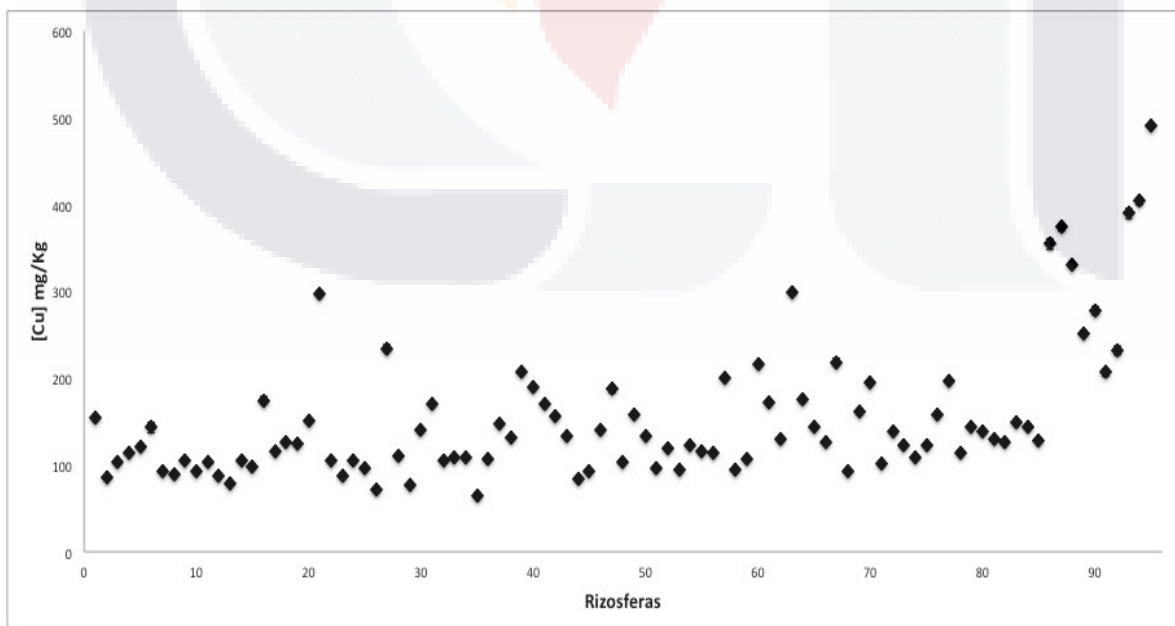


Figura 30. Dispersión de la cuantificación de Cu en rizosferas de jales antiguos

En la figura 31 se muestran los niveles de Cr en rizosferas de jales antiguos, con valor promedio de 22 mg/Kg , mostrando al igual que en gráficas anteriores, un aumento de la concentración del metal en las últimas 10 muestras con valor promedio de 60 mg/Kg, probablemente debido al arrastre por lluvia que se observa en la zona de muestreo de esos 10 puntos. Cabe señalar que las concentraciones encontradas no superan los límites establecidos como permisibles.

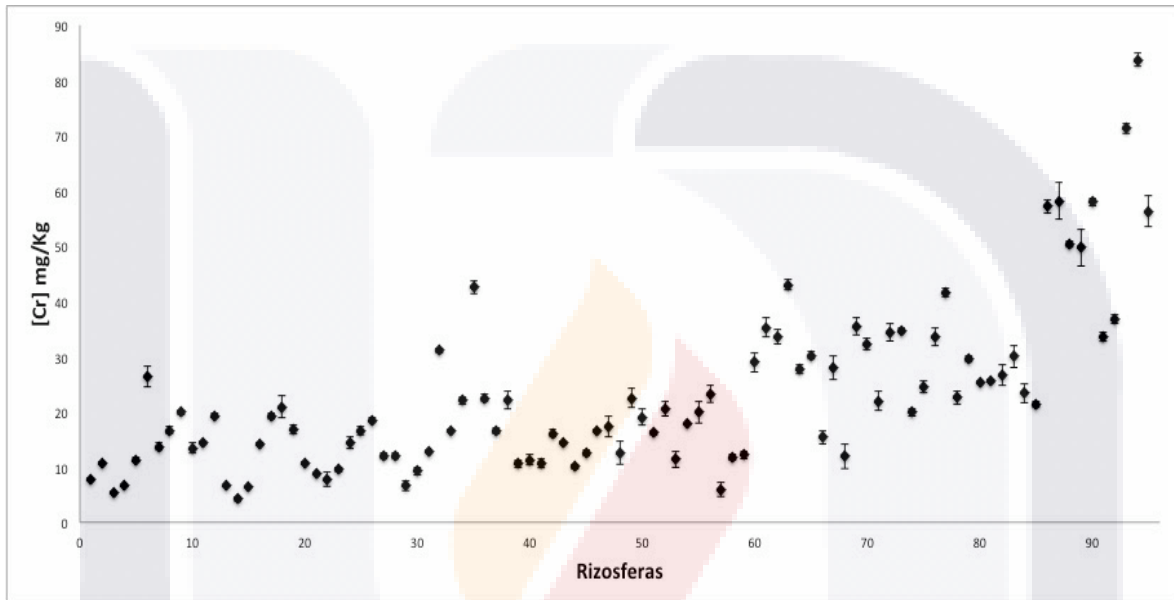


Figura 31. Dispersión de la cuantificación de Cr en rizosferas de jales antiguos

La figura 32 muestra los niveles de Fe en rizosferas de jales antiguos, con valor promedio de 20 000 mg/Kg , mostrando al igual que en gráficas anteriores, un aumento de la concentración del metal en las últimas 10 muestras con valor promedio de 55 000 mg/Kg, probablemente debido al arrastre por lluvia que se observa en la zona de muestreo de esos 10 puntos.

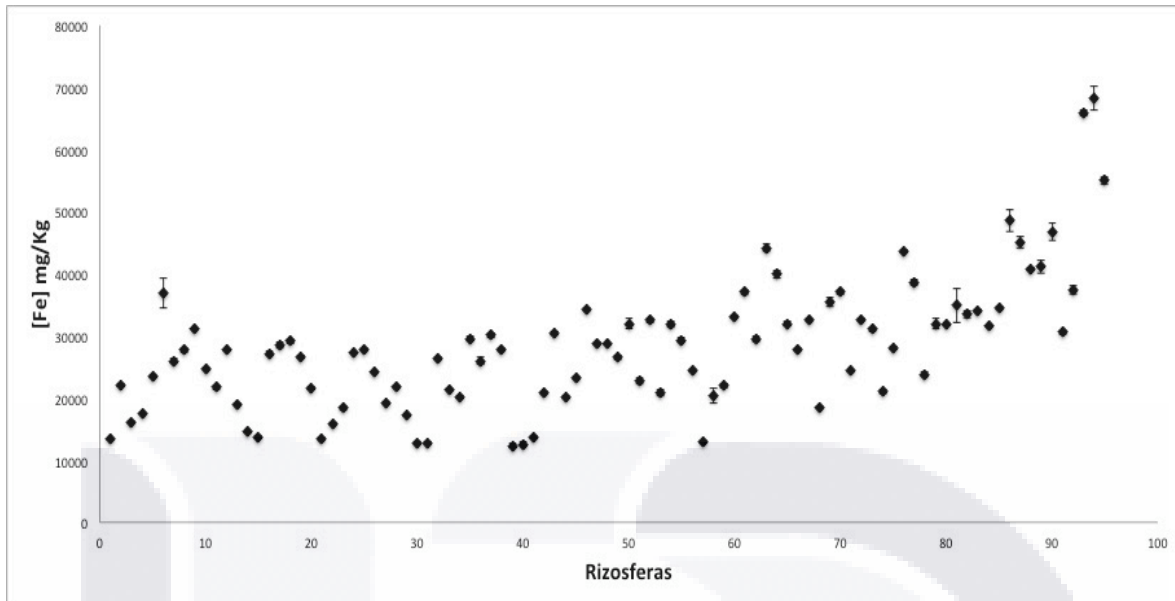


Figura 32. Dispersión de la cuantificación de Fe en rizosferas de jales antiguos

Los resultados de la cuantificación de Mn en rizosferas de jales antiguos se observan en la figura 33, donde se muestra que la concentración de dicho metal oscila entre los 1000 mg/Kg llegando hasta valores de 4 500 mg/Kg.

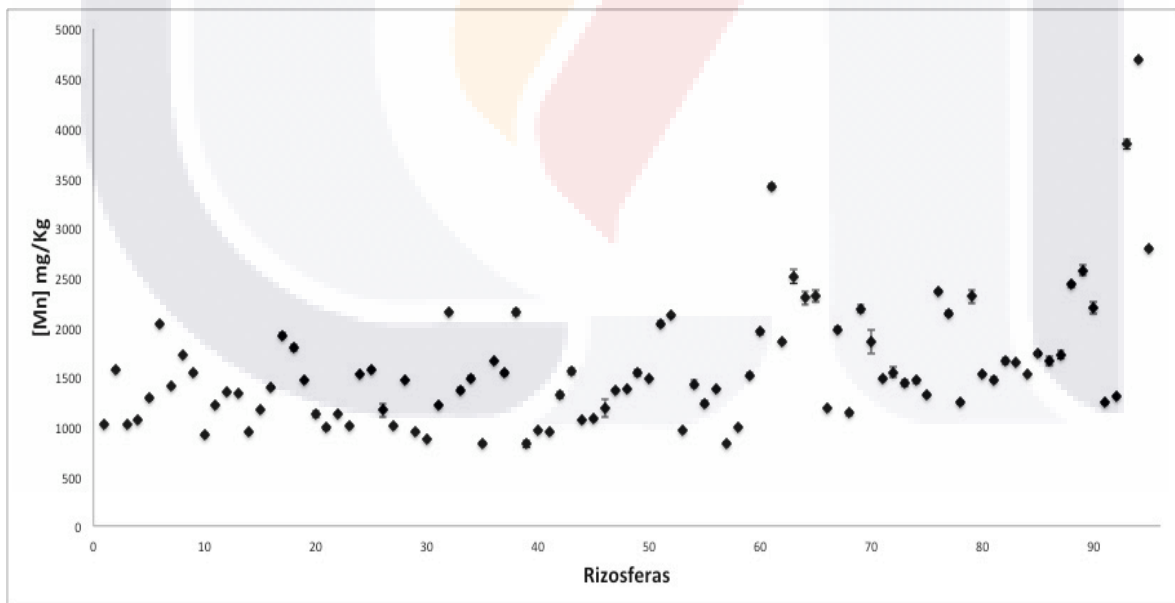


Figura 33. Dispersión de la cuantificación de Mn en rizosferas de jales antiguos

Los niveles de Ni en rizosferas de jales antiguos oscilan entre los 10 y 100 mg/kg, valores que no superan la normatividad vigente mexicana (figura 34)

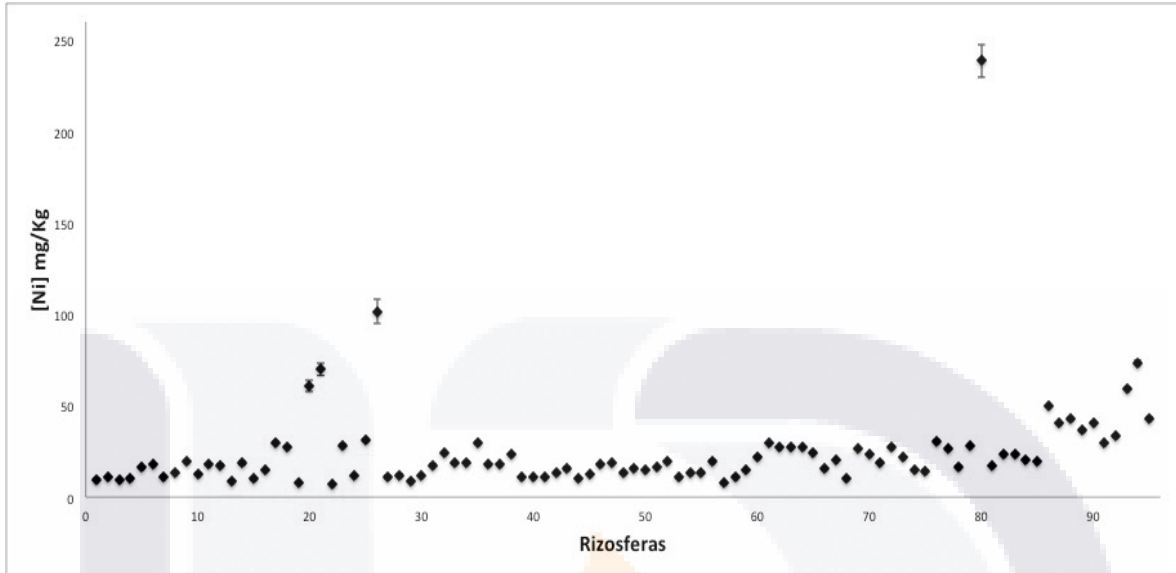


Figura 34. Dispersión de la cuantificación de Ni en rizosferas de jales antiguos

La figura 35 muestra los resultados de la cuantificación de los niveles de Pb en rizosferas de jales antiguos, superando los valores establecidos como permisibles dentro de la normatividad vigente mexicana (400 mg/kg en suelo de uso residencial y 800 mg/Kg para suelo de uso industrial), mostrando concentraciones que oscilan desde los 800 mg/kg hasta alcanzar los 10 000 mg/kg.

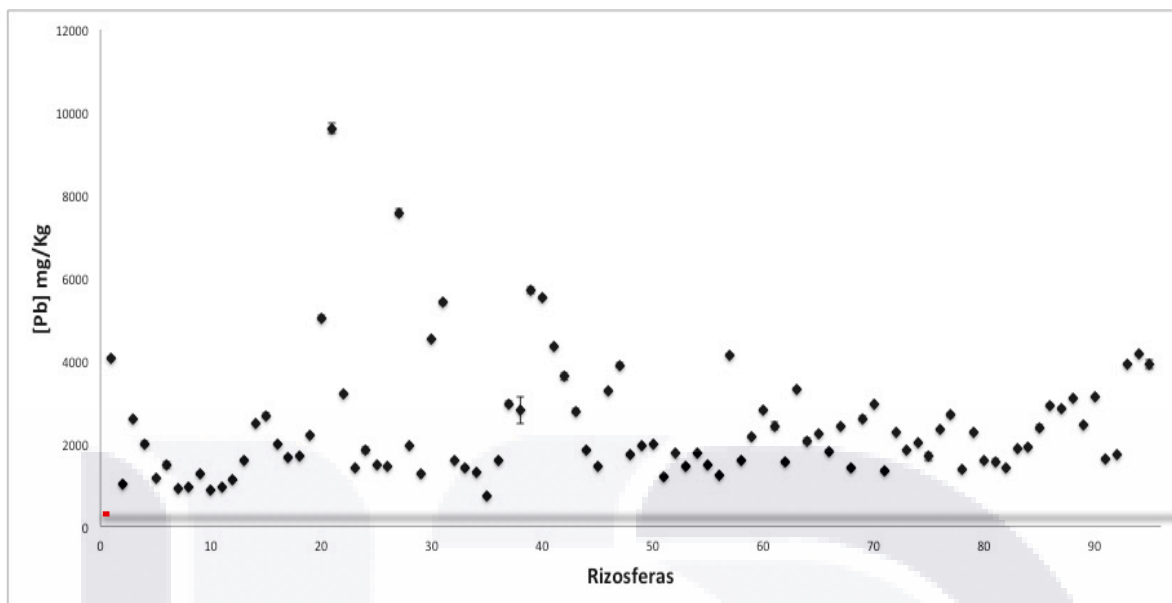


Figura 35. Dispersión de la cuantificación de Pb en rizosferas de jales antiguos

Las concentraciones de Zn en las rizosferas de jales antiguos se observan en la figura 36, con valores que van desde los 1 500 mg/kg hasta valores de 15 600 mg/Kg, no reportado por la normatividad vigente mexicana, valores permisibles de este metal.

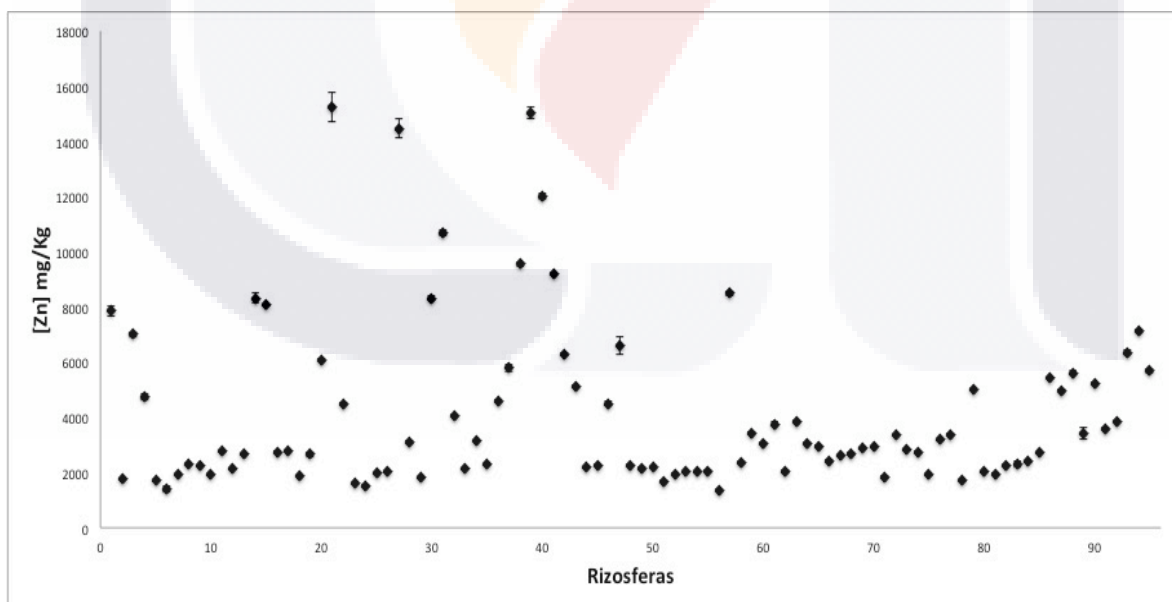


Figura 36. Dispersión de la cuantificación de Zn en rizosferas de jales antiguos

4.6.3 Suelos control

En la figura 37 se observan los resultados de la cuantificación de Cd, en suelos tomados de sitios control ubicados en los alrededores hacia los cuatro puntos cardinales, como se mostró en la sección de muestreo, obteniendo valores que oscilan entre 1 mg/kg hasta 27 mg/kg, valores que no superan la normatividad vigente mexicana.

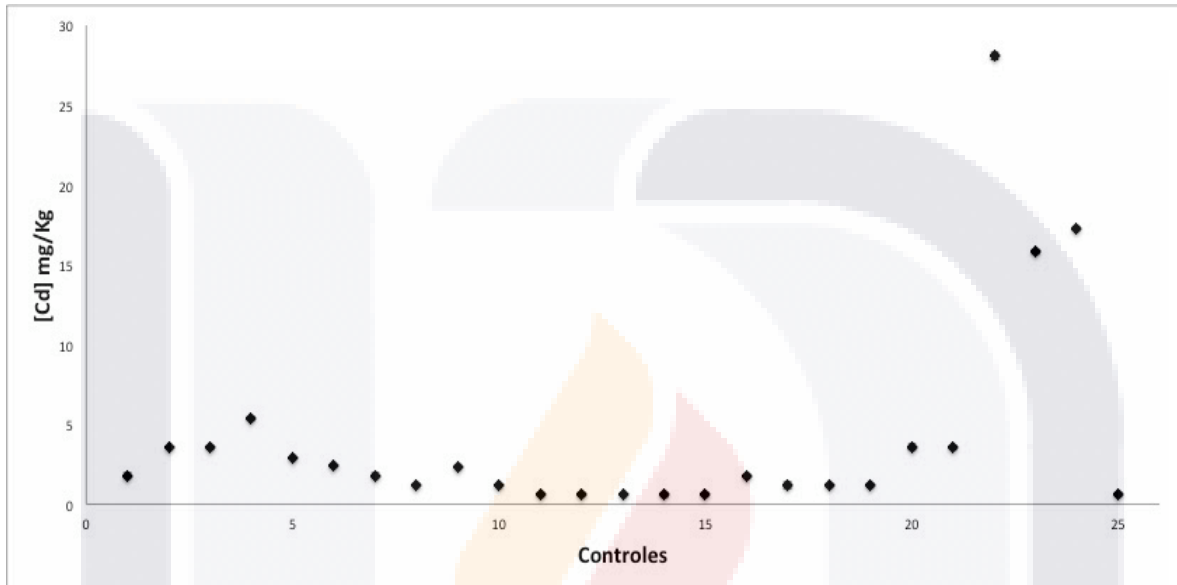


Figura 37. Dispersión de la cuantificación de Cd en suelos de sitios control

Los resultados de la cuantificación de Cu en suelos de sitios control, se muestran en la figura 38, observándose una concentración promedio de 98 mg/kg, también se identifica una zona donde 3 puntos a partir de la muestra 21 donde la concentración de metal se eleva, llegando a niveles de 240 mg/kg.

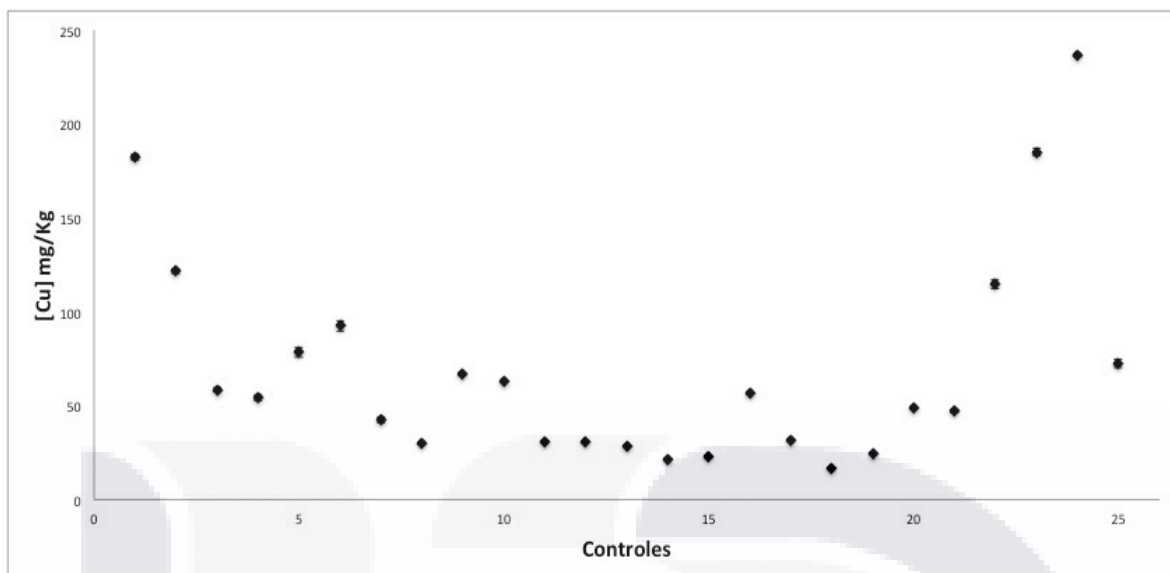


Figura 38. Dispersión de la cuantificación de Cu en suelos de sitios control

La figura 39 muestra los resultados de la cuantificación de Cr en muestras de suelo control, observándose muy dispersas con valores que van desde los 8 mg/Kg hasta los 92 mg/kg, con un valor promedio de 26 mg/kg. Todos los valores de Cr cuantificados se encuentran por debajo de la normatividad vigente mexicana.

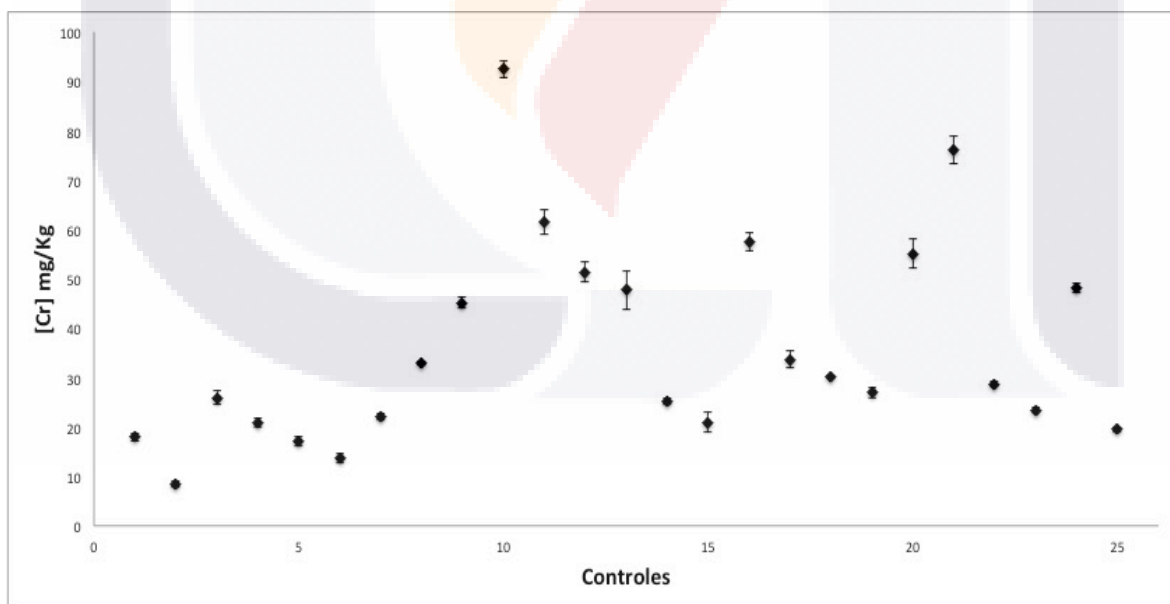


Figura 39. Dispersión de la cuantificación de Cr en suelos de sitios control

Los resultados de la cuantificación de Fe en suelos muestreados de sitios control, se encuentran entre 8 000 mg/Kg y 50 000 mg/Kg, valores muy dispersos, derivado de la heterogeneidad de la ubicación de las muestras (figura 40).

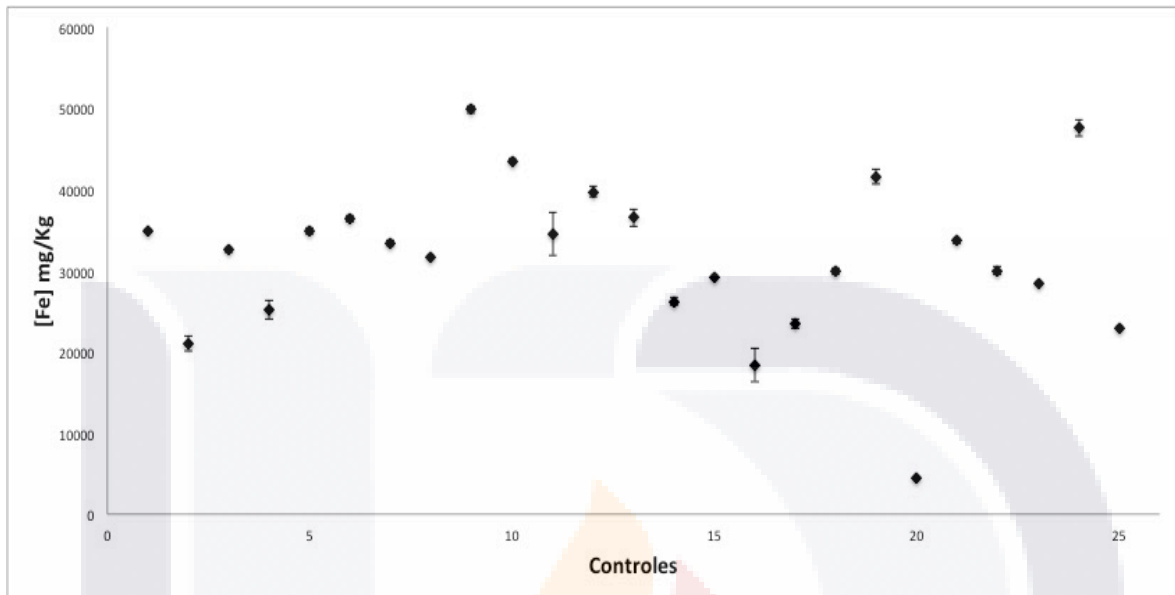


Figura 40. Dispersión de la cuantificación de Fe en suelos de sitios control

En la figura 41 se muestran los resultados de la cuantificación de Mn en suelos obtenidos de sitios control, con concentración promedio del metal de 950 mg/Kg, valores mínimos de 100 mg/kg y máximos de hasta 1 900 mg/kg.

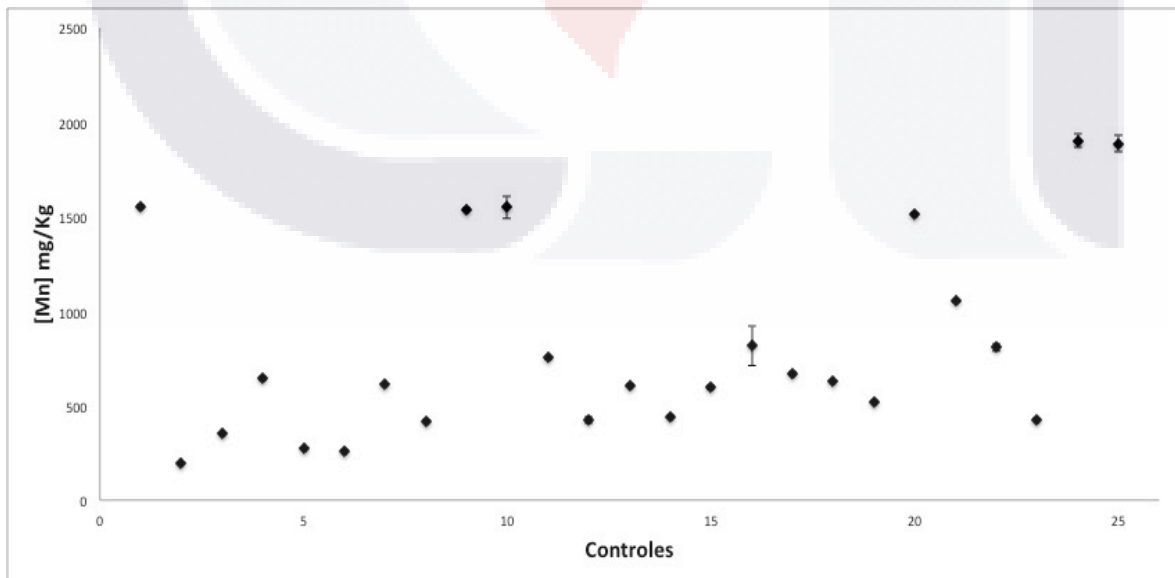


Figura 41. Dispersión de la cuantificación de Mn en suelos de sitios control

La figura 42 muestra los resultados de la cuantificación de Ni en suelos obtenidos de sitios control, los cuales tienen concentraciones de 5 mg/Kg hasta 90 mg/Kg, con una concentración promedio de 28 mg/Kg.

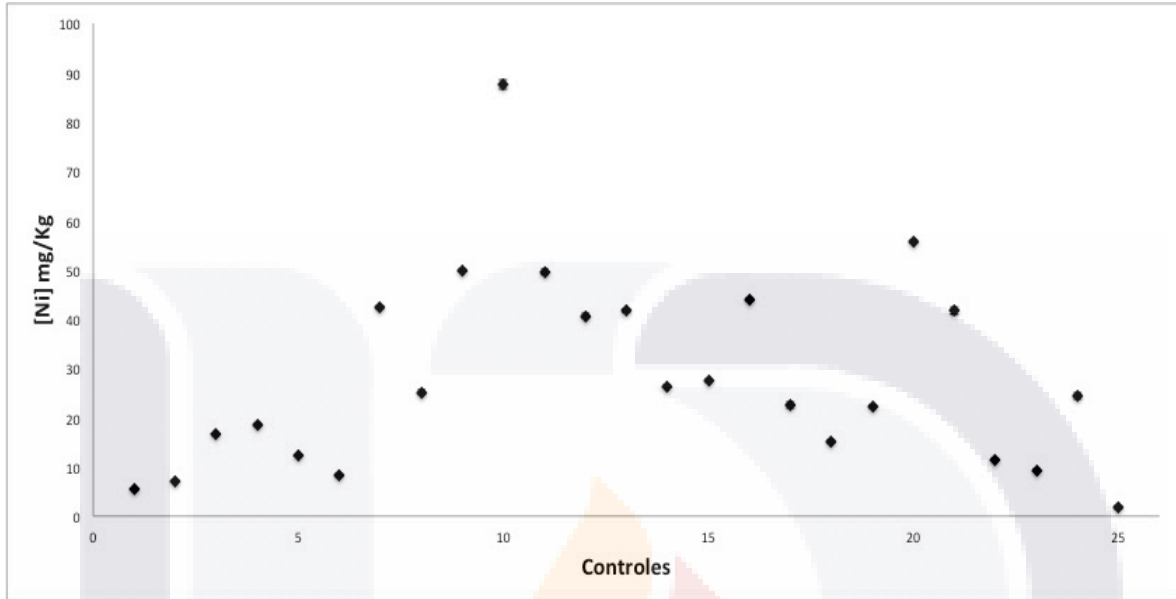


Figura 42. Dispersión de la cuantificación de Ni en suelos de sitios control

Los resultados de la concentración de Pb se observan en la figura 43, los cuales en su mayoría no superan la normatividad vigente, sin embargo hay sitios control, los cuales superan la normatividad vigente mexicana de 200 mg/Kg para uso de tipo residencial e incluso para los valores permisibles de suelo de uso industrial que se establecen de 400 mg/Kg.

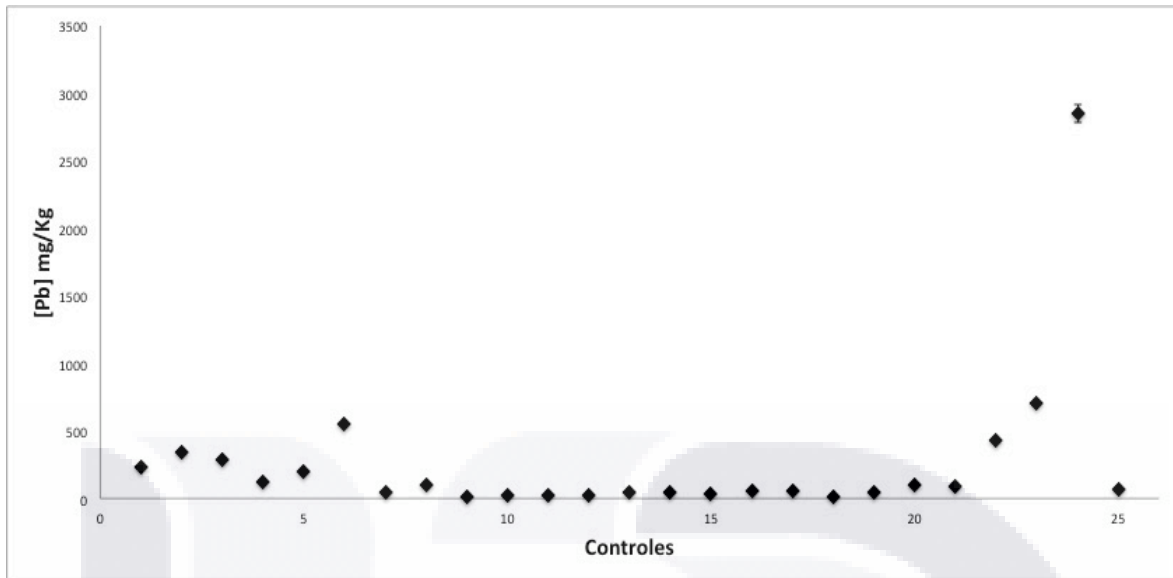


Figura 43. Dispersión de la cuantificación de Pb en suelos de sitios control

La figura 44, muestra los resultados de concentraciones de Zn en suelos obtenidos de sitios control, las cuales van desde 68 mg/Kg llegando hasta 2000 mg/Kg, con un valor promedio de 430 mg/Kg.

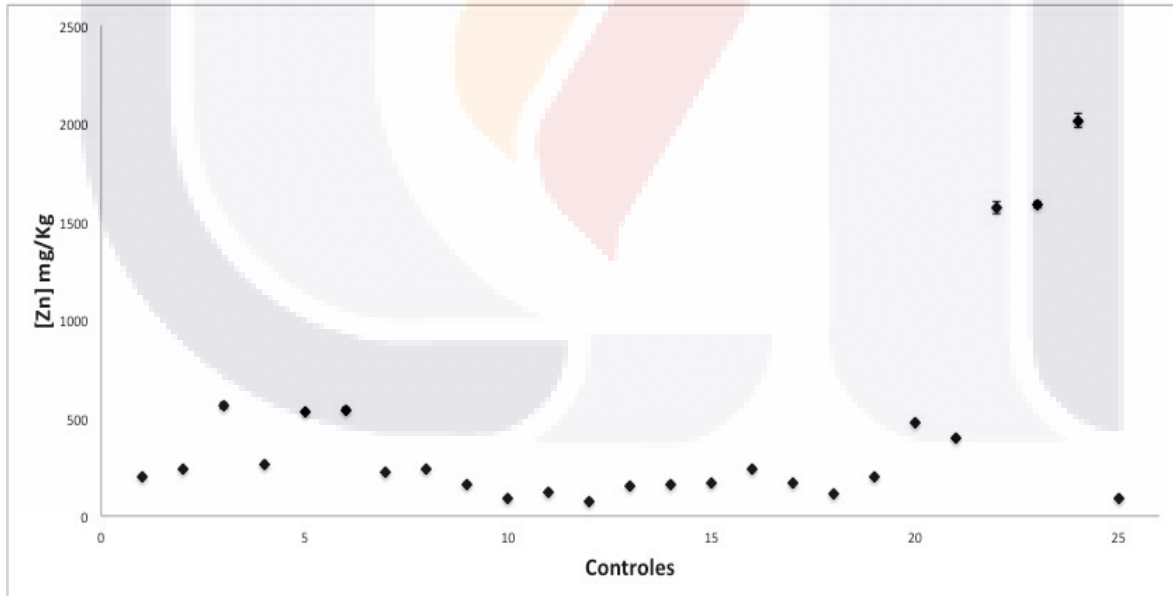


Figura 44. Dispersión de la cuantificación de Zn en suelos de sitios control

La figura 45 muestra los resultados de la concentración de arsénico en los jales antiguos y recientes de la zona de muestreo, donde se observa que cuatro de las

muestras, tienen concentraciones de 42 mg/kg, dichas muestras corresponden a jales antiguos a una zona donde hay una menor cantidad de plantas, las demás muestras pertenecen a las zonas donde hay una mayor cantidad de plantas y a la zona de jales recientes.

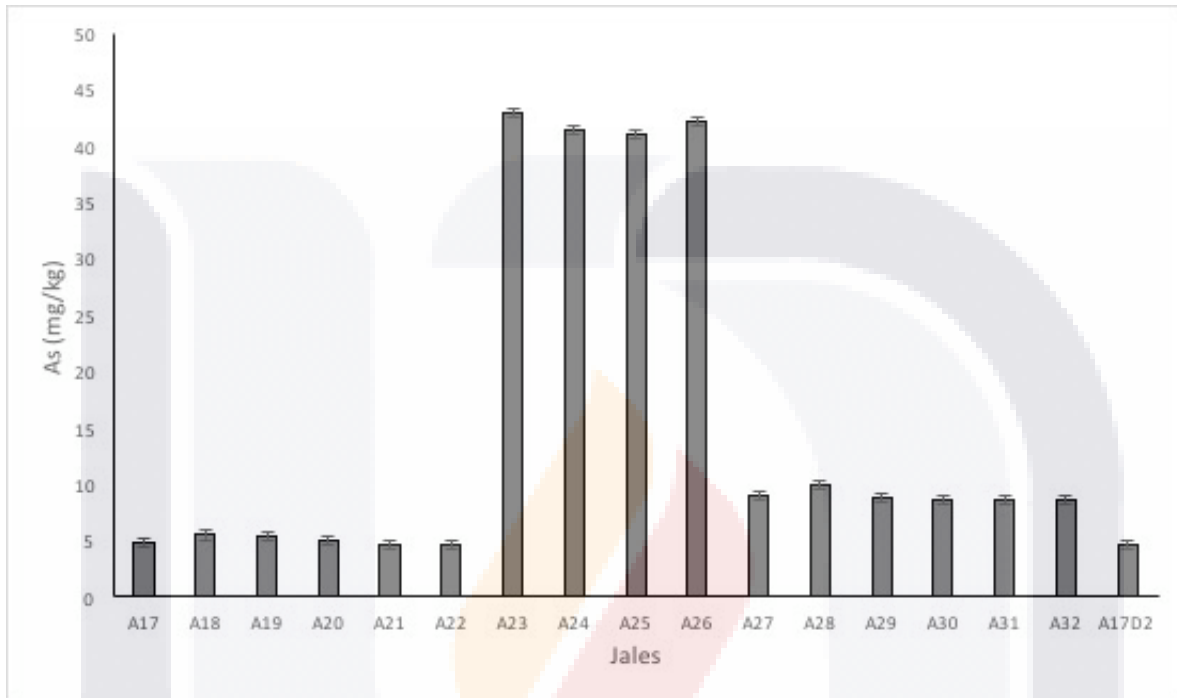


Figura 45. Concentración total de arsénico en jales antiguos y recientes

La concentración de arsénico en rizsoferas de jales antiguos y recientes se observan en la figura 46, mostrando resultados entre 22 mg/kg muestras provenientes de jales antiguos, los jales recientes muestran concentraciones que oscilan entre 10 mg/kg.

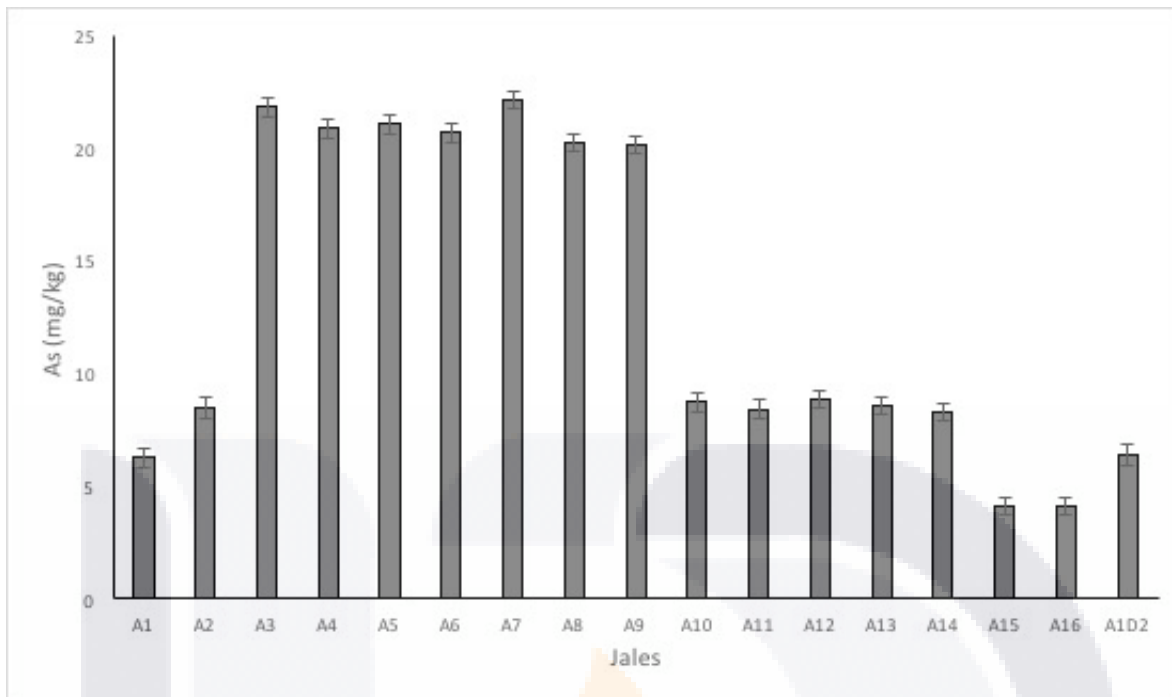


Figura 46. Concentración total de arsénico en rizosferas de jales antiguos y jales recientes

4.7 Análisis comparativo de concentración de metales entre suelos-controles, rizosferas-controles, suelos-rizosferas

Los jales antiguos se subdividieron en 3 zonas, derivado de los resultados de la caracterización fisicoquímica, en particular pH y potencial redox, mostrados en la sección anterior.

4.7.1 Cadmio (Cd)

Se cuantificó la concentración de Cd total, en las muestras obtenidas de los jales antiguos, jales recientes, tanto de muestras de suelo, como muestras de rizosferas, comparándolas con las concentraciones del metal cuantificadas en los sitios control. En la figura 47, se muestra un análisis de varianza (ANOVA), entre los promedios de las concentraciones de Cd, de los controles y de los suelos de los jales antiguos, donde se observa una diferencia significativa ($p = 2.15 \times 10^{-9}$), ambos promedios de los grupos comparados se encuentran por debajo de la concentración marcada

como límite dentro de la normatividad vigente (37 mg/Kg) [NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004], sin embargo hay muestras atípicas del grupo de suelos de jales antiguos, que superan dicha normatividad.

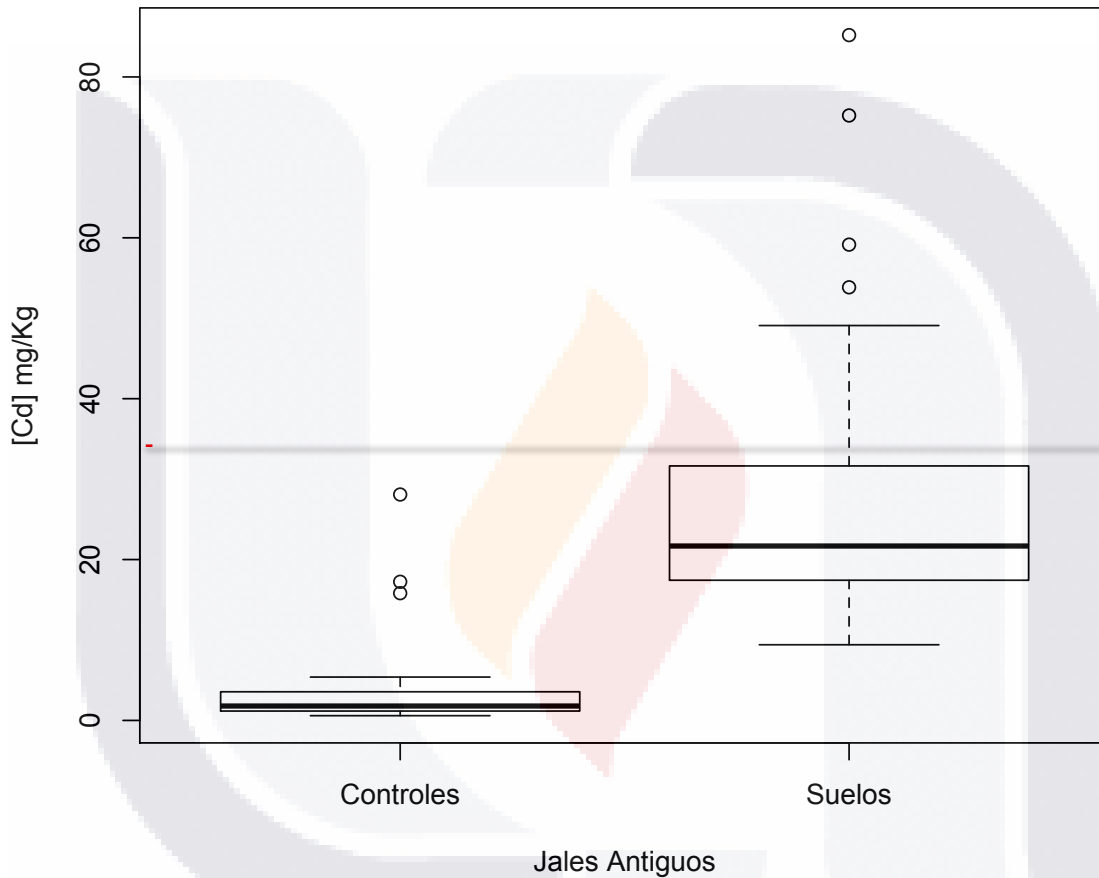


Figura 47. Análisis comparativo de [Cd] entre controles y suelos de jales antiguos (p=2.15 e-9)

La figura 48 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la comparación de los promedios de los grupos control, zona 1, zona 2 y zona 3 de los suelos de jales antiguos, observando una mayor diferencia significativa entre los promedios del grupo control y la zona 1 con un valor de $p = 1 \text{ e-}7$, la diferencia entre los controles y la zona 3, muestran de igual manera diferencias significativas ($p =$

3.6 e-6) y para el análisis comparativo entre controles y zona 2 existe también diferencia significativa aunque en menor proporción ($p = 3.88 \text{ e-}4$). Se observa también que la concentración de Cd de la zona 1 supera el valor límite que establece la normatividad vigente.

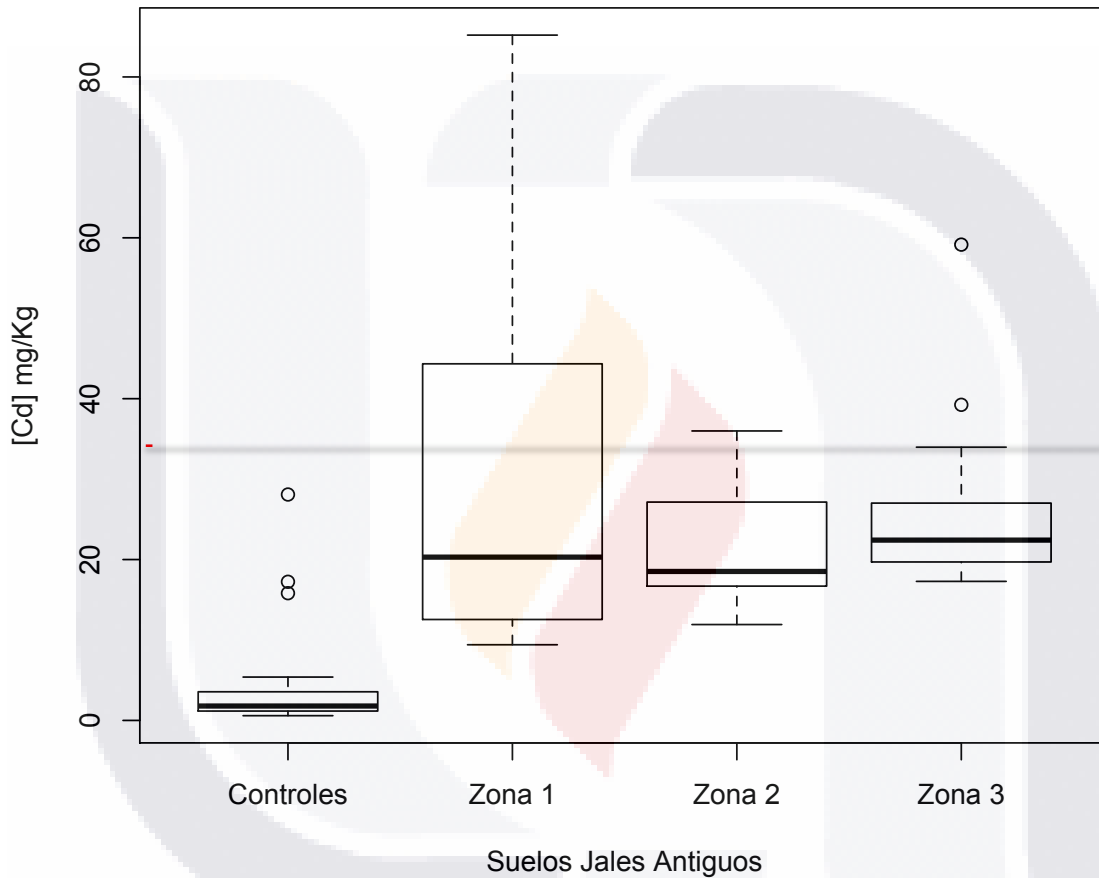


Figura 48. Análisis comparativo de [Cd] entre controles y zona 1,2 y 3 de suelos jales antiguos

En la figura 49 se observa el análisis comparativo entre las concentraciones de Cd de los controles y las rizosferas, mostrando diferencias significativas entre los mismos con un valor de ($p = 1.95 \text{ e-}4$), no superando ninguno de los dos grupos de muestras el valor establecido como límite de la normatividad vigente, solo algunos

puntos atípicos de las muestras de rizosferas, que llegan hasta valores de 108 mg/Kg.

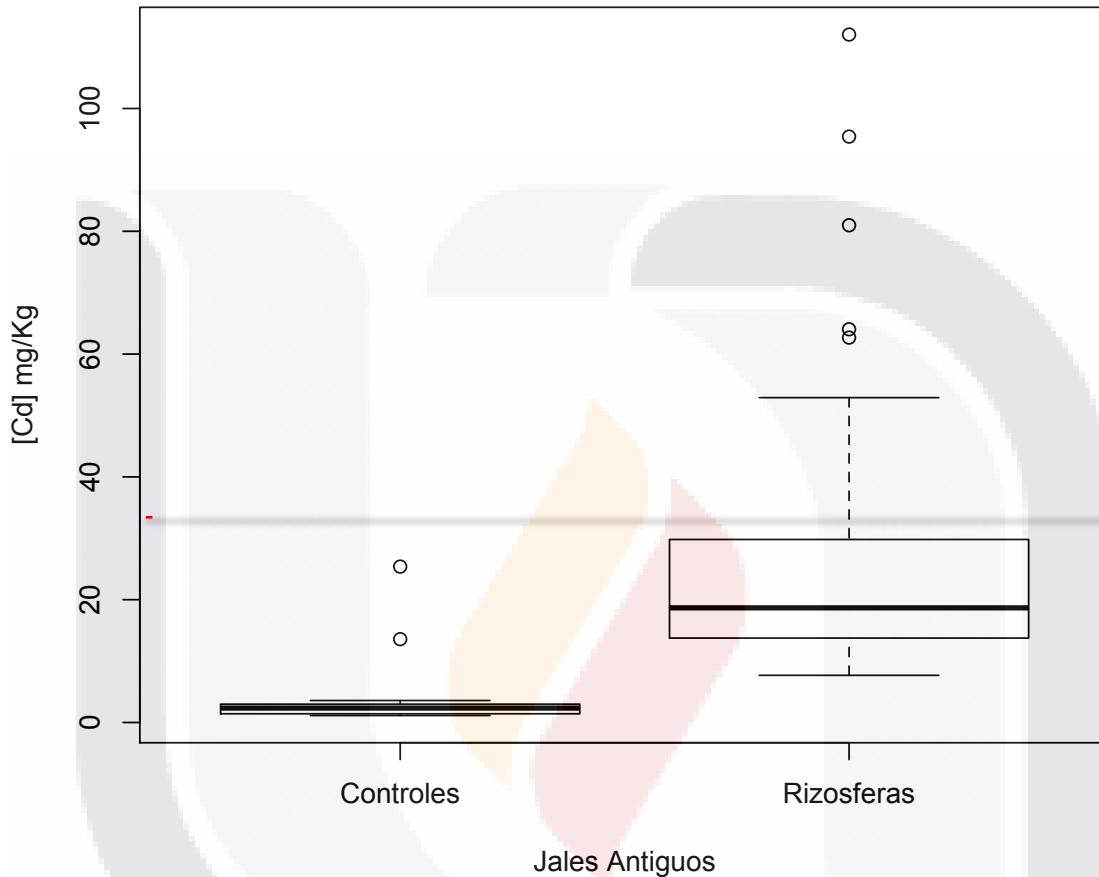


Figura 49. Análisis comparativo de [Cd] entre controles y rizosferas de jales antiguos ($p=1.95 \text{ e-}4$)

Al separar las muestras de las rizosferas por grupos de acuerdo al pH, al igual que para los suelos (zona 1, zona 2, zona3), en la figura 50, se observan las siguientes diferencias significativas: entre controles y zona 1 ($p=1.2 \text{ e-}3$), controles y zona 2 ($p=9.5 \text{ e-}3$) zona 3 y controles ($p=5.48 \text{ e-}3$), también mostrando que algunos de los valores de la zona 3 superan el límite de Cd permitido por la normatividad vigente, encontrándose en la zona 1, el mayor numero de resultados atípicos.

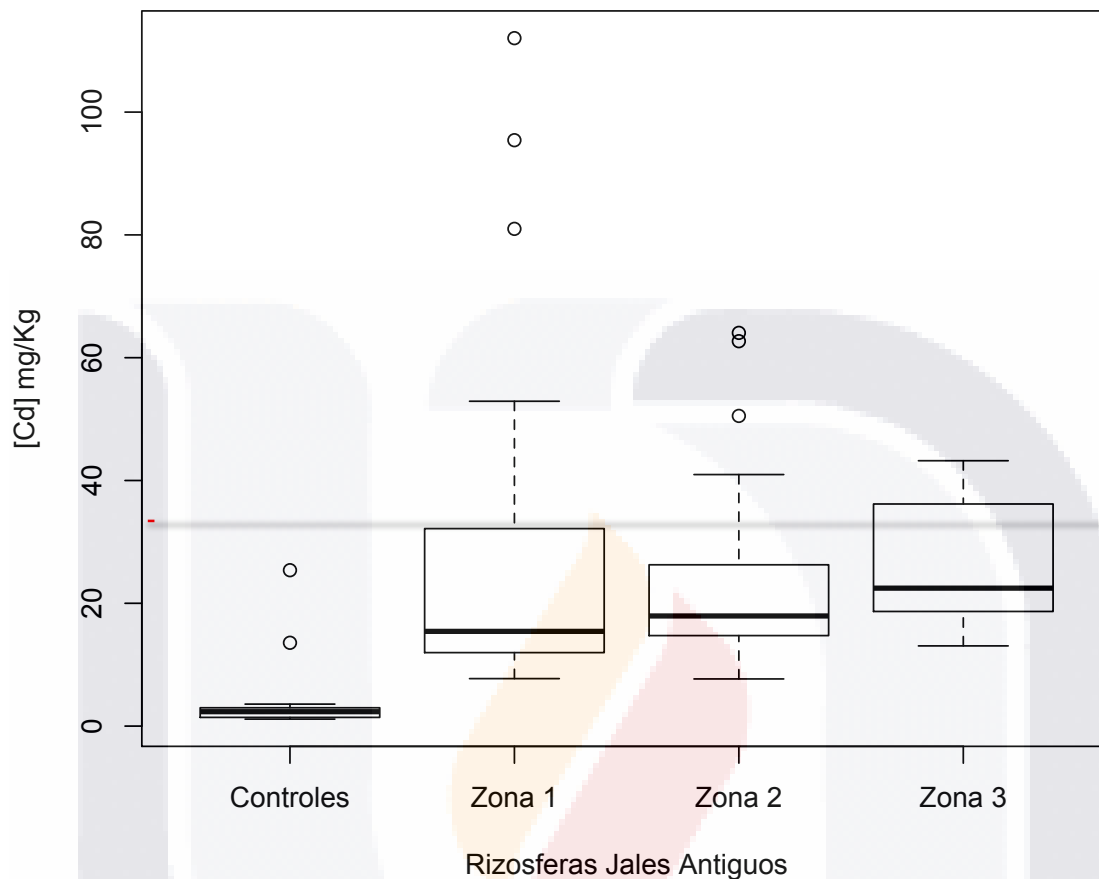


Figura 50. Análisis comparativo de [Cd] entre controles y zona 1,2 y 3 de rizosferas jales antiguos

En la figura 51 se observa el análisis comparativo de la concentración de Cd entre las rizosferas y suelos por zonas, resultando que no hay diferencias significativas estadísticamente entre los suelos y rizosferas de cada zona, así como tampoco se observan diferencias significativas entre los suelos y rizosferas de todas las zonas.

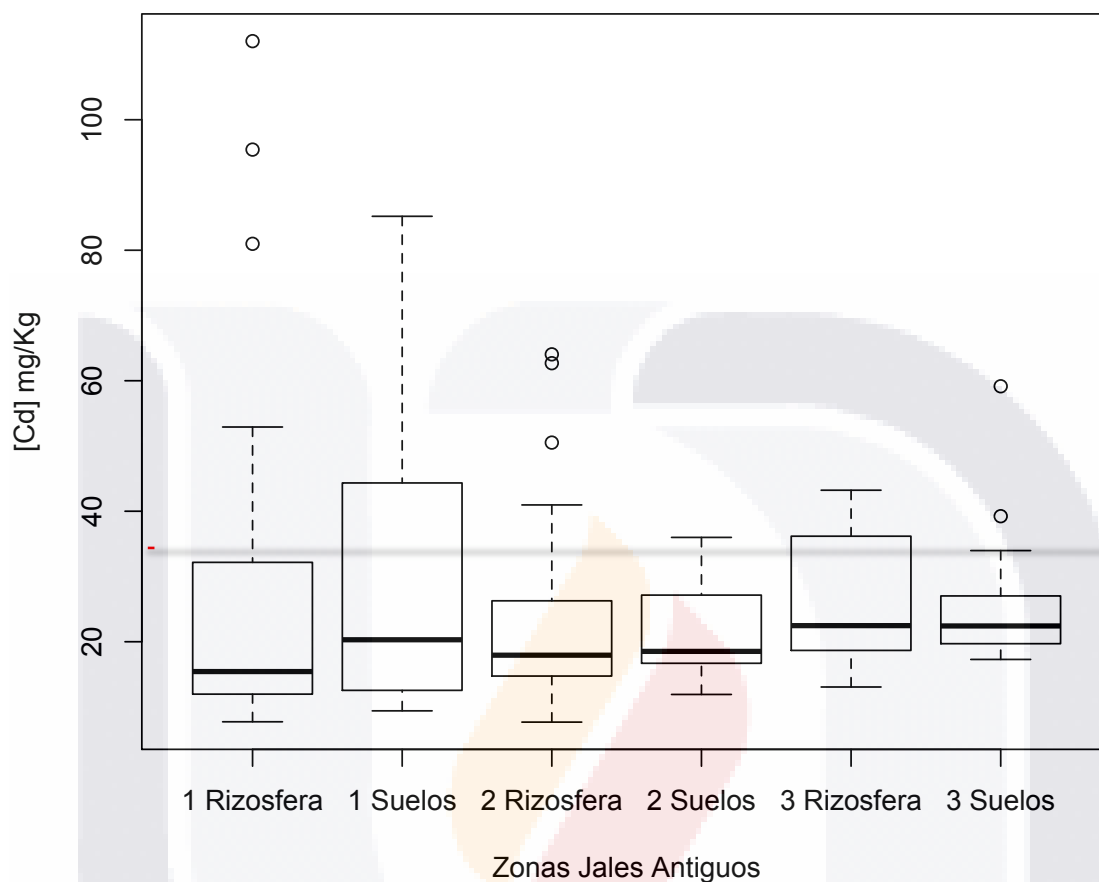


Figura 51. Análisis comparativo de [Cd] entre las zonas de los suelos y rizosferas de jales antiguos

4.7.2 Cromo (Cr)

Se cuantificó la concentración de Cr total, en las muestras obtenidas de los jales antiguos, jales recientes, tanto de muestras de suelo, como muestras de rizosferas, comparándolas con las concentraciones del metal cuantificadas en los sitios control.

La figura 52 muestra los resultados del análisis comparativo de las concentraciones encontradas en las muestras control y los suelos de los jales recientes, observándose que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de las concentraciones ($p = 0.062$), ambos grupos de muestras no

superan los límites establecidos por la normatividad vigente mexicana de concentración de Cr en suelo (280 mg/Kg).

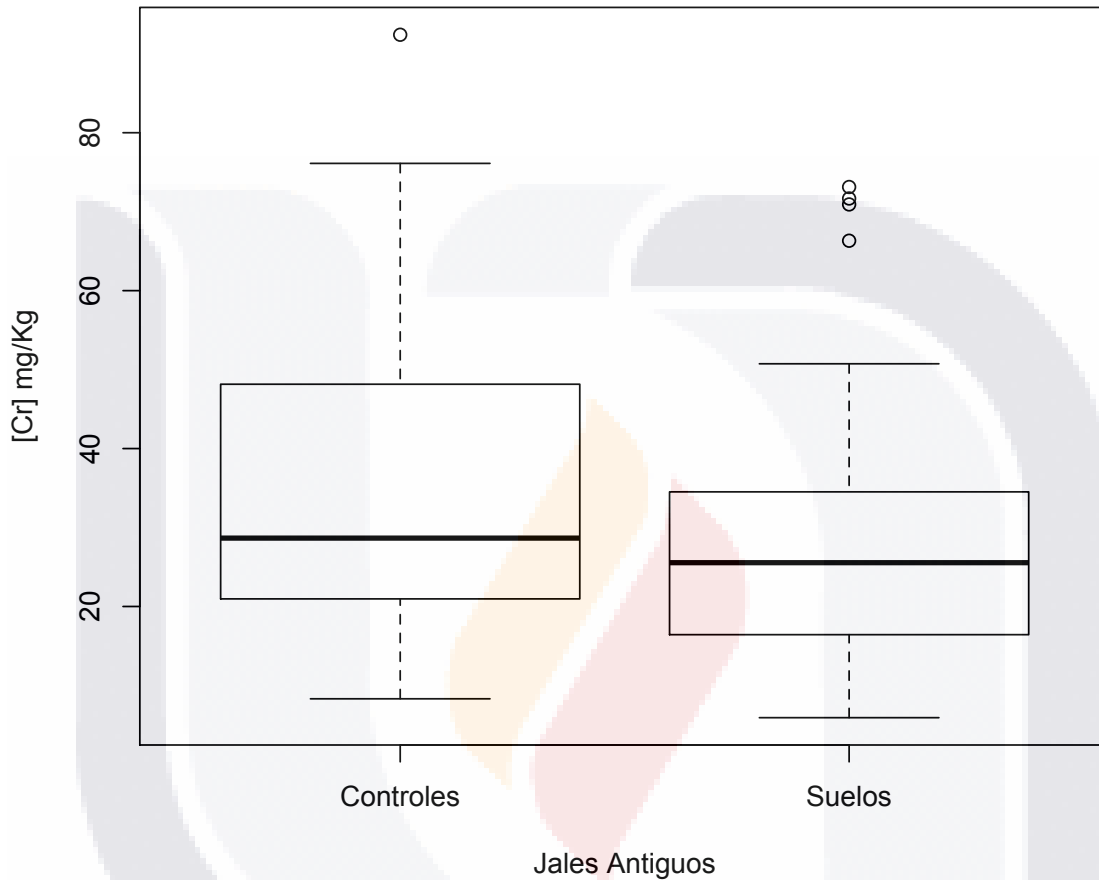


Figura 52. Análisis comparativo de [Cr] entre controles y suelos de jales antiguos (p=0.062)

La figura 53 muestra resultados del análisis comparativo de las concentraciones de Cr entre los controles y los suelos divididos por zonas, observando que los controles superan en concentración a los suelos de la zona 1, con una diferencia significativa estadísticamente ($p = 9.15 \times 10^{-5}$), de igual manera la diferencia entre los controles y la zona 2, es significativa estadísticamente ($p = 0.044$), no siendo así para los controles y la zona 3, sin embargo los promedios de las concentraciones de Cr entre la zona 3 y la zona 1, tienen una diferencia significativa estadísticamente ($p = 1.4 \times 10^{-6}$).

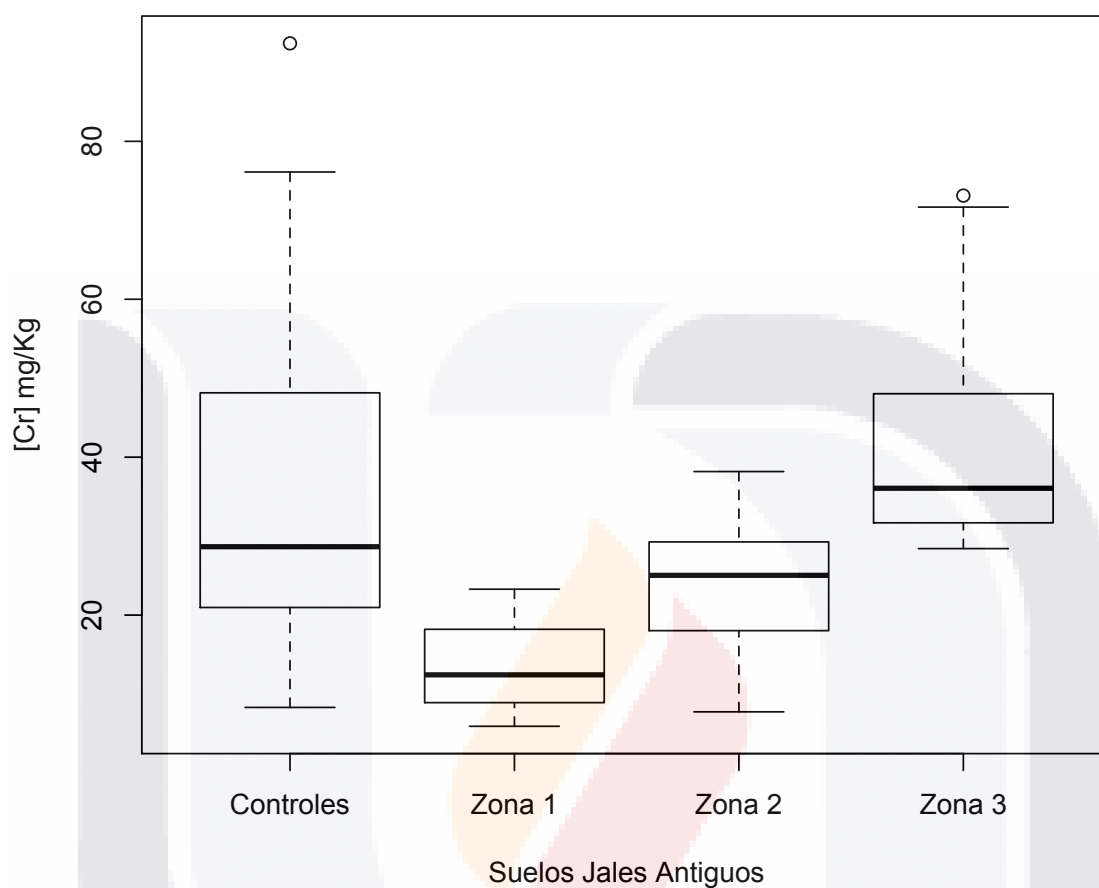


Figura 53. Análisis comparativo de [Cr] entre controles y zona 1,2 y3 de suelos jales antiguos

En la figura 54 se observa el análisis comparativo entre las concentraciones de Cr de los suelos control y las rizosferas provenientes de los jales antiguos, mostrando que hay mas Cr en los controles que en las rizosferas, con una diferencia ligeramente significativa estadísticamente.

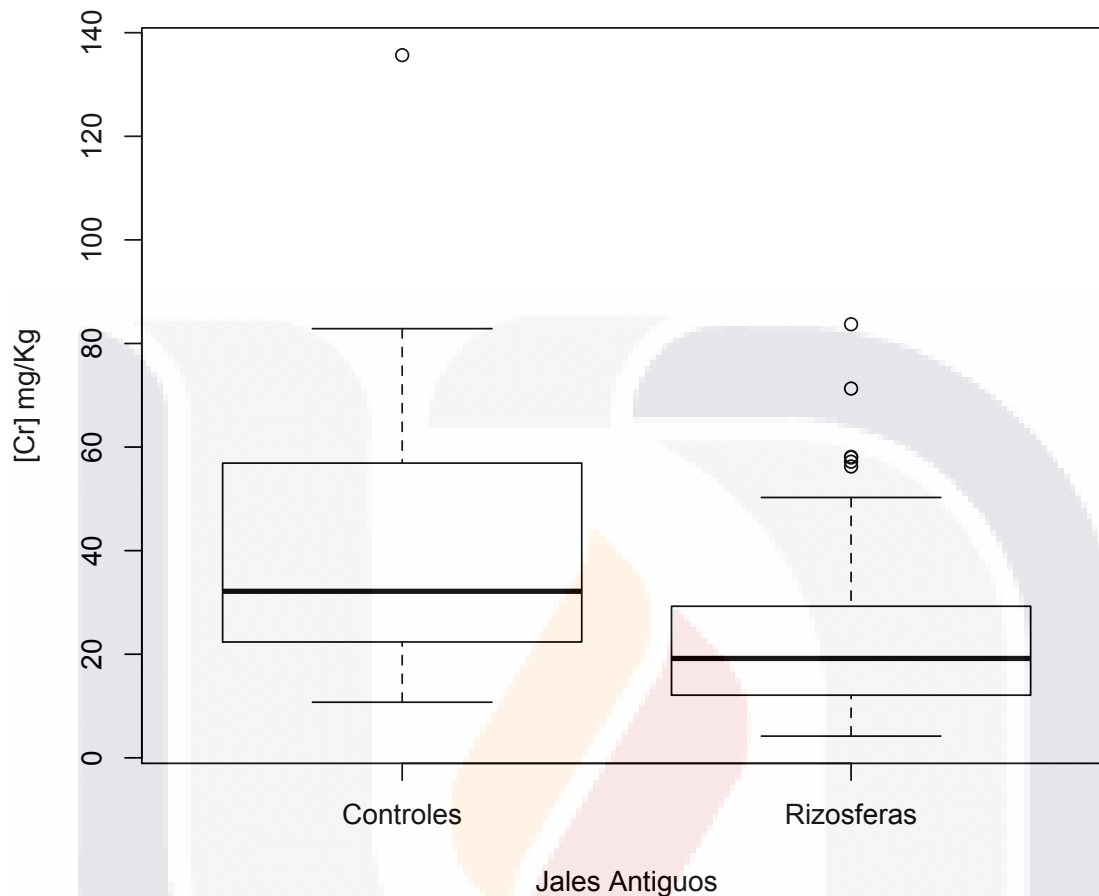


Figura 54. Análisis comparativo de [Cr] entre controles y rizosferas de jales antiguos ($p=2.17 \text{ e-}4$)

La figura 55 muestra resultados comparativos entre la concentración de Cr de los suelos control y las rizosferas de jales antiguas, separándolas por zonas, de acuerdo el pH, mostrando que la zona 1 tiene concentraciones significativamente más bajas que los controles, la zona dos con diferencias también significativas, a la baja las rizosferas que los controles y la zona 3, muestra concentraciones estadísticamente iguales que los controles. Diferencias significativas entre controles y zona 1 ($p=5 \text{ e-}7$), controles y zona 2 ($p=1.44 \text{ e-}4$) zona 3 y zona 1 ($p=1 \text{ e-}7$), zona 3 y zona 2 ($p=1.43 \text{ e-}4$)

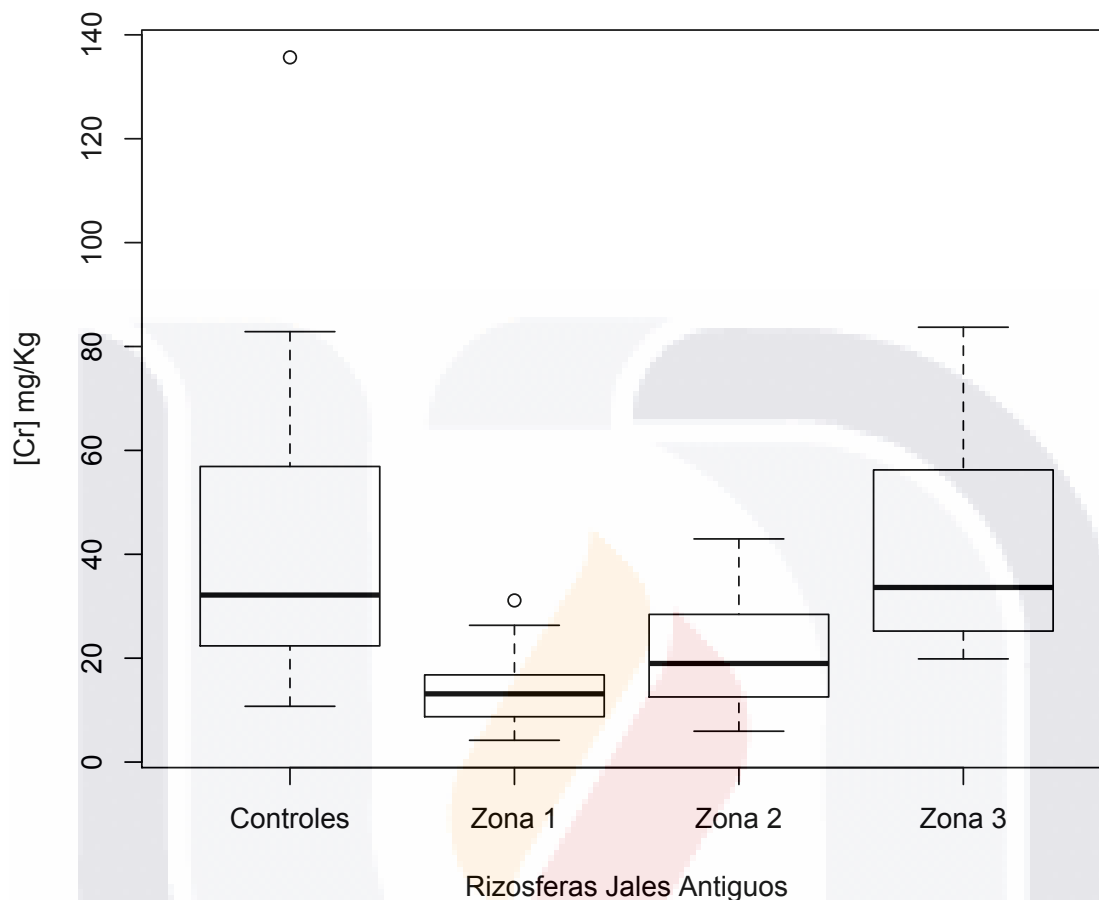


Figura 55. Análisis comparativo de [Cr] entre controles y zona 1,2 y 3 de rizosferas jales antiguos

Se realizó un análisis de las diferencias de concentración de Cr entre los jales antiguos y las rizosferas provenientes de los jales antiguos, mostrándose en la figura 56, donde se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, mostrándose en la zona 2 y 3, ligeramente mas baja la concentración de Cr en las rizosferas.

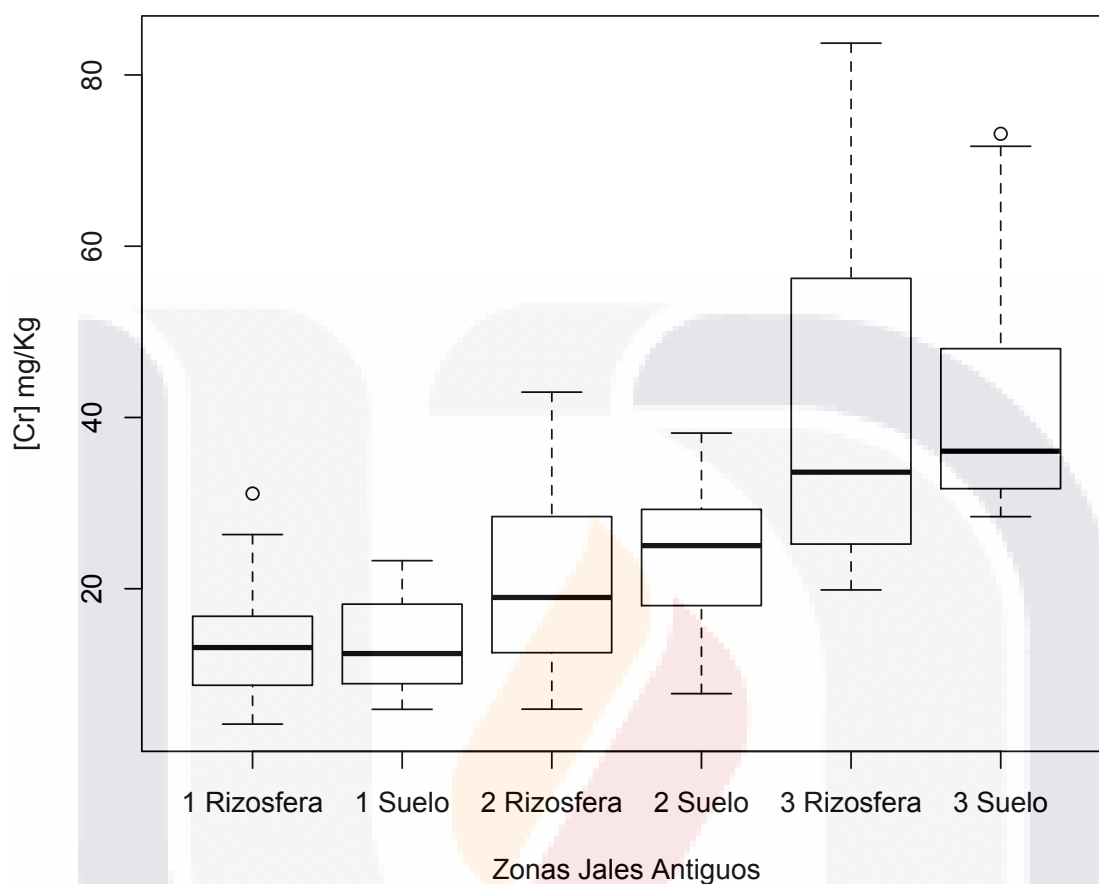


Figura 56. Análisis comparativo de [Cr] entre suelos y rizosferas de los jales antiguos

4.7.3 Cobre (Cu)

Se cuantificó la concentración de Cu total, en las muestras obtenidas de los jales antiguos, jales recientes, tanto de muestras de suelo, como muestras de rizosferas, comparándolas con las concentraciones del metal cuantificadas en los sitios control.

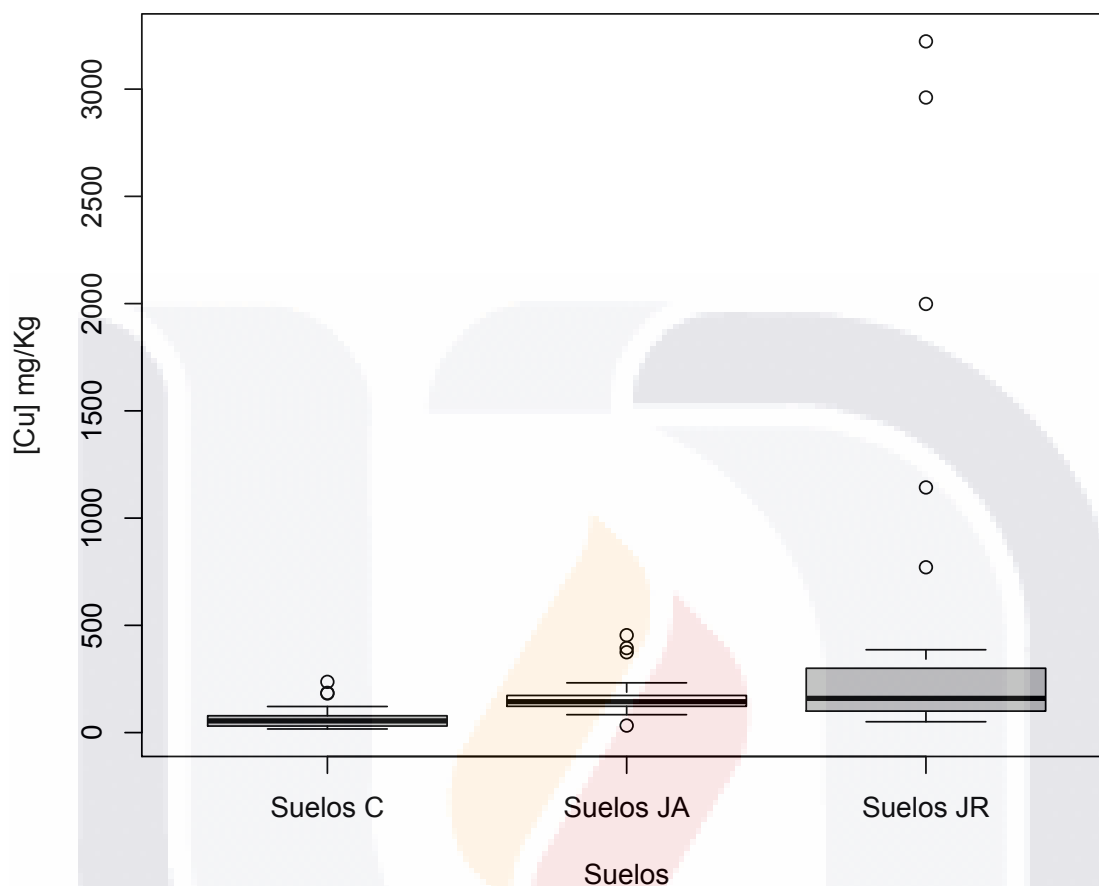


Figura 57. Comparación de concentración de cobre entre jales antiguos, jales recientes y suelos control

4.7.4 Fierro (Fe)

Se cuantificó la concentración de Fe total, en las muestras obtenidas de los jales antiguos, jales recientes, tanto de muestras de suelo, como muestras de rizosferas, comparándolas con las concentraciones del metal cuantificadas en los sitios control.

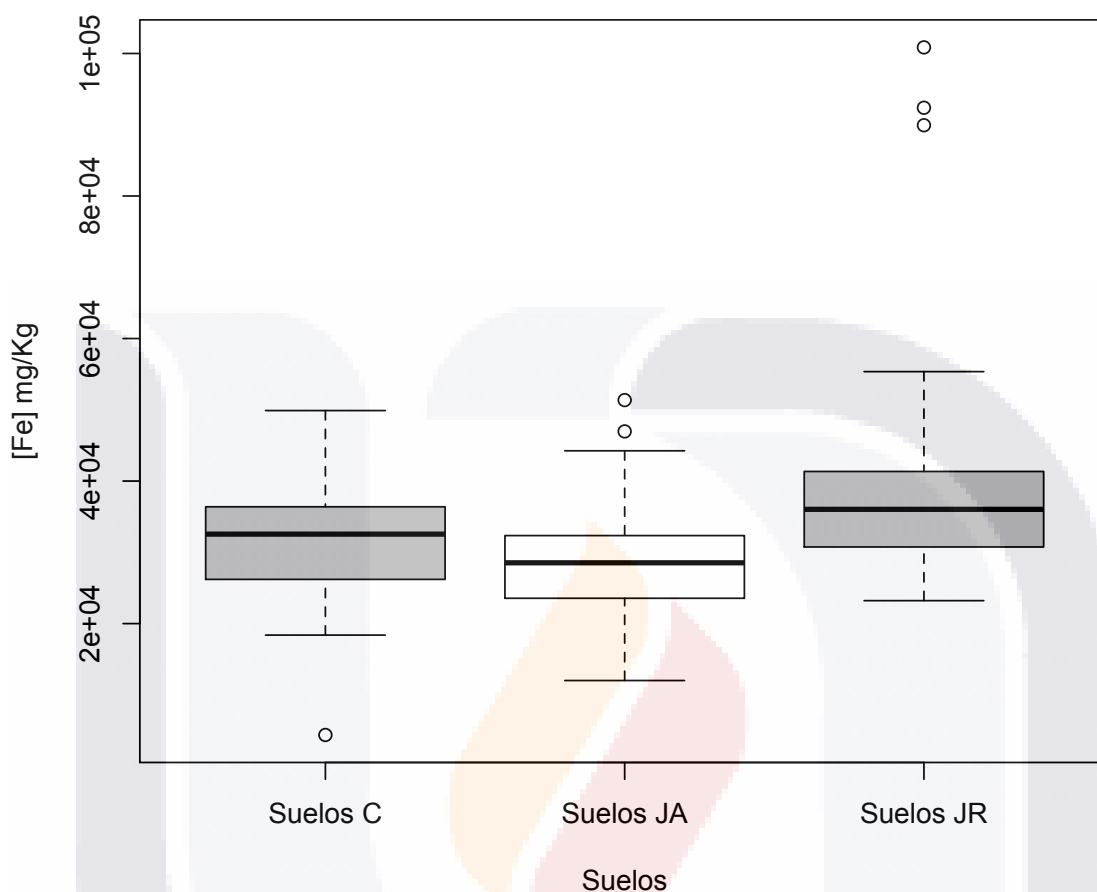


Figura 58. Comparación de concentración de fierro entre jales antiguos, jales recientes y suelos control

4.7.5 Manganeso (Mn)

Se cuantificó la concentración de Mn total, en las muestras obtenidas de los jales antiguos, jales recientes, tanto de muestras de suelo, como muestras de rizosferas, comparándolas con las concentraciones del metal cuantificadas en los sitios control.

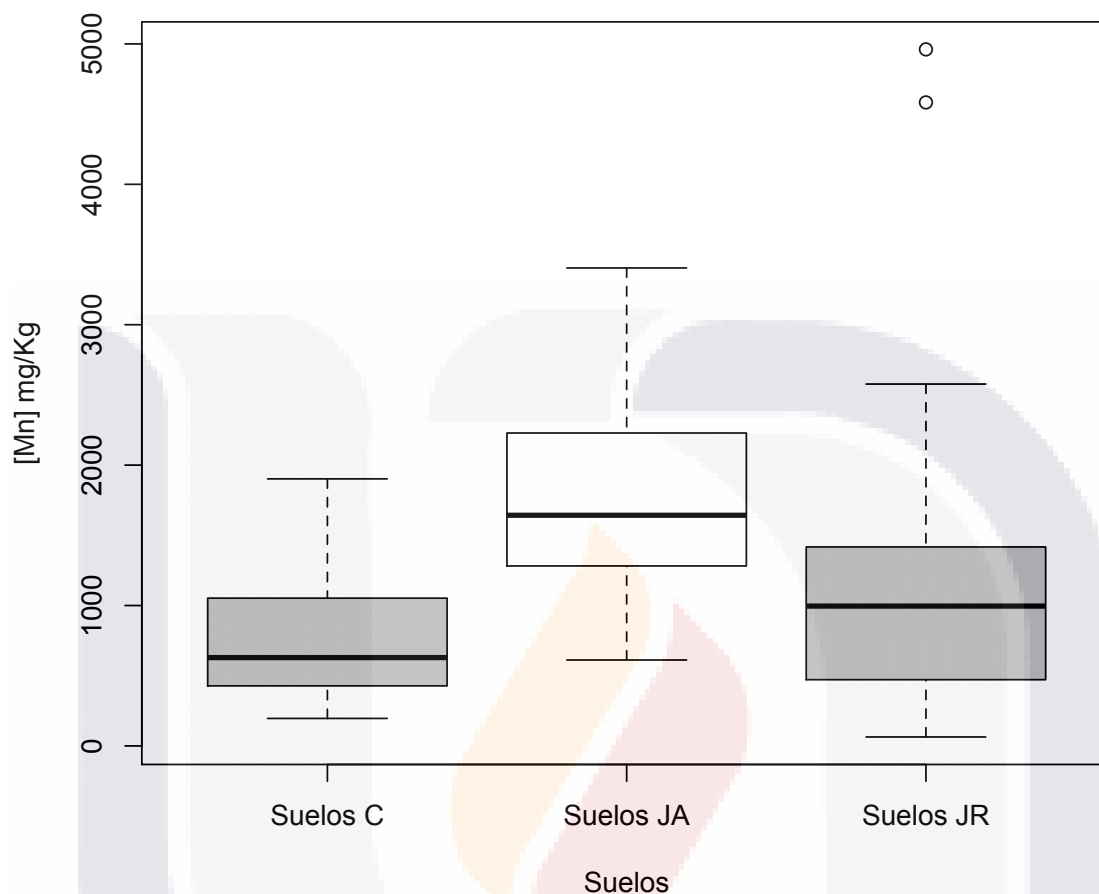


Figura 59. Comparación de concentración de manganeso entre jales antiguos, jales recientes y suelos control

4.7.6 Níquel (Ni)

Se cuantificó la concentración de Ni total, en las muestras obtenidas de los jales antiguos, jales recientes, tanto de muestras de suelo, como muestras de rizosferas, comparándolas con las concentraciones del metal cuantificadas en los sitios control.

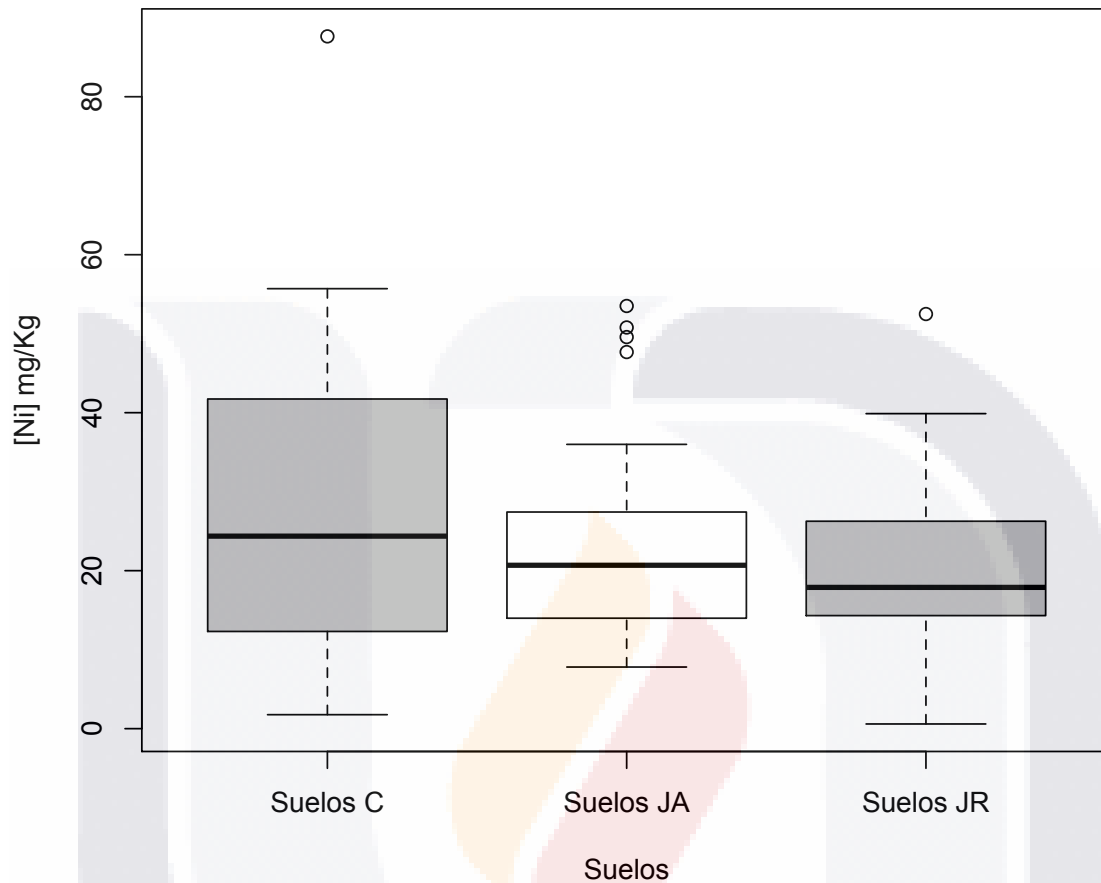


Figura 60. Comparación de concentración de níquel entre jales antiguos, jales recientes y suelos control

4.7.7 Plomo (Pb)

Se cuantificó la concentración de Pb total, en las muestras obtenidas de los jales antiguos, jales recientes, tanto de muestras de suelo, como muestras de rizosferas, comparándolas con las concentraciones del metal cuantificadas en los sitios control.

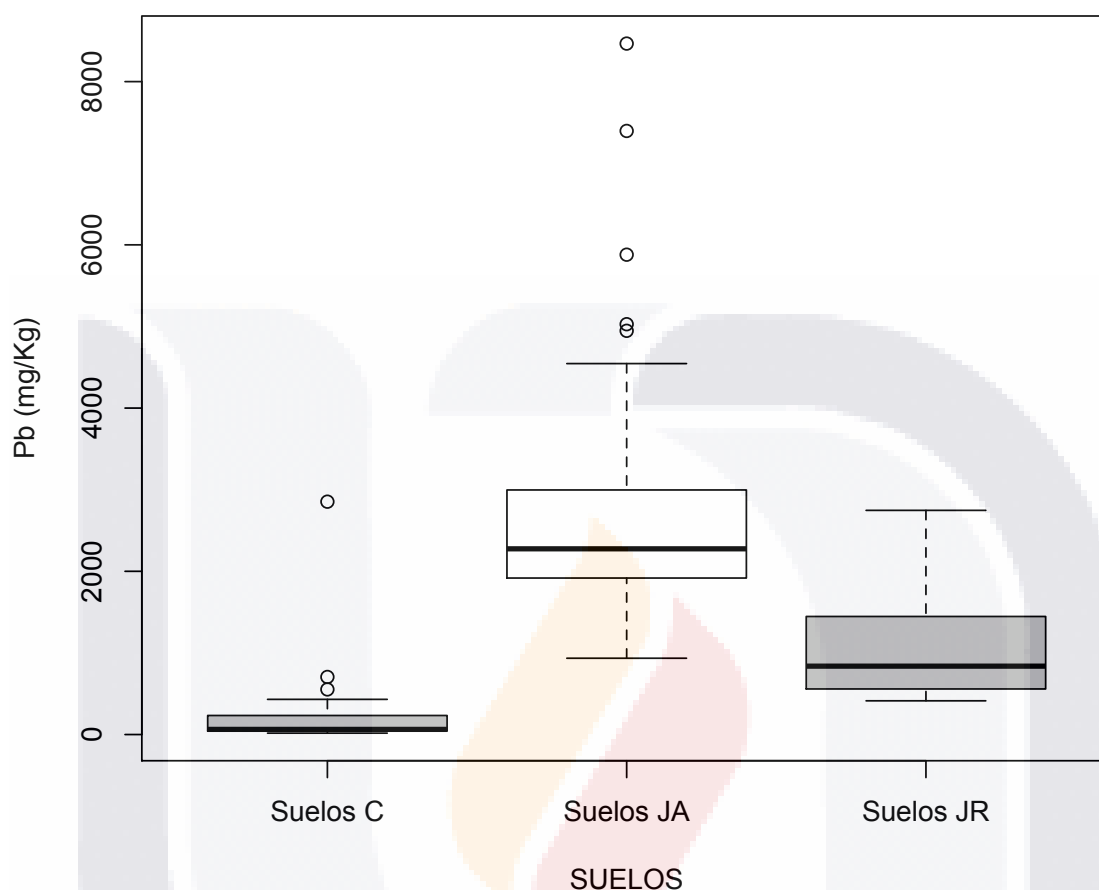


Figura 61. Comparación de concentración de plomo entre jales antiguos, jales recientes y suelos control

4.7.8 Zinc (Zn)

Se cuantificó la concentración de Zn total, en las muestras obtenidas de los jales antiguos, jales recientes, tanto de muestras de suelo, como muestras de rizosferas, comparándolas con las concentraciones del metal cuantificadas en los sitios control.

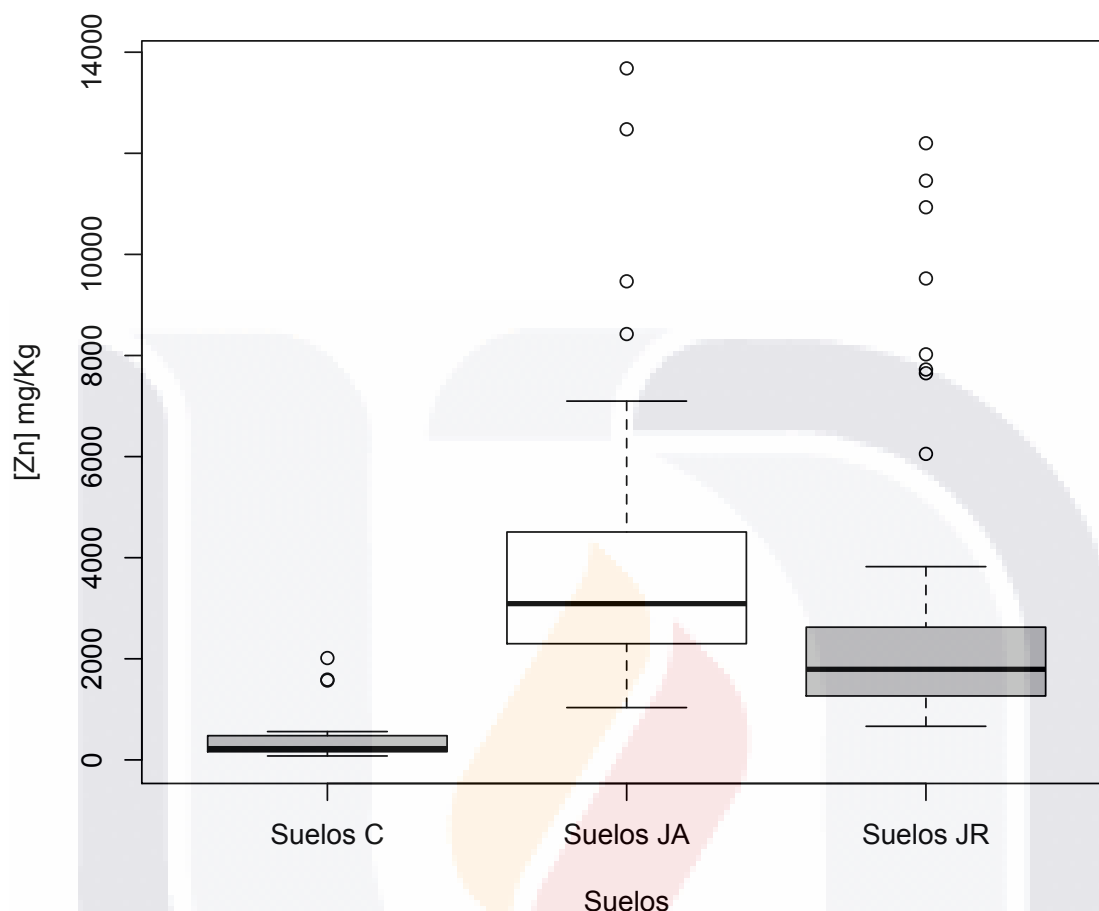


Figura 62. Comparación de concentración de Zinc entre Jales Antiguos, Jales Recientes y Suelos Control

4.8 Extracción Secuencial

Los resultados muestran las concentraciones de las 5 fases: 1) Intercambiable, 2) Unida a Carbonatos, 3) Unida a óxidos de fierro y manganeso, 4) Unida a materia orgánica y 5) Residual.

La figura 63, muestra los resultados de la extracción secuencial realizada a muestras provenientes de los jales antiguos, donde se observa que el plomo en el suelo control se mantiene con la fase residual, sin embargo, en los jales, el plomo

predomina en la fase de óxidos de hierro y manganeso, así como en la materia orgánica, mostrando muy poca concentración de plomo en la fase intercambiable.

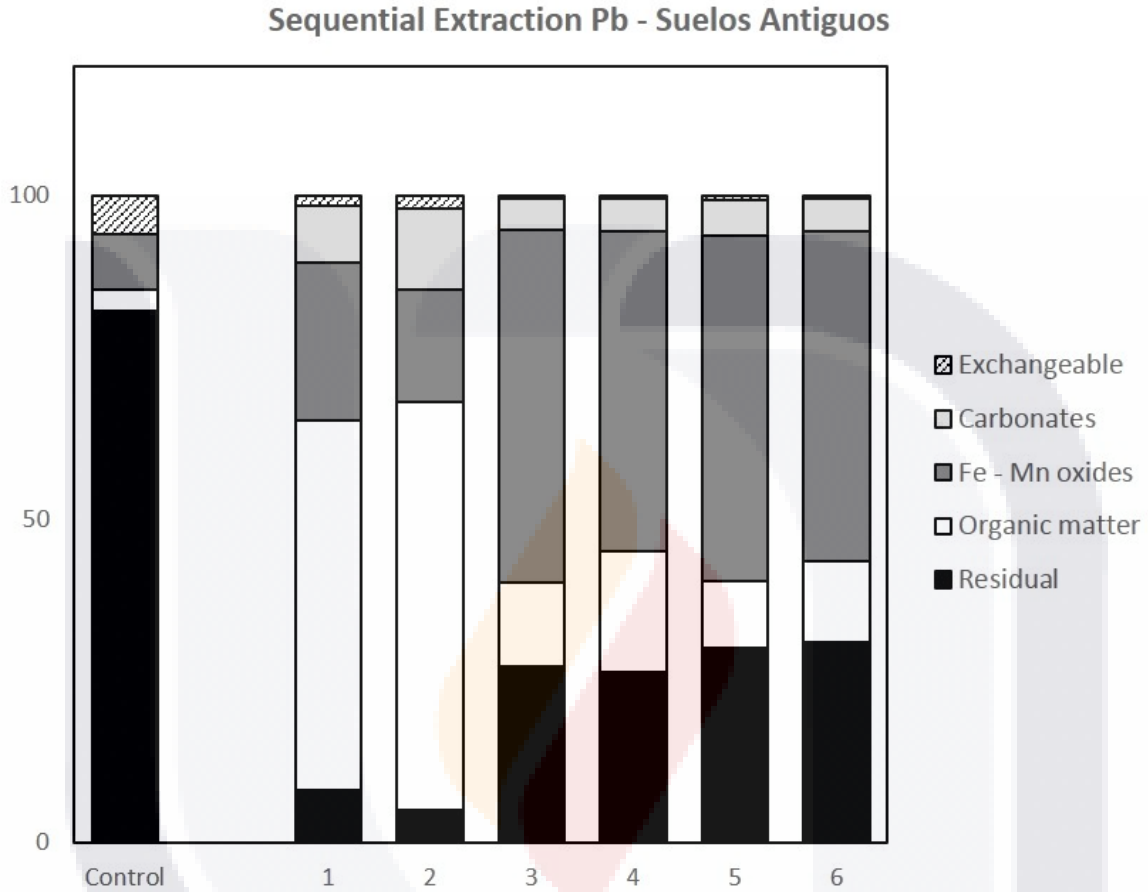


Figura 63. Extracción secuencial de plomo en Jales antiguos

En el caso de la extracción secuencial de hierro en jales antiguos (figura 64), más del 80% del metal permanece en la fase residual, aproximadamente un 8% en la fase anclada a carbonatos, comportamiento muy similar a las muestras control.

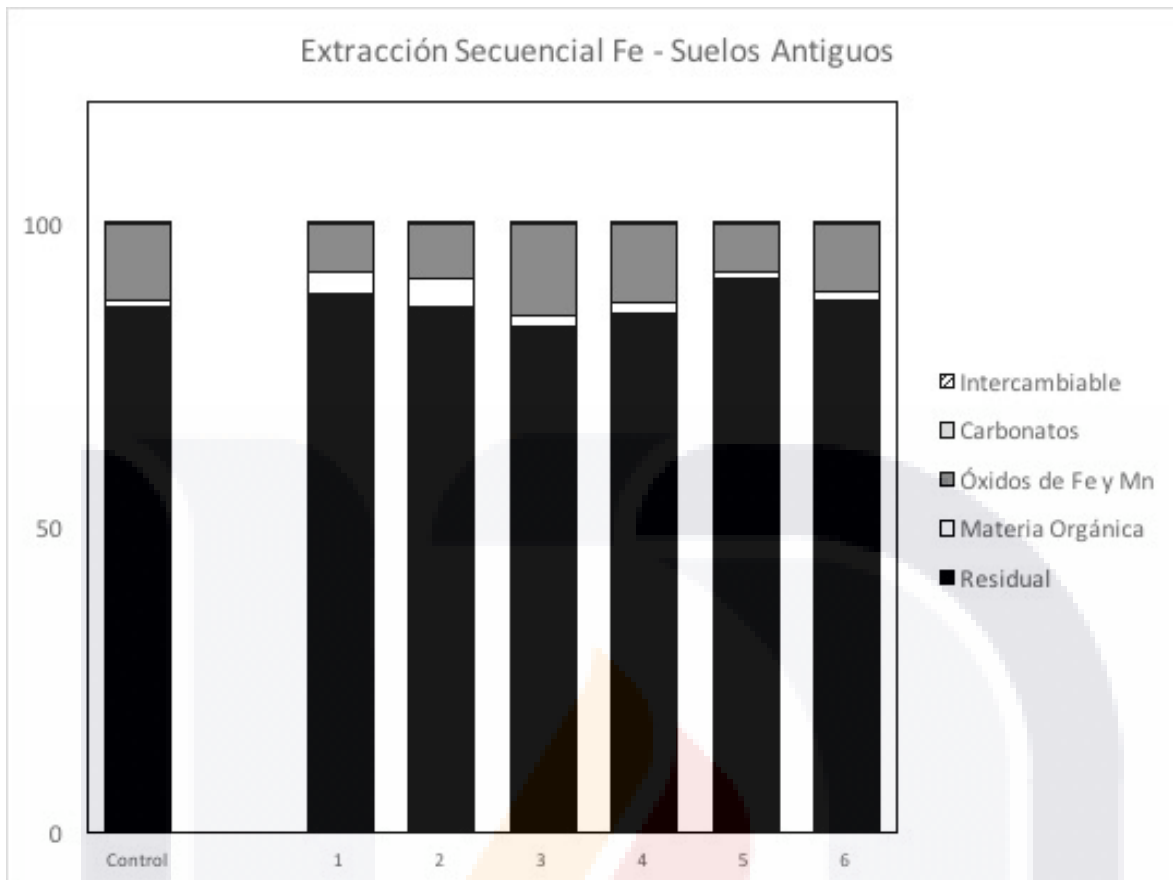


Figura 64. Extracción secuencial de Fe en jales antiguos

En los jales recientes, la extracción secuencial de hierro (figura 65) muestra resultados donde el hierro predomina en la fase residual con valores que oscilan entre 55 a 65%, seguido de el hierro anclado en la fase unida a carbonatos con valores de 20 a 30%, con una proporción pequeña de alrededor al 4% de hierro unido a materia orgánica.

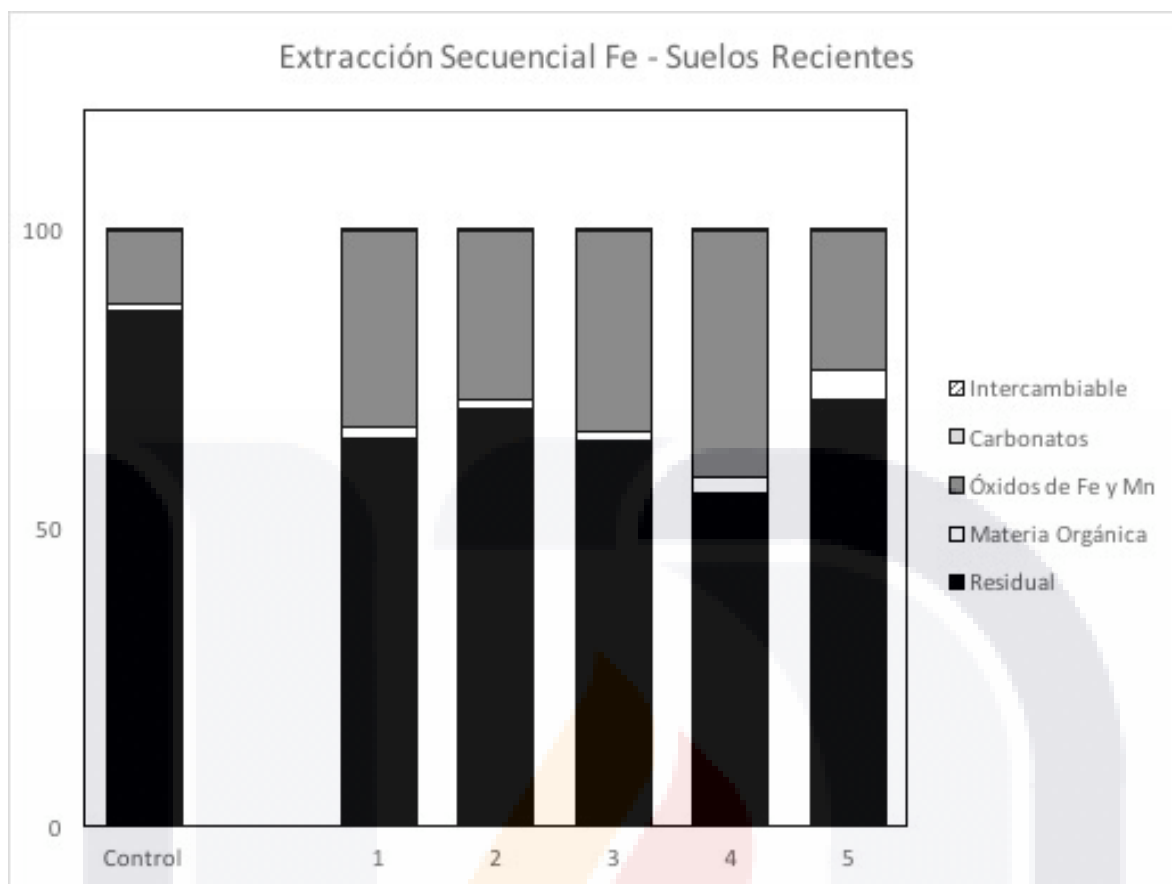


Figura 65. Extracción secuencial de Fe en jales recientes

Para el caso de la extracción secuencial de plomo en jales recientes, la concentración mayor se encuentra en la fase unida a óxidos de hierro y manganeso, se observa que a diferencia de los otros jales en estos hay una cantidad importante de plomo en la fase intercambiable, lo cual muestra una elevada movilidad del metal.

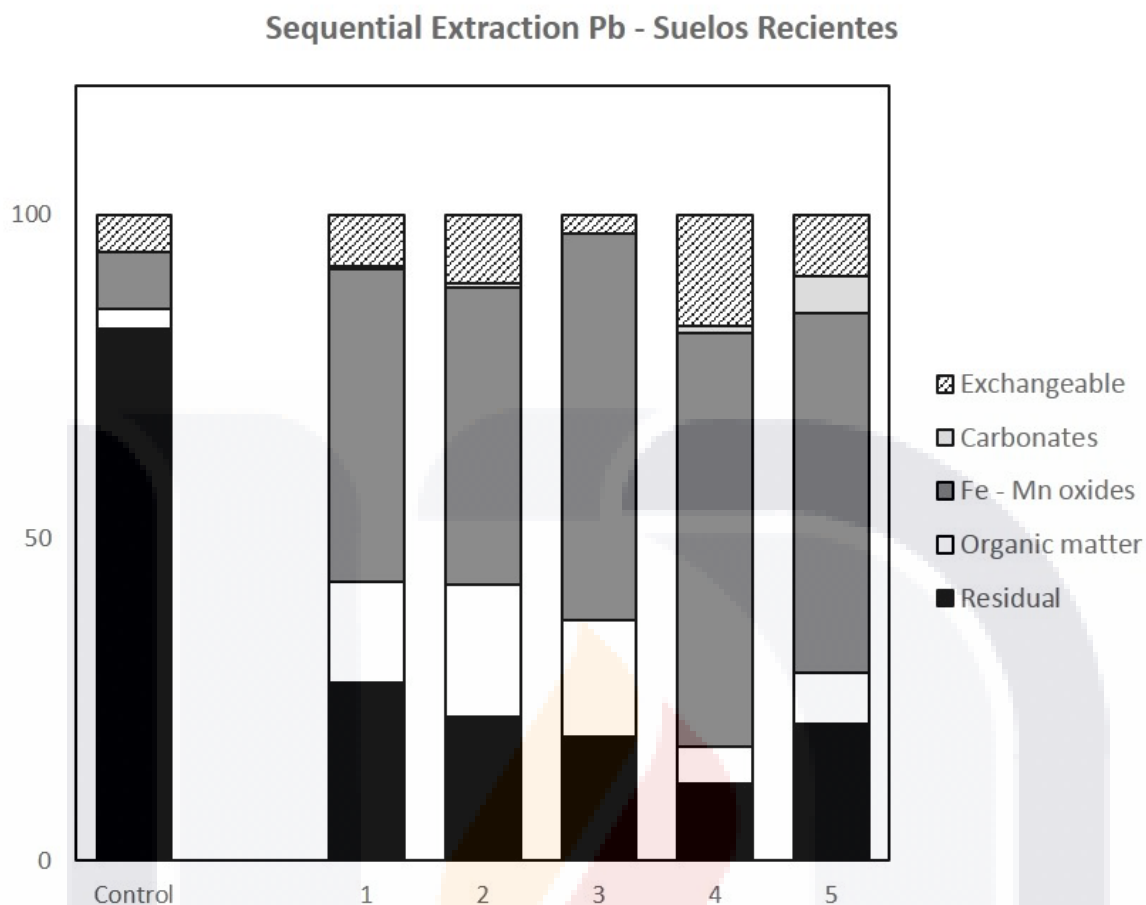


Figura 66. Extracción secuencial de Pb en jales recientes

4.9 Factor de movilidad

El factor de movilidad, se calcula a partir de la cantidad de metal que se encuentra en las fases menos difíciles de liberar a los metales, tales como, la fase intercambiable y la fase unidad a carbonatos, por lo tanto muestra la cantidad de metal que pudiera estar mas disponible o móvil, por lo que el metal se encontrará mayormente biodisponible.

El factor de movilidad de plomo en jales antiguos se muestra en la figura 67, observando como máximo un 1.1% de movilidad de plomo en una de las muestras, siendo el mínimo un valor de 0.1% de factor de movilidad.

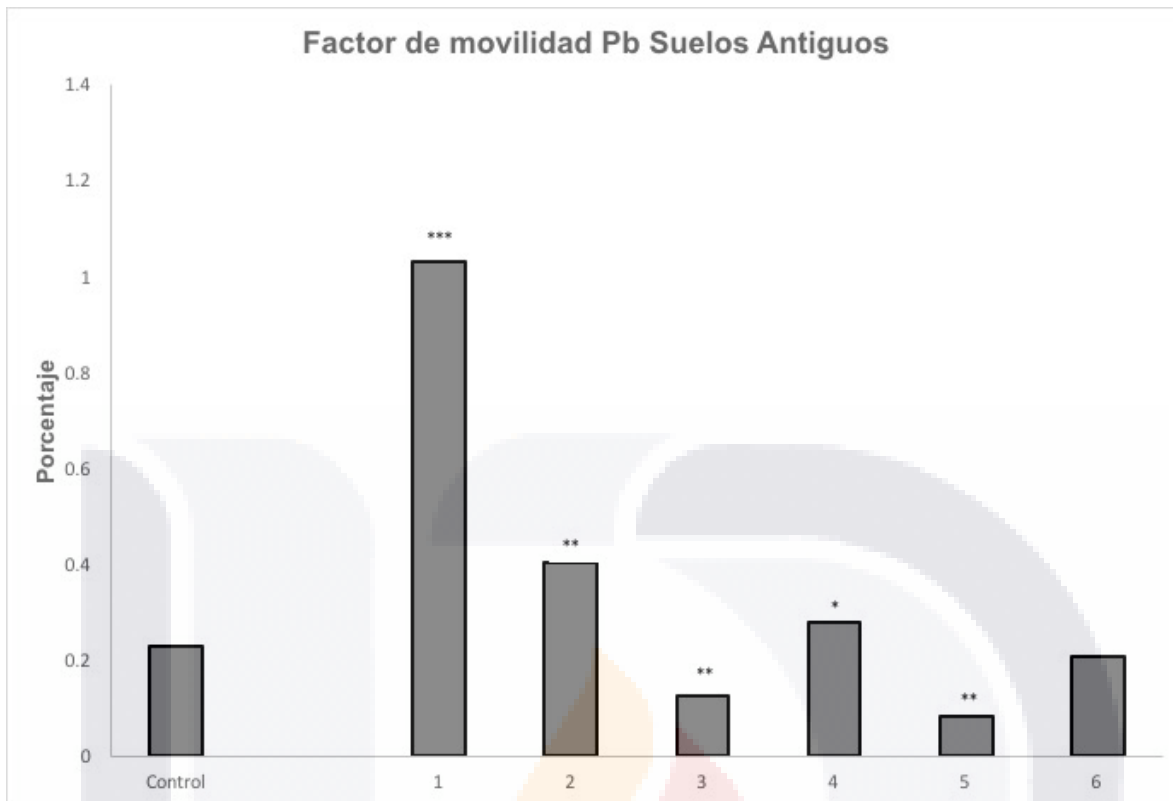


Figura 67. Factor de movilidad del Pb en jales antiguos

La figura 68, muestra los resultados del factor de movilidad de plomo en los jales recientes, que a diferencia de los jales antiguos, aquí el factor de movilidad de plomo oscila entre el 1.3 al 1.2 por ciento en 3 de las 5 muestras seleccionadas, las otras dos mostraron valores de 0.2% de factor de movilidad. Mostrando diferencias estadísticamente significativas, al compararlas con los suelos control, los cuales muestran un factor de movilidad para el plomo de 0.2.

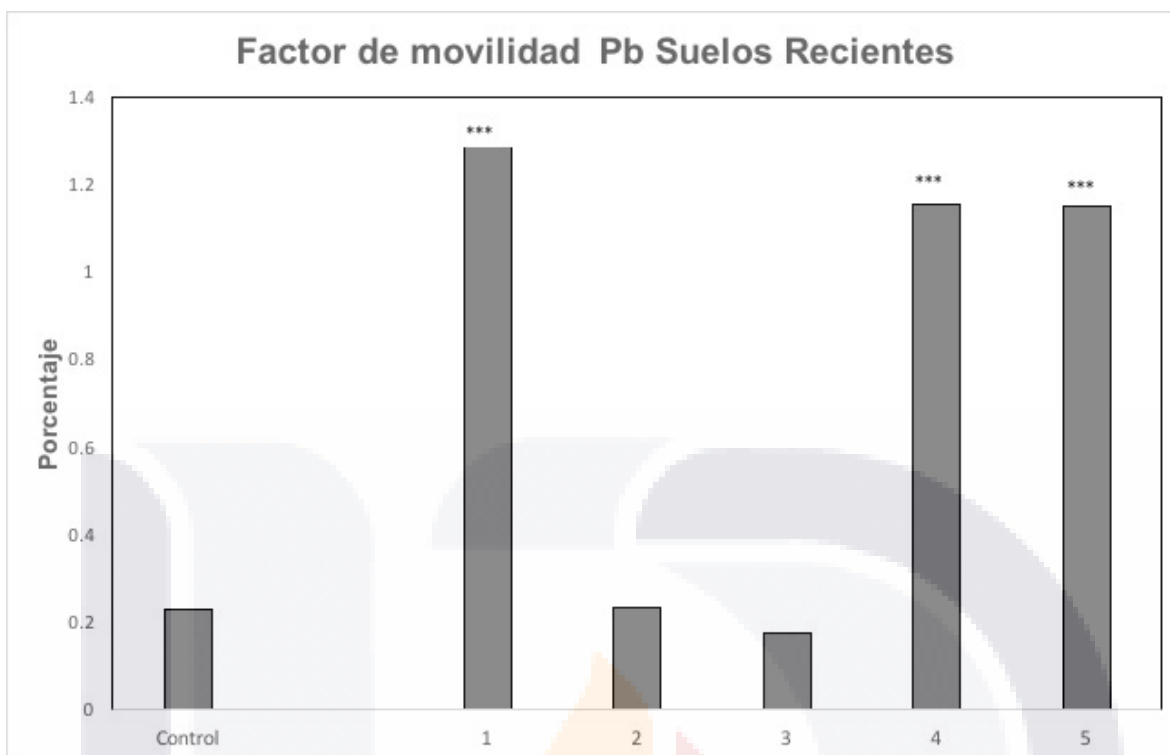


Figura 68. Factor de movilidad de Pb en jales recientes

Para el caso de la extracción secuencial de fierro en los jales antiguos, la figura 69 muestra que el factor de movilidad es menor que en el control, con valores por debajo de 0.2%, para todas las muestras analizadas, observando diferencias significativas con el control. Sucediendo lo mismo en los jales recientes, donde el factor de movilidad para fierro está por debajo del control con valores por debajo de 0.3% (figura 70).

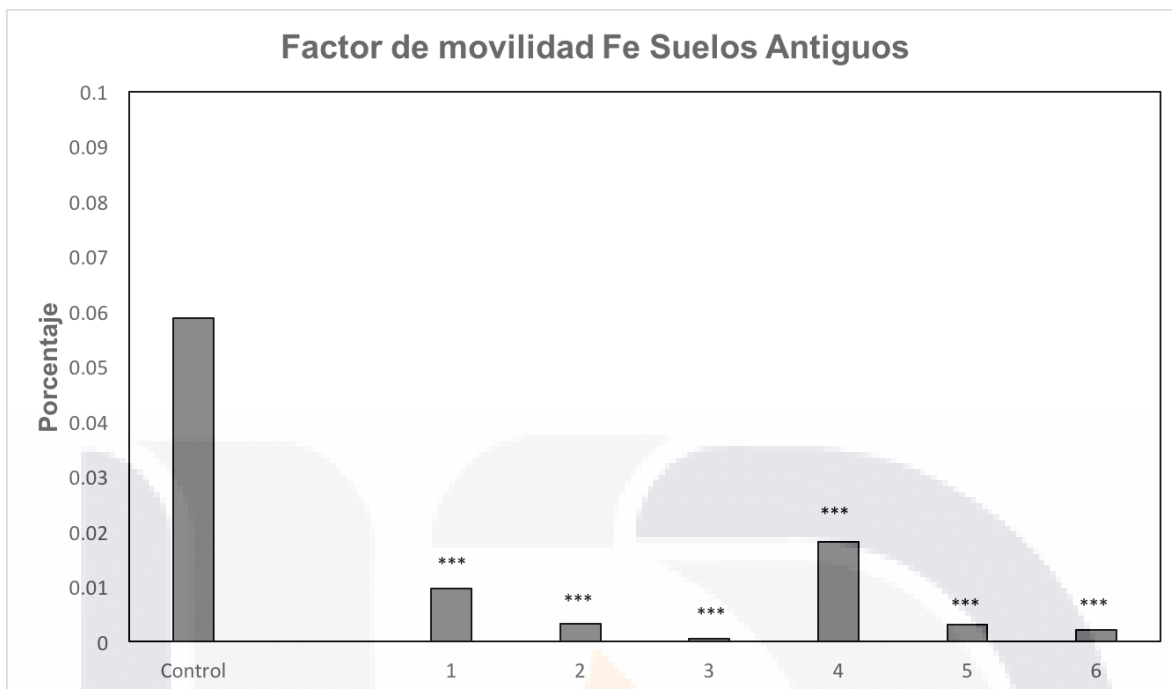


Figura 69. Factor de movilidad de Fe en jales antiguos

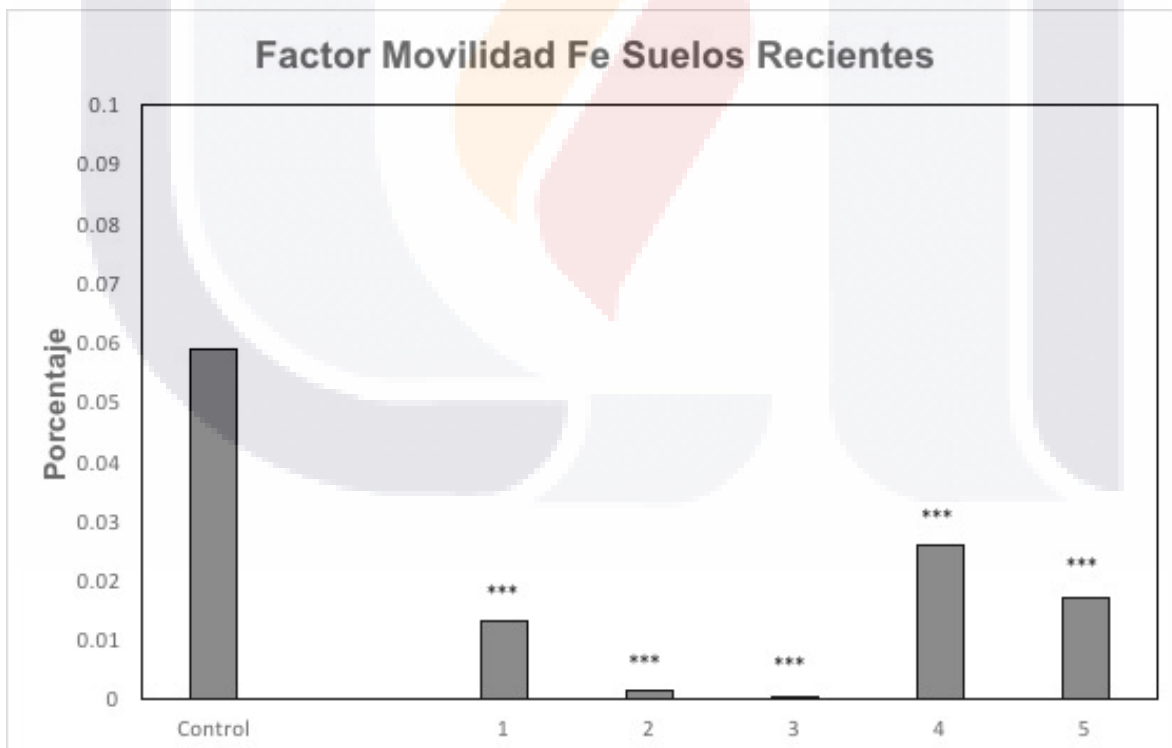


Figura 70. Factor de movilidad de Fe en jales recientes

4.10 Cuantificación de metales en las diversas secciones de las plantas

Los resultados de la cuantificación de metales, se muestran por plantas seccionadas en raíz, tallo, hojas, y flor o fruto en caso de existir, mostrando dos tipos de plantas aquellas que bioacumulan los metales y aquellas que por alguna razón ahora son resistentes y no bioacumulan elevadas cantidades de metales en su biomasa.

4.10.1 *Asclepias linaria*

La figura 71 muestra los resultados de la cuantificación de Pb, Cu, Zn, Fe, Mn y Cd en hoja, tallo y raíz de la planta *Asclepias linaria*, el metal que más se acumuló en la hoja, fue el manganeso, en el tallo fue el hierro, al igual que en la raíz. El metal menormente acumulado en la biomasa de esta planta fue el cobre.

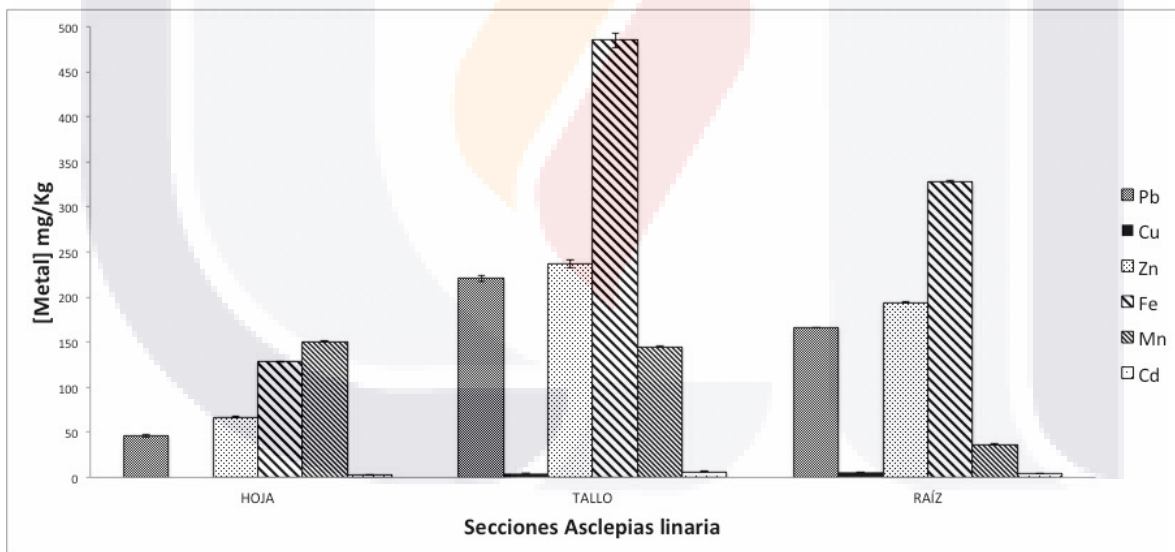


Figura 71. Concentración de metales en las diferentes secciones de la planta *Asclepias linaria*

La figura 72, muestra los resultados del factor de bioacumulación de la planta *Asclepias*, observándose que el cadmio fue el metal que se bioacumula más en el

tallo y en la raíz, seguido del manganeso que se bioacumula similarmente en hoja y tallo, en menor proporción en raíz.

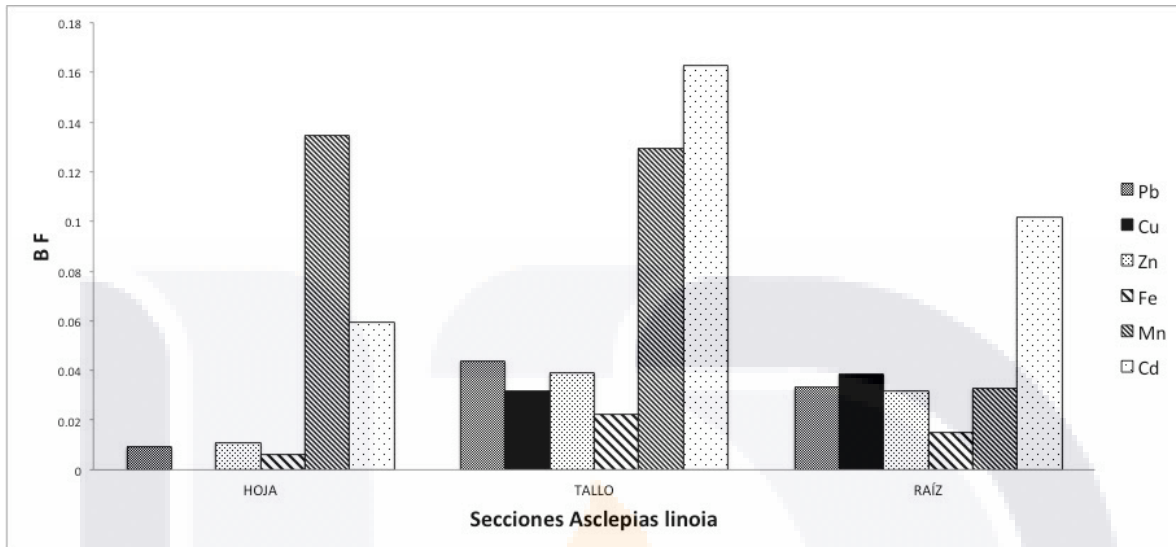


Figura 72. Factor de bioacumulación de metales en las diferentes secciones de la planta *Asclepias linoia*

El factor de traslocación de los diferentes metales en la planta *Asclepias linoia*, se observa en la figura 73, siendo el manganeso el metal que más se trasloca tanto de la raíz al tallo como del tallo a la hoja, seguido del cadmio y el metal que menor traslocación muestra es el cobre.

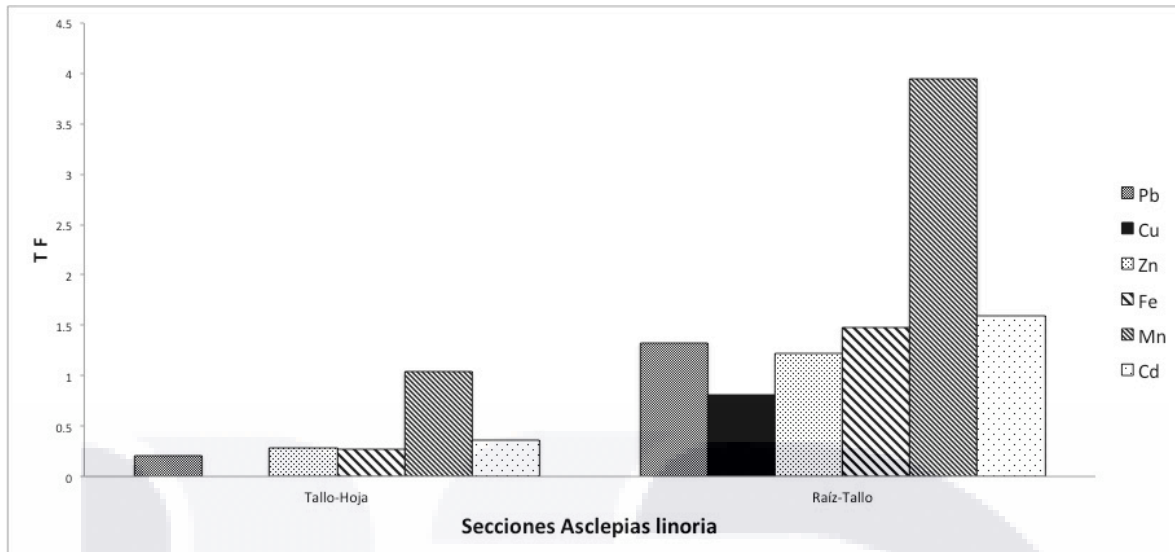


Figura 73. Factor de traslocación de metales en las diferentes secciones de la planta *Asclepias linaria*

4.10.2 *Barcleyantus salignie*

Otra de las plantas estudiadas por su presencia en las zonas de estudio es la *Barcleyantus salignie*, dicha planta muestra concentraciones de 250 mg/kg de zinc en su hoja y alrededor de 100 mg/kg del mismo metal tanto en tallo como en la flor. Igualmente muestra elevadas concentraciones de fierro en las tres secciones analizadas (flor, hoja y tallo), mostrando las concentraciones menos elevadas en su biomasa el cobre.

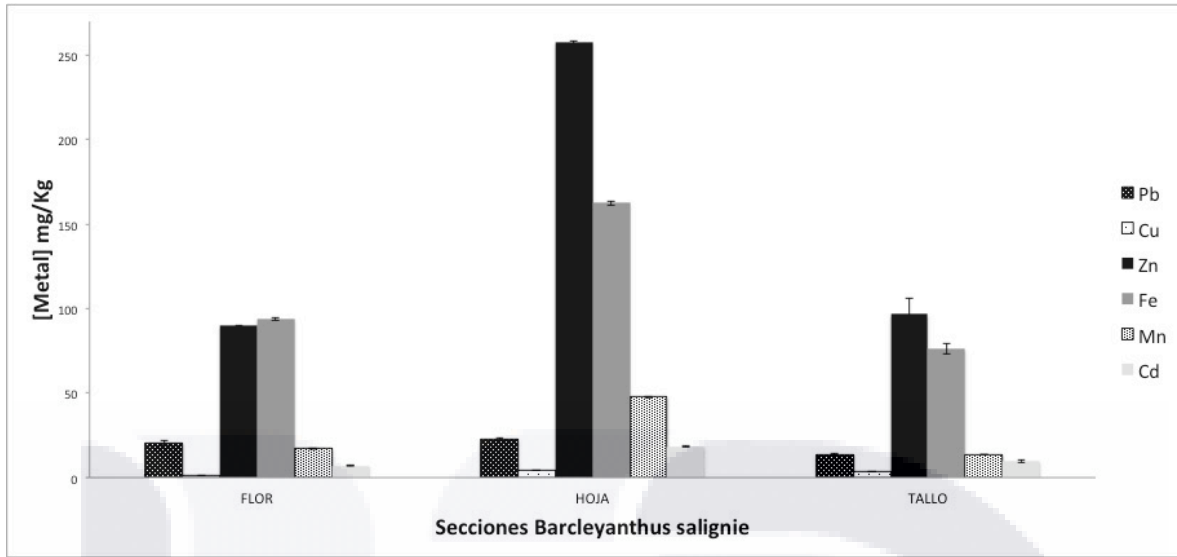


Figura 74. Concentración de metales en las diferentes secciones de la planta *Barclayanthus salignie*

La figura 75 muestra los resultados del factor de bioacumulación de metales para la planta *Barclayanthus salignie*, observándose elevada bioacumulación para el cadmio en las tres secciones (flor, tallo y hoja). Para los demás metales (plomo, cobre, zinc, hierro y manganeso) los valores del factor de biodisponibilidad están por debajo de 0.05.

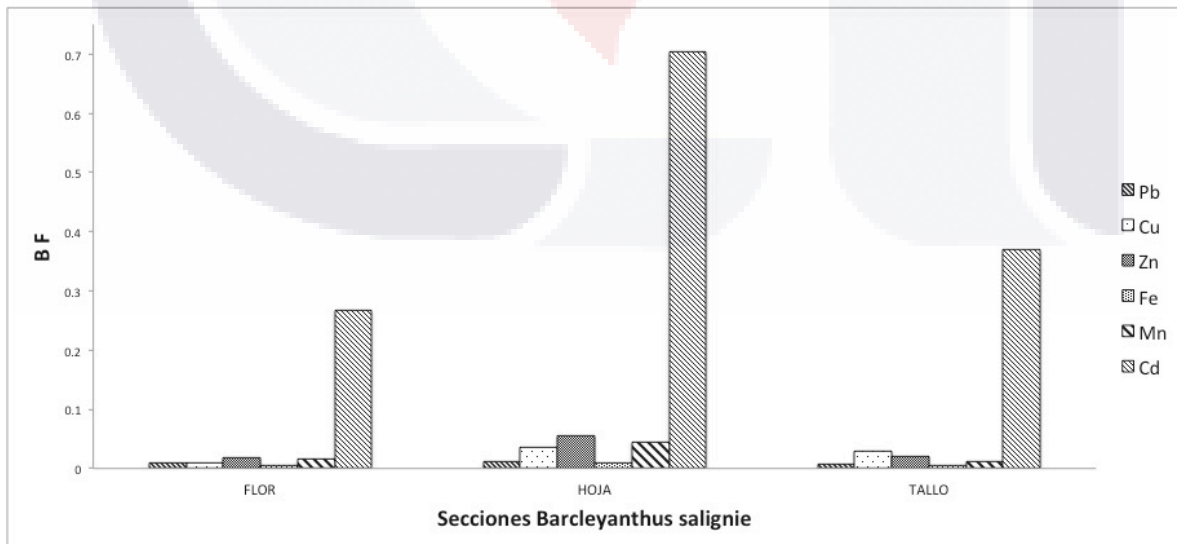


Figura 75. Factor de bioacumulación de metales en las diferentes secciones de la planta *Barclayanthus salignie*

El factor de traslocación (figura 76) de la planta *Barcleyanthus salignie*, es más elevado del tallo a la hoja que de la hoja a la flor para todos los metales, mostrando mayor traslocación el manganeso, con valores de 3.5, seguido con 2.7 el zinc. El metal con mayor traslocación de hoja a flor fue el plomo con valores 0.92.

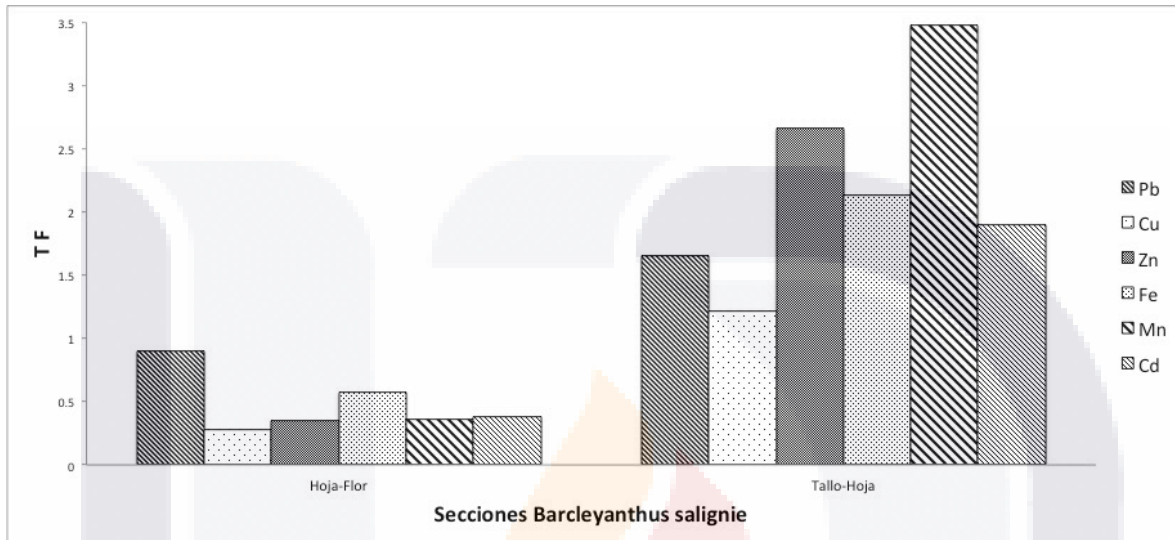


Figura 76. Factor de traslocación de metales en las diferentes secciones de la planta *Barcleyanthus salignie*

4.10.3 *Cortaderia selloana*

La planta *Cortaderia selloana*, es una de las plantas más abundantes de la zona de estudio, principalmente de los jales antiguos, también como característica particular, es que es una planta con una biomasa muy abundante, encontrando ejemplares con más de 2 mts de longitud y 2 metros de diámetro.

La figura 77, muestra las concentraciones de metales (plomo, cobre, zinc, fierro, manganeso, cadmio y cromo) presentes en las tres secciones obtenidas en el muestreo (flor, hoja y raíz), por su naturaleza, no cuenta con tallo. El metal encontrado en mas altas concentraciones en todas las secciones de dicha planta es el fierro, y encontrado mayormente en la flor, seguido del zinc, mayormente

encontrado en la raíz. El metal encontrado en menor concentración en las diversas secciones fue el cromo.

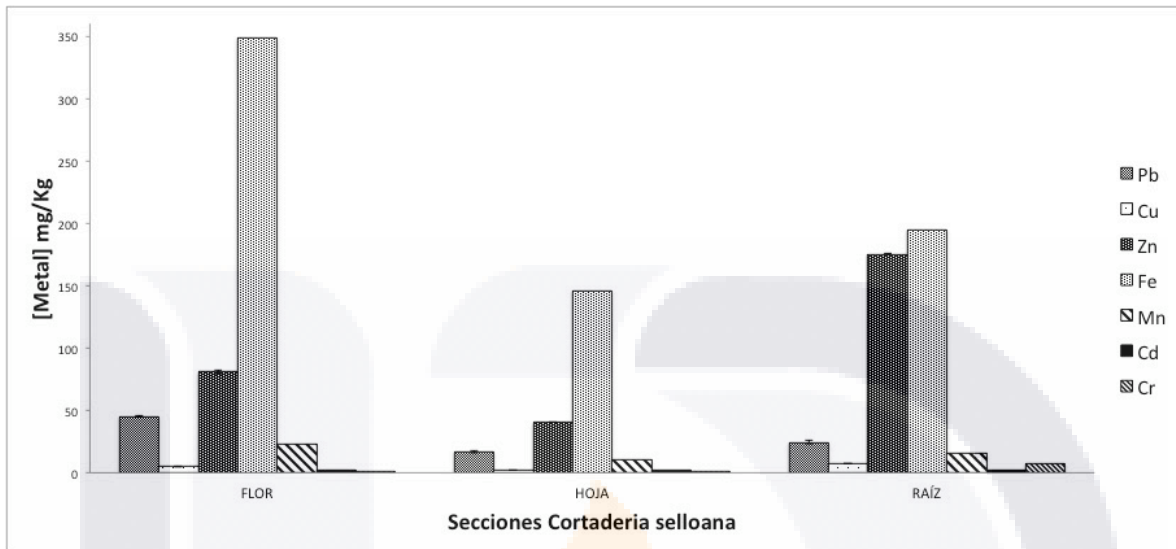


Figura 77. Concentración de metales en las diferentes secciones de la planta *Cortaderia selloana*.

El factor de bioacumulación calculado en la planta *Cortaderia selloana*, muestra resultados muy bajos que oscilan entre el 0.1 y 0.01, solamente mostrando una excepción para el caso del cromo en la raíz que muestra un factor de bioacumulación de 0.5. el metal con mayor bioacumulación en todas las secciones estudiadas de la planta fue el cadmio.

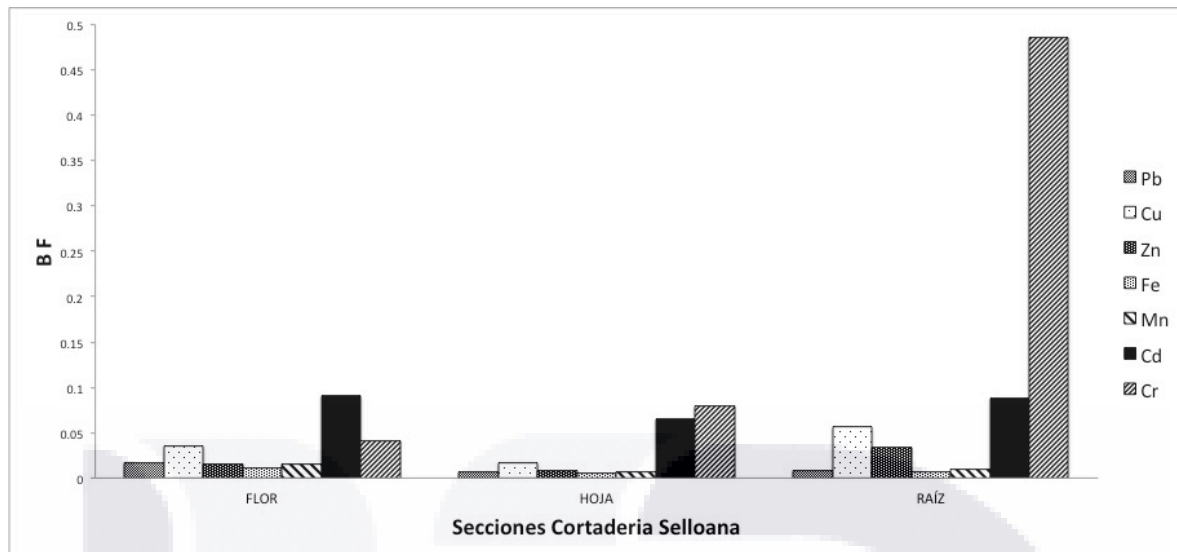


Figura 78. Factor de bioacumulación de metales en las diferentes secciones de la planta *Cortaderia selloana*.

El factor de traslocación de los metales analizados en la planta *Cortaderia selloana*, se observan en la figura 79, mostrando que el plomo tiene una mayor traslocación de la hoja hacia la flor, seguido del fierro y con una traslocación mínima el cromo. En el caso de la traslocación entre raíz hoja, los metales plomo, fierro, manganeso y cadmio muestran resultados similares con valores que oscilan alrededor de 0.67 y los metales cobre, zinc y cromo muestran valores de factor de traslocación de 0.25.

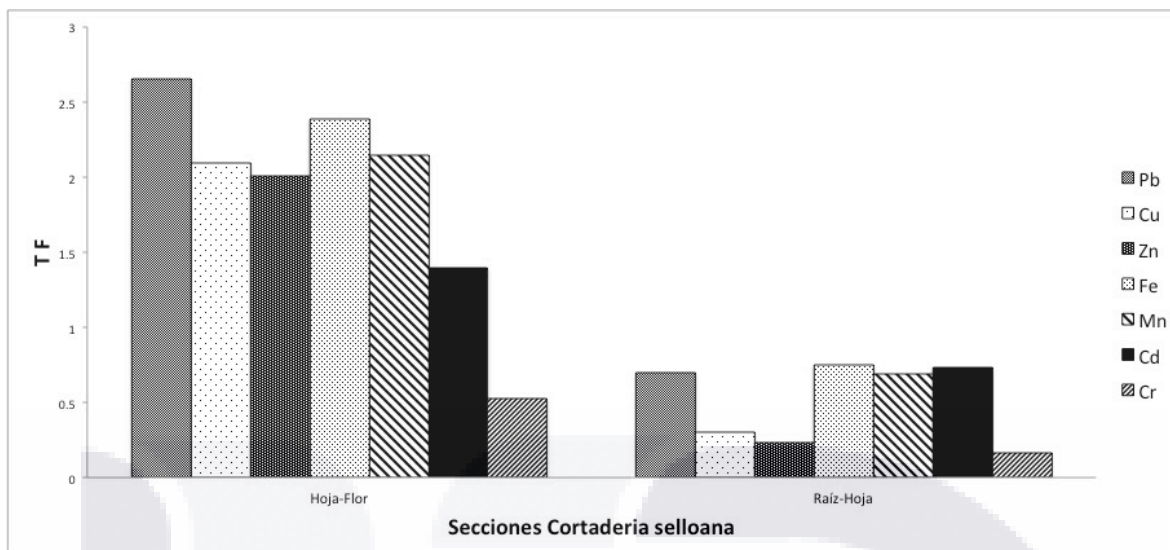


Figura 79. Factor de traslocación de metales en las diferentes secciones de la planta *Cortaderia selloana*.

4.10.4 *Sporobolus airoides*

La planta *Sporobolus airoides*, es otra de las plantas con mayor abundancia en el sitio de muestreo. La figura 80, muestra los resultados de la cuantificación de los metales (plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, cadmio, níquel y cromo) en las dos secciones obtenidas (hoja y raíz), observando que el hierro se encuentra en más de 2,000 mg/kg en la raíz y en 1,500 mg/kg en la hoja, para el caso del zinc en la raíz se observa que contiene concentraciones de 2,000 mg/kg y la hoja de 980 mg/kg, con menor proporción se encontró manganeso en concentraciones de 1,430 mg/kg en la raíz y 518 mg/kg en la hoja.

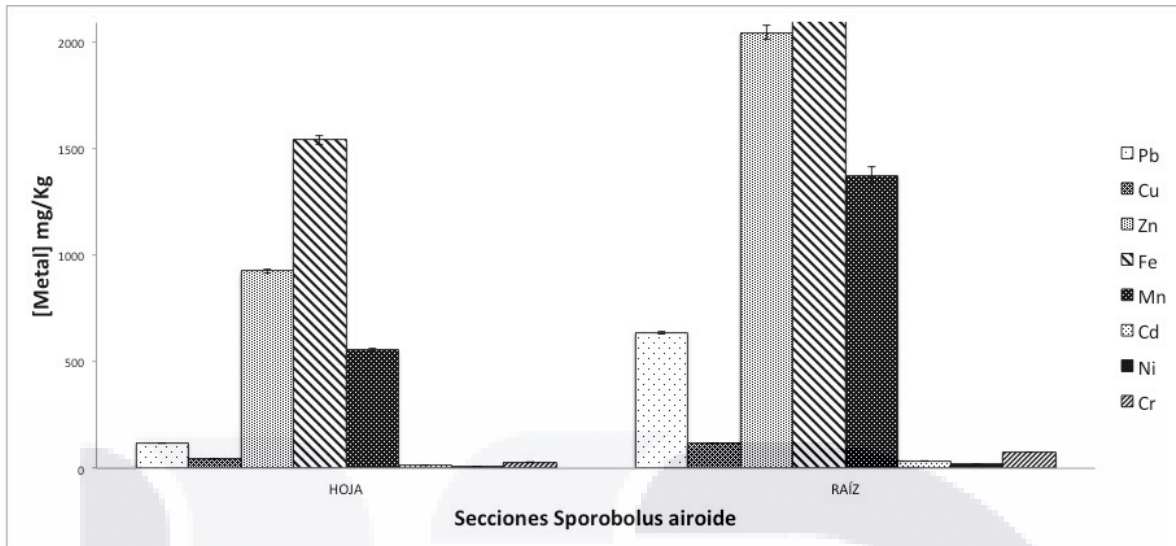


Figura 80. Concentración de metales en las secciones de la planta *Sporobolus airoides*

A pesar de las altas concentraciones de hierro encontradas en la raíz y hoja de la planta *Sporobolus airoides*, el factor de bioacumulación es mayor para el cromo en la raíz con valor de 2.1 y en la hoja con valor de 0.65, para el hierro que es el metal encontrado en mayor proporción en la planta, los valores de factor de bioacumulación se encuentran en 0.6 para la raíz y 0.02 para la hoja.

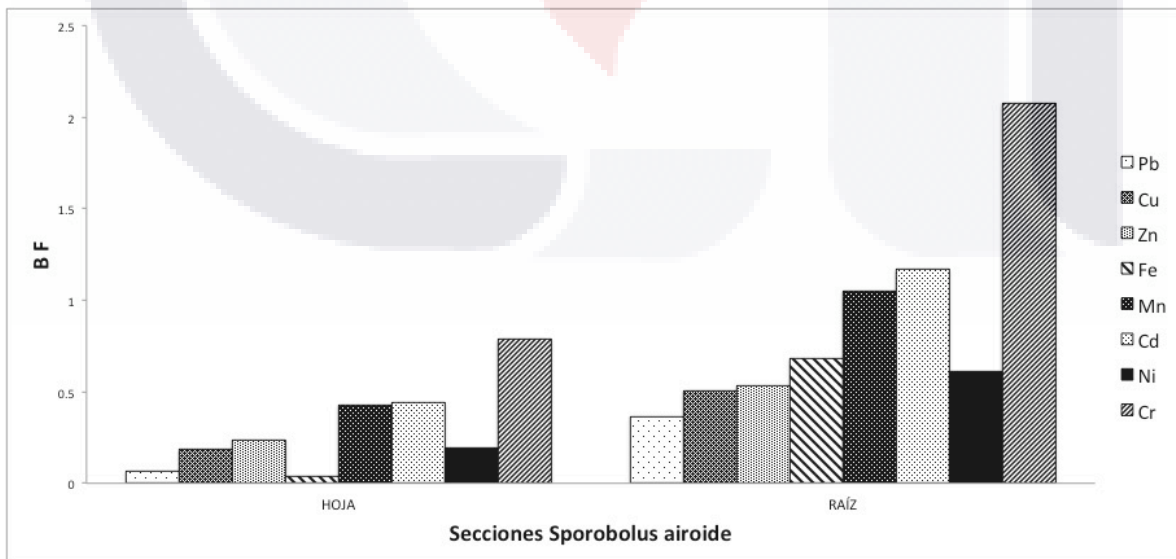


Figura 81. Factor de bioacumulación de metales en *Sporobolus airoides*

La figura 82, muestra los resultados del factor de traslocación, entre raíz y hoja, observándose resultados similares con valores entre 0.45 y 0.35 los metales cobre, zinc, manganeso, cadmio, níquel y cromo, para el caso de la traslocación de plomo el valor es de 0.18 y para hierro un valor de 0.05.

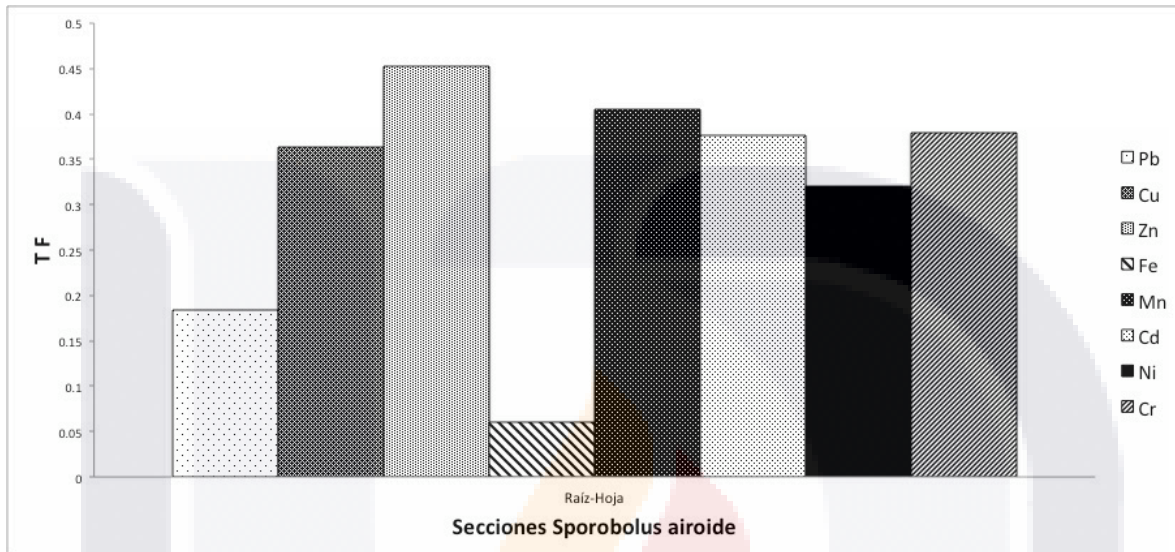


Figura 82. Factor de traslocación de metales en *Sporobolus airoides*

4.11 Índice de geoacumulación

La figura 83, muestra los resultados de la concentración de plomo y zinc (metales mas abundantes en la zona de estudio) en los residuos mineros y en las plantas mas abundantes desarrolladas en el sitio. Se observa que las plantas *Sporobolus airoides* y *Cortaderia sellona*, son las plantas mas abundantes, que menos plomo y zinc incorporan en su biomasa, otra planta con esta misma característica es *Balkleyanthus salicifolus*, sin embargo, esta planta se presente en menor proporción en el sitio de estudio y presenta una producción de biomasa mas baja que las anteriormente mencionadas.

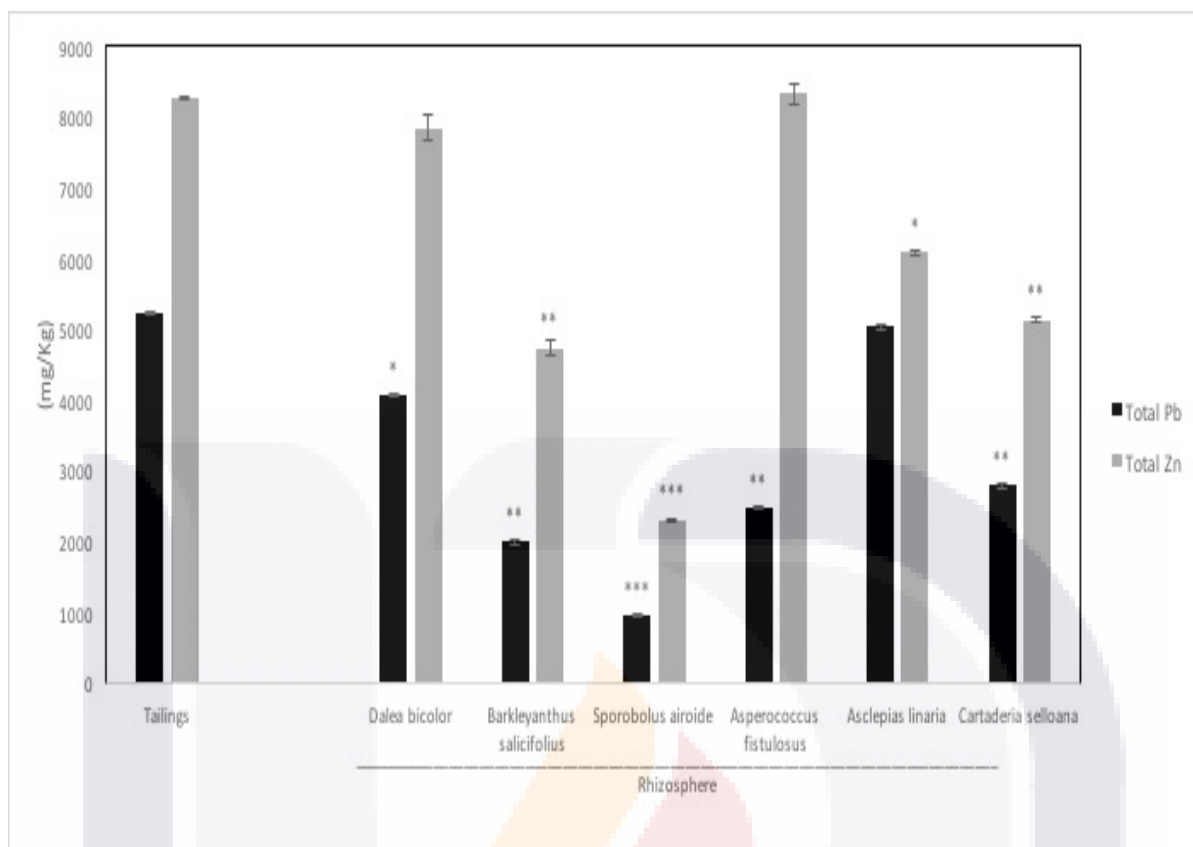


Figura 83. Concentración total de plomo y zinc, en peso seco de jales y rizosfera de las plantas mas abundantes de la zona de estudio

La Tabla 8 muestra los resultados de el calculo del índice de geoacumulación, el cual indica que tan contaminada esta alguna zona. En este caso la zona de estudio muestra un índice de geoacumulación de 3.7, el cual indica que la zona está moderadamente contaminada, los resultados de este indicador de contaminación en las rizosferas de las plantas mas abundantes, se observa que disminuye considerablemente en *S. airoides*, *B. salicifolius*, *C. selloana*, *A. fistulosus*, *D. bicolor* y *A. linaria*, con índices de geoacumulación desde 0.9 para el plomo, 1.3 para zinc que indican que la zona esta ligeramente contaminada hasta valores de 3, donde no existe ningún efecto producido por la planta.

Tabla 8. Índice de geoacumulación de plomo y zinc de residuos mineros

Metal	Jal	Igeo					
		Rizosfera					
		<i>D. bicolor</i>	<i>B. salicifolius</i>	<i>S. airoide</i>	<i>A. fistulosus</i>	<i>A. linaria</i>	<i>C. selloana</i>
Pb	3.7	3.0	1.9	0.9	2.3	3.3	2.4
Zn	3.7	3.0	2.3	1.3	3.1	2.7	2.4



DISCUSIÓN

Al igual que Covarrubias S., et al. (2018), Carrillo González R., et al., (2005), Ahumed M., (2014), este estudio muestra resultados de que la contaminación de los residuos mineros expuestos derivado de la mina El Bote, es atribuida a actividades humanas, tales como la minería, dejando expuestas grandes concentraciones de metales, generando efectos tanto en los suelos, aire y agua, derivado de la extracción y purificación de minerales generando grandes cantidades de residuos solidos denominados jales.

En el presente trabajo encontramos características fisicoquímicas que permiten describir a los jales como un material inorgánico, con alto contenido de metales como plomo, zinc, fierro que no es útil como suelo y que dichos metales pueden estar biodisponibles y biológicamente disponibles para incorporarse en diferentes sistemas biológicos tales como las plantas tal como lo describe Zimmermann A., Weindorf (2010), lo cual incrementa potencialmente la incorporación a la cadena trófica hasta la llegada de los contaminantes al humano, ya que como lo describe Mitchell K., et al. (2016), la incorporación y movilidad de los metales no sólo depende de la concentración de los metales en estudio, sino de las condiciones fisicoquímicas de la zona de estudio, tales como la solubilidad, pH, materia orgánica, potencial redox, los cambios en la salinidad o conductividad que son un factor que afectan la solubilidad y movilidad de los metales en suelos y sedimentos lo cual puede también aplicar a jales mineros.

Silveira M. I., et al. (2006) reporta que la extracción secuencial no distingue ampliamente la asociación de los metales a formas amorfas u óxidos cristalinos de formas cristalinas, identificando unicamente fases químicas sólidas o formas unidas que son responsables de controlar la movilidad de los metales y su dinámica, por lo que en nuestro estudio probablemente encontramos grandes cantidades de los metales en la fase unida a materia orgánica. Según cita Maiz I., et al., (1999) solamente la fase intercambiable in los suelos, es la unica fracción biodisponible para las plantas.

De acuerdo con M. Patra et al. (2004), lo que puede estar sucediendo con las plantas es un proceso de captación de metales por medio de la internalización de micronutrientes, dependiendo la concentración de captación de varios factores (1) la concentración y la especiación del metal, (2) el flujo de las moléculas del suelo hacia la raíz, (3) la biodisponibilidad del metal hacia la raíz y (4) la traslocación de la raíz, hacia la parte aérea de la planta.

Los resultados de traslocación de los metales en las diferentes secciones de las plantas no manejan algún patrón derivado de la naturaleza distinta del metabolismo de cada especie y de las características fisicoquímicas y ambientales del sitio, tal como lo reporta Carrillo González R., et al., (2005).

De acuerdo a lo reportado por Rascio N., Navari-Izzo F. (2011) las plantas encontradas en los residuos de la mina El Bote, no pueden clasificarse como hiperacumuladoras, ya que para nombrarse de esta forma, deben acumular extraordinariamente grandes cantidades de metales en las partes aéreas de la planta sin sufrir elevadas consecuencias de los efectos fitotóxicos que generan algunos metales. El uso de plantas hiperacumuladoras puede provocar un mayor incremento en el problema de biodistribución de los metales hasta llegar al humano por medio de la incorporación de los metales a la cadena trófica.

El que los metales se bioacumulen en las plantas puede estar acompañado de una reducción de captación de nutrientes, desordenes en el metabolismo de la planta, lo que puede provocar una reducción del desarrollo de la planta, tal como lo describe Guala S. D., et al. (2010). Lo cual puede provocar que en la zona de estudio haya una escasez de plantas.

Cortaderia sellona, una de las plantas más abundantes en el sitio de estudio, Sara Mas S., Lloret F., (2005) reporta que es una planta que sobrevive a condiciones adversas, lo cual explica la abundancia en la zona de estudio, sin embargo, la clasifica como una planta invasiva, que puede dañar ecosistemas, por lo cual se debe tratar como una posible herramienta fitotecnológica, con las precauciones debidas para evitar un daño colateral a la zona cercana.

De acuerdo a lo reportado por Li et al., (2014) los residuos mineros se encuentran altamente contaminados por plomo y zinc, según la clasificación reportada por el mismo autor. Las plantas encontradas en el sitio disminuyen el índice de geoacumulación en algunos casos hasta clasificar el residuo minero como un sitio no contaminado, siendo el caso de la rizosfera de la planta *Sporobolus airoides*.

De acuerdo a USDEPA (200), se ha demostrado que las plantas son medios efectivos para el tratamiento y limpieza de onas contaminadas. Las plantas pueden ser usadas para estabilizar o remover metales de los suelos. Los tres mecanismos que reporta Chen et al., (2014) son la fitoextracción, rizoremediación y la fitoestabilización, siempre y cuando cumplan con dos características: tolerancia o hiperacumulación.

CONCLUSIÓN

Los residuos mineros depositados en los alrededores de la mina El Bote Zacatecas, representan un riesgo a el medio ambiente, debido a las altas concentraciones de metales tales como: Pb, Zn, As, Fe, Cd, Cr. Por lo cual dicha zona requiere de atención en el ámbito ambiental y de contención, para que los metales presentes en los residuos no se dispersen hacia otros organismos vivos bloqueando la integración de los metales en la cadena trófica, así como evitar el daño toxicológico que generan los metales en el ser humano.

El sitio de muestreo fue adecuado para realizar un estudio de plantas que se desarrollen en condiciones de elevadas concentraciones de metales y buscar una planta que pueda considerarse como herramienta fitotecnológica para la estabilización de los residuos mineros.

El muestreo sistemático del área, generó las condiciones para tener resultados que pudiesen relacionarse entre las dos lagunas de jales y los controles.

La dispersión por la movilidad de los residuos hacia la periferia es muy baja, de acuerdo a los resultados obtenidos ya que en los puntos control que se encuentran a máximo 300 metros de distancia, las concentraciones de los metales se encuentran por debajo de los valores permitidos en la normatividad nacional e internacional.

Se encontró en el sitio una variedad de plantas con un total de 28 plantas taxonómicamente diferente, sin embargo 3 de ellas son las que predominan en el sitio (*Sporobolus airoides*, *Cortaderia selloana* y *Dalea bicolor*)

Las propiedades fisicoquímicas de estos residuos mineros (pH, Potencial redox, conductividad y material orgánica) favorecen la movilidad y la biodisponibilidad de los metales.

Las cantidades de sales disueltas encontradas en los residuos mineros (nitrógeno en todas sus formas, fósforo, sulfatos), no representan concentraciones que permitan el desarrollo de plantas en el sitio, sin embargo, existen diversas plantas que se han adaptado a las condiciones adversas que se presentan en los residuos y a las condiciones climatológicas de la zona, que se caracteriza por ser un sitio árido.

Se encontró que, tanto en los jales como en las rizosferas, los metales se encuentran predominantemente unidos a óxidos de Hierro y manganeso y en la fracción residual, lo que indica que la movilidad de los metales es moderada, ya que alrededor de un 1% de estos metales se encuentra en la fracción intercambiable.

El factor de movilidad del plomo en los jales recientes es mayor que en los jales antiguos, sin embargo, es complicado generalizar el resultado derivado de la heterogeneidad de las zonas, en cuanto al tipo de residuos y el tratamiento que han llevado a cabo.

Se observó que el desarrollo de plantas en el sitio, ha impactado de forma benéfica, reduciendo significativamente los niveles de metales, estabilizando propiedades fisicoquímicas como el pH y el potencial redox, lo que significa que la movilidad de los metales puede disminuir y favorecer el crecimiento de material vegetal.

Se encontraron diversas plantas, con compartimientos distintos tanto para bioacumular metales, como para traslocarlos entre las diversas secciones (raíz, tallo, hoja, flor y fruto), compartiendo como característica, la posibilidad de desarrollarse en condiciones poco comunes, como las que muestran los sitios estudiados, ya que sus propiedades fisicoquímicas prácticamente indican que el lugar donde están sobreviviendo no tiene materia orgánica ni oligoelementos que funcionan como nutrientes.

Las dos plantas (*Sporobolus airoides* y *Cortaderia selloana*) que predominan en el sitio, son plantas que no bioacumulan grandes cantidades de los metales analizados, también muestran factor de traslocación bajo, disminuyen

considerablemente el índice de geoacumulación, mostrando propiedades para ser una herramienta fitotecnológica para la fitoestabilización de la zona, ya que no se limita su crecimiento a pesar de las condiciones fisicoquímicas de los jales estudiados, en los cuales abundan estas plantas.



REFERENCIAS.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (ATSDR), 2007

Ahumed Munees, **Remediation of metalliferous soils through the heavy metal resistant plant growth promoting bacteria: Paradigms and projects**, *Arabian Journal of Chemistry*, 2014.

Arguello, M. Joaquin, **Monografía sobre el Arsénico**, 2001

Becerril J.M., Barrutia O., García Plazaola J. I., Hernández A., Olano J. M., Gaebisu C., **Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos exofisiológicos y su uso en fitoremediación**, *Revista científica de ecología y medio ambiente*, 16 (2), pp 50-55, 2007.

Benavides Montoya A., Guzmán M. B., Alarcón Herrera M. T., **Determinación espectrofotométrica de plomo en plantas**, *Boletín de Mineralogía*, 17, pp. 91 – 93, 2006.

Caparrós-Ruiz David., Fornalé Silvia, Civardi Laura, Puigdoménech Pere, Rigau Joan, **Isolation and characterisation of a family of laccases in maize**, *Plant Science*, 171 pp 217 – 225, 2006

Canadian Society of Soil Science, **Soil Sampling an Methods Analysis**, Lewis Publishers, pp 823, 1993.

Carbonell Barrachina A. A., Burló Carbonell F. M., Mataix Beneyto J. J., **Arsénico en el sistema suelo-planta Significado ambiental**, Espagrafic Universidad de Alicante, 1995

Carrillo González R., González Chávez M. C. A., **Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes**, *Environmental Pollution*, 144, pp 84-92, 2006.

Castro Jiménez C.C., Londoño Valencia J., Morales Tabares J.F., **Efecto de los metales pesados cadmio y níquel sobre la producción de metano de un lodo anaerobio a escala de laboratorio**, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, pp.28-29, 2004.

Choppin G.R, Jaffe B, **Química Ciencia de la Materia, la Energía y el Cambio**, edit. Publicaciones Culturales S.A, 1ª edición, pp.253, 498, 507, 508, y 542, 1970.

Covarrubias S. A., Flores de la Torre J. A., Maldonado Vega M., Avelar González F. J., Peña Cabriales J. J., **Spatial variability of heavy metals in soils and sediments of La Zacatecana lagoon, México**, *Applied and Environmental Soil Science*, 2018.

Davis J. M., Grant D. L., **Experiencias de la instauración de normas relativas al contenido de plomo en aire y el agua, en los Estados Unidos de América**, *Salud pública de México*, 45, 237 – 243, 2003.

Delgadillo López Angélica Evelin, González Ramírez Cesar Abelardo, Prieto García Francisco, Villagómez Ibarra José Roberto, Acevedo Sandoval Otilio, **Fitoremediación: una alternativa para eliminar la contaminación**, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, pp 597-612, 2011.

Desai Urvee A., Sur Gorgi, daunert Sylvia, Babbit Ruth, Li Qingshun, **Expression and affinity purification of recombinant proteins from plants.**, *Protein Expression and Purification.*, 25, pp 195 – 202., 2002.

Mike Fay, Ph.D.; Sharon Wilbur, M.A.; Henry Abadin, M.S.P.H., **Toxicological profile for nickel ATSDR**, Division of Toxicology and Environmental Medicine, Atlanta, Georgia, 2004.

Flores J., Albert L. A., **Environmetal Lead in México 1990 – 2002**, Environmetal Contamination Toxicology, 181, pp. 37-109, 2004.

Fourcroy A. F., **Sistemas de los conocimientos Químicos y de sus aplicaciones a los fenómenos de la naturaleza y del arte**, Ed. Real Madrid, 1807.

Galan Huertos Emilio, Romero Baena Antonio, **Contaminación de suelos por Metales Pesados**, Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, Vol 15, pp 29 – 46, 2008.

Galetovic Alexandra, **Arsénico en agua de beber: un problema de salud pública**, Departamento de Toxicología y análisis Toxicológicos, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Universidad de São Paulo, 2000.

García S. I., Mercer R., **Experiencia Latinoamericana (Salud infantil y plomo en Argentina)**, Salud pública de México, No. 45, pp. 52 – 77, 2003.

Gil Martín J., Yacamán M. José, Carapia L., **Estudio por microscopia electrónica y microanálisis de las uñas de un intoxicado por arsénico**, Rev de la SEQC, 1999

Ginocchio R. y Baker A. J. M., **Metallophytes en Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region**, Rev Chilena Hist Nat., 77, pp. 185-194, 2004.

Gisbert Calabuig J. A., Villanueva Cañadas E., **Intoxicación por arsénico**, Medicina legal y Toxicología, Barcelona, 2004.

González Morán M. G., **Técnicas de laboratorio en biología celular y molecular**, AGT Editor, 394 págs, 2008.

Guala S. D., Vega. F. A., Covelo E. F., **The dynamics of heavy metals in plant-soil interactions**, *Ecological Modelling*, 221, pp 1148 – 1152, 2010

Guang-Ming LIU, Jing-Song Yang, Rong-Jiang Yao, **Electrical Conductivity in Soil Extracts: Chemical Factors and Their Intensity**, Soil Science Society of China, 16, pp 100-107, 2006.

Gupta D. K., Inouhe M., Rodríguez- Serrano M., Romero-Puertas M. C., Sandalio L. M., **Oxidative stress and arsenic toxicity: Role of NADPH oxidases**, *Chemosphere*, 90, pp 1987 – 1996, 2013.

Gutierrez R. C., Izquierdo A. M., Revert R. e., Lozano C. Hardisson A., **El plomo como contaminante alimentario**, Rev. Toxicología, 21, pp 72 – 80, 2004.

Harald Claus, **Laccases: structure, reactions, distribution**, *Micron*, 35, pp 93 – 96, 2004.

Hernández de Gregorio Manuel, **Diccionario elemental de farmacia, botánica y materia médica o aplicaciones**, Ed. Real Madrid, 1803.

Herráez Sánchez de las Matas Isabel, **Niveles de exigencia en la calidad del agua subterránea para abastecimiento en relación con la presencia de arsénico**, *Revista Española de Salud Pública*, vol 75, 2001

IARC (International Agency for Research on Cancer, Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Some Drinking-water Disinfectants and Contaminants, including Arsenic, Lyon, France, 2004.

Jana Urike, Chassany Vincent, Bertrand Georges, Castrec-Roulle Maryse, Aubry Emmanuel, Boudsoq Simon, Laffray Daniel, Anne Repellin., **Analysis of arsenic and antimony distribution within plants growing an old mine site in Ouche (Cantal, France) and identification of especies suitable for site revegetation.**, *Journal of Environmental Management.*, 110, pp 188 – 199., 2012.

Kalpakjian S, R. Schmid S, coaut, Sánchez García G, **Manufactura, Ingeniería y Manufactura**, 4ª edición, pp.1152, 2002.

Lasat Mitch M., **Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms**, *Reviews and analyses*, pp 109 – 120, 2002

Li Z., Ma Z., **A review of soils heavy metal pollution form mines in China**, *Sciences Total Environmental*, pp 843 – 853, 2014.

M. I. Litter, M. A. Armienta, S. S. Farías, **IBEROARSEN Metodologías Analíticas para la Determinación y Especiación de Arsénico en aguas y suelos**, Editado por CYTED, Argentina, Pág. 139-148, 2009.

Monografía Geológico-Minera del Estado de Zacatecas (MGMEZ), Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal Subsecretaria de Minas e Industria Básica, pág. 7 y 10, 1991.

Machado-Estrada, Calderon Jacqueline, Moreno-Sánchez Rafael, Rodríguez-Zavala José S., **Accumulation of arsenic, lead, copper, and zinc, and synthesis of phytochelatins by indigenous plants of a mining impacted área**, *Enviromental Sciencie Polluion Research*, 20, pp 3946 – 3955, 2013.

Maiz I., Arambarri I., Garcia R., Millán E., **Evaluation of heavy metal availability in polluted soils by two sequential extraction procedures using factor analysis**, *Environmental pollution*, 110 pp 3 – 9, 2000.

Mitchell K., Ramos Gómez M. S., Guerrero Barrera A. L., Yamamoto Flores L., Flores de la Torre J. A., Avelar González F. J., **Evaluation of Environmental Risk of Metal Conatminated Soils and Sediments Near Mining Sites in Aguascalientes, México**, *bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2016.

Myoung-Jin Kim, Kyu-Hong Ahn, Yejin Jung, **Distribution of inorganic arsenic species in mine tailings of abandoned mines from Korea**, *Chemosphere*, 49, pp 307 – 312, 2002.

Navarro-Aviño J. P., Aguilar Alonso I., López-Moya J.R., **Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas**, pág. 10-25, 2007.

Norma Mexicana NMX-132-11-2006, **Muestreo de suelos para la identificación y cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra**, 2006.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004, **Norma Oficial Mexicana que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, plomo, plata, selenio, talio y/o vanadio**, Diario Oficial de la Federación 2ª Ed, 2007.

Otones V., Álvarez Ayuso E., García Sánchez A., Santa Regina I., Murciego A., **Arsenic distribution in soils and plants of an arsenic impacted former mining area.**, *Environmental Pollution*, 159, pp 2637 – 2647., 2011.

Otones V., Álvarez Ayuso E., García Sánchez A., Santa Regina I., Murciego A., **Mobility and phytoavailability of arsenic in an abandoned mining area.**, *Geoderma*, 163, pp 153 – 161., 2011.

Ouziad Foaud, Hildebrandt Ulrich, Schmelzer Elmon, Bothe Hermann, **Differential gene expressions in a arbuscular mycorrhizal-colonized tomato grown under heavy metals stress**, *Journal of plant physiology*, 162, pp 634 – 649, 2005.

Palma José M., Sandalio Luisa M., Corpas F. Javier, Romero Puertas María C., McCarthy Iva, del Río Luis A., **Plant proteases, protein degradation, and oxidative stress role of peroxisomes**, *Plant physiology and Biochemistry*, 40, pp 521 – 530, 2002.

Patra M., Bhowmik N., Bandopadhyay B., Sharma A., **Comparasion of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance**, *Environmental and Experimental Botany*, 52, pp 199-223, 2004.

Papanikolaou N. C., Hatzidaki E. G, Belivanis S., Tzanakakis G. N., Tsatsakis A. M., **Lead toxicity update. A brief review**. *Medicine Science Monitored*, 11, 10, pp. 329 – 336, 2005.

Peralta-Videa José R., Laura Lopez Martha, Narayan Mahesh, Saupe Geoffrey, Gardea-Torresdey Jorge, **The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain**, *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 41, pp 1665 – 1677, 2009.

Pérez de las Casas M., Fernández Infante B., **Carcinoma de pulmón de origen laboral**, *Rev Medica de Pamplona*, vol 2, pp 49-58, 2005.

Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPCS) “Environmental Health Criteria for Arsenic and Arsenic Compounds, 2004

Ramírez A. V., **El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo**, Anales de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 66(1), pp. 57-70, 2005.

Ramos-Gómez Magdalena, Avelar-González Francisco, Medel-Reyes Alejandro, Yamamoto Laura, Godinez Luis, Ramírez Marcela, Guerra Ricardo, Rodríguez Francisco, **Movilidad de Metales en Jales Procedentes del Distrito Minero de Guanajuato, México**, Rev. Int. Contamin. Ambie, 28, pp 49 – 59, 2012.

Rascio Nicoletta, Navari Izzo Flavia, **Heavy metal hyperaccumulation plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?**, *Plant Science*, 180, pp 169 – 181, 2011.

Saura-Mas S., Lloret F., **Wind effects on dispersal patterns of the invasive alien *Cortaderia selloana* in Mediterranean wetlands**, *Acta Oecologica*, 27, pp 129 – 133, 2005.

Sherameti Irena, Varma Ajit, **Soil Heavy Metals**, *Springer*, 1ª Ed., 2010.

Si Jing, Peng Feng, Cui Baoki, **Purification biochemical characterization and dye decolorization capacity of an alkali resistant and metal-tolerant laccase from *Trameles pubescens***, *Bioresource Technology*, 128, pp 49 – 57., 2013.

Silveira M. L., Alleoni L. R. f., O'Connor G. A., Chang A. C., **Heavy metal sequential extraction methods – a modification for tropical soils**, *Chemosphere*, 64 pp 1929 – 1938, 2006.

Singh Nandita, Ma Lena Q., **Arsenic speciation, and arsenic and phosphate distribution in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L., and non-hyperaccumulator *Pteris ensiformis* L.**, *Environmental Pollution*, 141, pp 238 – 246., 2006.

Rudra Deo Tripathi*, Preeti Tripathi , Sanjay Dwivedi , Sonali Dubey , Sandipan Chatterjee, Debasis Chakrabarty, Prabodh K. Trivedi, **Arsenomics: omics of arsenic metabolism in plants**, *Frontiers in Physiology*, 3, pp 1 -14, 2012.

Soil Science Society of America Book Series, **Methods of Soil Analysis, Part 3-Chemical Methods**, 1390 pag, 2007

Tessier A., Campbell P. G. C., Bisson M., **Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals**, *Analytical Chemistry*, 51, 7, pp 844 – 852, 1979

Visioli Giovanna, Marmiroli Nelson, **The proteomics of heavy metal hyperaccumulation by plants**, *Journal of proteomics*, 79, pp 133 – 149, 2013.

Wright W. J., **Environmental Chemistry**, Ed. Aspe, 2003.

Xinde Cao, Ying Chen, Xiaorong Wang, Xihai Deng, **Effects of redox potential and pH value on the release of rare earth elements from soil**, *Chemosphere*, 44, pp 655 – 661, 2001.

Yadav S. K., **Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants**, *South African Journal of Botany*, 76, pp 167 – 179, 2010.

Yang Xiaoe, Feng Ying, He Zhenli, Stoffella Peter J., **Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation**, *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*, 18, pp 339 – 353, 2005.

Páginas web.

<http://tratado.uninet.edu/c100804.htm> (2013)

<http://www.acienciasgalilei.com/qui/tabla-periodica-ver.gif> (2013)



Anexo 1.

Tabla A1. Coordenadas de las muestras obtenidas de la zona de jales antiguos.

ID MUESTRA	COORDENADAS		ID MUESTRA	COORDENADAS	
	NORTE	OESTE		NORTE	OESTE
S2A	22 47 00	102 36 27	S26A	22 46 58.67	102 36 21.19
S3A	22 46 59	102 36 27	S27A	22 47 02.61	102 36 20
S4A	22 46 58	102 36 27	S28A	22 47 01.38	102 36 19.96
S9A	22 46 58	102 36 26	S29A	22 46 59.70	102 36 19.70
S8A	22 46 59	102 36 26	S30A	22 46 58.28	102 36 19.59
S11A	22 47 00	102 36 25	S31A	22 47 01.76	102 36 18.82
S6A	22 47 01	102 36 26	S32A	22 47 00.38	102 36 18.68
S5A	22 47 02	102 36 26	S33A	22 46 59.17	102 36 18.59
S1A	22 47 01	102 36 27	S34A	22 46 57.94	102 36 18.51
S7A	22 47 00	102 36 26	S35A	22 47 00.96	102 36 17.83
S10A	22 47 02	102 36 25	S36A	22 46 59.56	102 36 17.65
S14A	22 47 02	102 36 24	S37A	22 46 58.23	102 36 17.62
S15A	22 47 01	102 36 24	S38A	22 47 00.82	102 36 16.85
S16A	22 47 00	102 36 24	S39A	22 46 59.32	102 36 16.69
S20A	22 47 00	102 36 23	S40A	22 46 58.10	102 36 16.64
S21A	22 47 00	102 36 23	S41A	22 47 00.62	102 36 15.69
S22A	22 46 58	102 36 23	S42A	22 46 59.22	102 36 15.67
S17A	22 46 58	102 36 23	S43A	22 47 00.33	102 36 14.41
S12A	22 46 58	102 36 24	S44A	22 46 59.19	102 36 14.50
S13A	22 46 58	102 36 25	S45A	22 47 00.08	102 36 13.24
S18A	22 47 03	102 36 23	S46A	22 46 59.24	102 36 13.26
S19A	22 47 01	102 36 23	S35AP	22 47 02	102 36 21
S23A	22 47 02.81	102 36 21.79	S38AP	22 47 03	102 34 20
S24A	22 47 02.81	102 36 21.62	L1	22 47 00	102 36 13
S25A	22 46 59.73	102 36 21.36	L2	22 47 00	102 36 16
			L3	22 46 59	102 36 15

Tabla A2. Coordenadas de las muestras obtenidas de la zona de jales recientes.

ID MUESTRA	COORDENADAS REALES		ID MUESTRA	COORDENADAS REALES	
	NORTE	OESTE		NORTE	OESTE
S1R	22 47 09	102 36 33	S22R	22 47 18	102 36 35
S2R	22 47 09	102 36 32	S23R	22 47 19	102 36 35
S3R	22 47 09	102 36 32	S24R	22 47 19	102 36 35
S4R	22 47 08	102 36 31	S505	22 47 17	102 36 33
S5R	22 47 08	102 36 31	S51R	22 47 16	102 36 33
S6R	22 47 08	102 36 32	S52R	22 47 15	102 36 33
S7R	22 47 09	102 36 32	S53R	22 47 14	102 36 33
S8R	22 47 10	102 36 35	S54R	22 47 16	102 36 30
S9R	22 47 09	102 36 34	S55R	22 47 13	102 36 32
S10R	22 47 09	102 36 33	S56R	22 47 14	102 36 31
S11R	22 47 09	102 36 33	S57R	22 47 16	102 36 29
S12R	22 47 09	102 36 34	S58R	22 47 13	102 36 28
S13R	22 47 10	102 36 34	S59R	22 47 13	102 36 28
S14R	22 47 09	102 36 32	S60R	22 47 15	102 36 27
S15R	22 47 09	102 36 32	S61R	22 47 13	102 36 28
S16R	22 47 12	102 36 35	S62R	22 47 13	102 36 27
S17R	22 47 13	102 36 36	S63R	22 47 14	102 36 26
S18R	22 47 15	102 36 35	S64R	22 47 13	102 36 27
S19R	22 47 17	102 36 35	SF1	22 47 14	102 36 27
S20R	22 47 16	102 36 36	SF2	22 47 14	102 36 27
S21R	22 47 15	102 36 32	SF3	22 47 14	102 36 27

Tabla A3. Coordenadas de las muestras de suelos control

ID MUESTRA	COORDENADAS		ID MUESTRA	COORDENADAS	
	NORTE	OESTE		NORTE	OESTE
S1C	22 47 20	102 36 21	S14C	22 46 41	102 36 14
S2C	22 47 21	102 36 21	S15C	22 46 42	102 36 14
S3C	22 47 20	102 36 24	S16C	22 46 43	102 36 16
S4C	22 47 20	102 36 24	S17C	22 46 44	102 36 16
S5C	22 47 20	102 36 24	S18C	22 46 55	102 36 13
S6C	22 47 21	102 36 31	S19C	22 46 56	102 36 13
S7C	22 47 07	102 36 38	S21C	22 46 55	102 36 10
S8C	22 47 00	102 36 38	S22C	22 46 55	102 36 09
S9C	22 46 37	102 36 07	S23C	22 47 07	102 36 11
S10C	22 46 37	102 36 08	S24C	22 47 08	102 36 11
S11C	22 46 38	102 36 08	S25C	22 47 07	102 36 12
S12C	22 46 40	102 36 09	S26C	22 47 08	102 36 12
S13C	22 46 40	102 36 10			

Anexo 2.

Tabla A2. Diferentes secciones de las plantas obtenidas e la zona de jales antigua

ID	RAIZ	TALLO	HOJA	FLOR	ID	RAIZ	TALLO	HOJA	FLOR
P1A18	X	X	X		P2A3	X	X	X	
P2A18	X		X		P1A4	X	X	X	
P3A18	X		X		P2A4	X	X	X	
P4A18	X		X		P3A3	X	X	X	
P5A18	X	X	X		P3A2		X	X	
P6A18	X		X		P1A1	X	X	X	
P1A19	X		X	X	P2A1	X	X	X	
P2A19		X	X		P3A4		X	X	
P3A19	X	X	X		P1A23				
P4A19	X		X		P1A24				
P1A20	X	X	X		P2A24				
P2A20	X	X	X	X	P1A25				
P3A20	X	X			P2A25				
P4A20		X			P1A26				
P5A20		X		X	P2A26				
P1A21	X	X			P1A27				
P2A21		X	X		P1A28	X	X	X	
P3A21	X	X	X		P2A28				
P1A22	X		X		P1A29				
P2A22	X	X	X	X	P2A29				
P1A17	X	X	X		P1A30				
P2A17		X		X	P2A30				
P1A16	X	X			P1A31				
P2A16	X	X	X		P2A31				
P3A16	X	X	X		P1A32				
P1A15					P1A33				
P2A15	X		X		P1A34				
P3A15	X		X		P1A35	X	X	X	
P1A14	X		X		P1A36				
P2A14	X	X	X		P1A37				
P1A10	X	X	X		P1A38				
P2A10	X		X		P1A39				
P1A11	X	X	X		P1A40			X	
P2A11	X		X		P1A41				
P1A12	X		X		P1A42	X	X	X	

P2A12	X	X	X		P1A43				
P1A13	X		X		P1A44				
P1A9	X	X	X		P1L1		X	X	
P1A8	X	X	X		P2L1	X			
P2A8	X		X		P3L1				
P1A7					P4L1				
P1A6	X	X	X		P5L1				
P1A5	X	X		X	P1L2		X	X	
P3A1	X	X	X		P2L2				
P4A1	X	X	X	X	P3L2			X	
P1A2	X	X	X		P1L3				
P2A2	X	X	X		P2L3				
P1A3	X	X	X						

Tabla B2. Diferentes secciones de las plantas obtenidas e la zona de jales reciente





ID	RAIZ	TALLO	HOJA	FLOR
P1R50		X	X	X
P1R51			X	X
P1R53		X	X	X
P1R54				
P1R55				
P1R56	X	X	X	
P1R59			X	
P1R61			X	
P1R62	X	X	X	
P1R64	X		X	X

Tabla C2. Diferentes secciones de las plantas obtenidas e la zona de jales reciente





ID	RAIZ	TALLO	HOJA	FLOR
P1C3	X	X	X	X
P1C5	X	X		
P1C8				
P1C10	X	X	X	X
P1C12	X	X	X	X
P1C13	X	X		
P1C15	X		X	X
P1C16				
P1C18				
P1C23			X	
P1C25		X	X	





Anexo 3.

Tabla A3. Fotografías e Identificación taxonómica de todas las plantas recolectadas





ID	Foto	Foto	Nombre común	ID Taxonómica
P1A18		1		Dalia bicolor
P2A18		2		
P3A18		3	Alkali sacaton	Sporobolus airoides
P4A18		4		Sporobolus airoides





P5A18		5		Baccharis squarrosa
P6A18		6		Sporobolus airoides
P1A19		7	Hierba de pampas	Cortaderia selloana
P2A19		8		Dalea bicolor

<p>P3A19</p>		<p>9</p>		<p><i>Baccharis salicifolia</i></p>
<p>P4A19</p>		<p>10</p>		<p><i>Sporobolus airoides</i></p>
<p>P1A20</p>		<p>11</p>		<p><i>Baccharis squarrosa</i></p>
<p>P2A20</p>		<p>12</p>		<p><i>Eragrostis</i></p>

P3A20		13		Dalea bicolor
P4A20		14		Mimosa
P5A20		15		Dalea bicolor
P1A21		16		Bacharis





P2A21		17		<i>Sporobolus airoide</i>
P3A21		18		<i>Dalea bicolor</i>
P1A22		19		<i>Sporobolus airoide</i>
P2A22		20		<i>Asphodelus fistulosus</i>





P1A17		21		
P2A17		23		
P1A16		25		Simpisia
P2A16		26		





<p>P3A16</p>		<p>27</p>		<p><i>Dalea bicolor</i></p>
<p>P1A15</p>		<p>28</p>		<p><i>Dalea bicolor</i></p>
<p>P2A15</p>		<p>29</p>		<p><i>Sporobolus airoides</i></p>
<p>P3A15</p>		<p>30</p>		<p><i>Sporobolus airoides</i></p>






P1A14		31		Sporobolus airoides
P2A14		32		Dalea
P1A10		33		

P2A10		34		Sporobolus airoide
P1A11		35		Dalea bicolor
P2A11		36		Sporobolus airoide
P1A12		37		Dalea bicolor

P2A12		38	
P1A13		41	
P1A9		42	
P1A8		43	





P2A8		44		Sporobolus airoides
P1A7		45		Sporobolus airoides
P1A6		46		
P1A5		47		

<p>P3A1</p>		<p>48</p>		
<p>P4A1</p>		<p>49</p>		<p>Barcleyanthus salignie</p>
<p>P1A2</p>		<p>50</p>		
<p>P2A2</p>		<p>53</p>		


P1A3		51		Sporobolus airoides
P2A3		52		
P1A4		54		
P2A4		55		
P3A3		56		





P3A2		57		
P1A1		58		
P2A1		59		
P3A4		60		

<p>P1A23</p>		<p>9</p>		<p>Dalea bicolor</p>
<p>P1A24</p>		<p>7</p>		
<p>P2A24</p>		<p>8</p>		<p>Sporobolus airoide</p>
<p>P1A25</p>		<p>5</p>		<p>Sporobolus airoide</p>

P2A25		6		
P1A26		3		
P2A26		4		
P1A27		12		





<p>P1A28</p>		<p>13</p>		<p>Dalea bicolor</p>
<p>P2A28</p>		<p>14</p>	<p>Hierba de pampas</p>	<p>Cortaderia selloana</p>
<p>P1A29</p>		<p>15</p>		<p>Baccharis salicifolia</p>
<p>P2A29</p>		<p>16</p>		





<p>P1A30</p>		<p>17</p>		
<p>P2A30</p>		<p>18,19</p>		<p><i>Opuntia cantabrigiensesis</i></p>
<p>P1A31</p>		<p>1</p>		
<p>P2A31</p>		<p>2</p>		<p><i>Sporobolus airoide</i></p>

P1A32		20		
P1A33		21		
P1A34		22		
P1A35		27		

<p>P1A36</p>		<p>25</p>		<p><i>Sporobolus airoide</i></p>
<p>P1A37</p>		<p>23</p>		<p><i>Bouteloua gravilis</i></p>
<p>P1A38</p>		<p>31</p>		
<p>P1A39</p>		<p>26</p>		<p><i>Sporobolus airoide</i></p>

<p>P1A40</p>		<p>24</p>		
<p>P1A41</p>		<p>43</p>		<p>Sporobolus airoide</p>
<p>P1A42</p>		<p>47</p>		
<p>P1A43</p>		<p>46</p>		<p>Sporobolus airoide</p>

P1A44		48		
P1L1		32		Oenothera flava
P2L1		34		
P3L1		35		

<p>P4L1</p>		<p>36</p>		<p>Senecio saligneus</p>
<p>P5L1</p>		<p>37</p>		<p>Buddleja sessiliflora</p>
<p>P1L2</p>		<p>38</p>		
<p>P2L2</p>		<p>39</p>		<p>Sporobolus airoide</p>

P3L2		40		Buddleja cordata
P1L3		41		
P2L3		42		

Anexo 4.

Curva estándar para la cuantificación de arsénico por el método de generación de hidruros

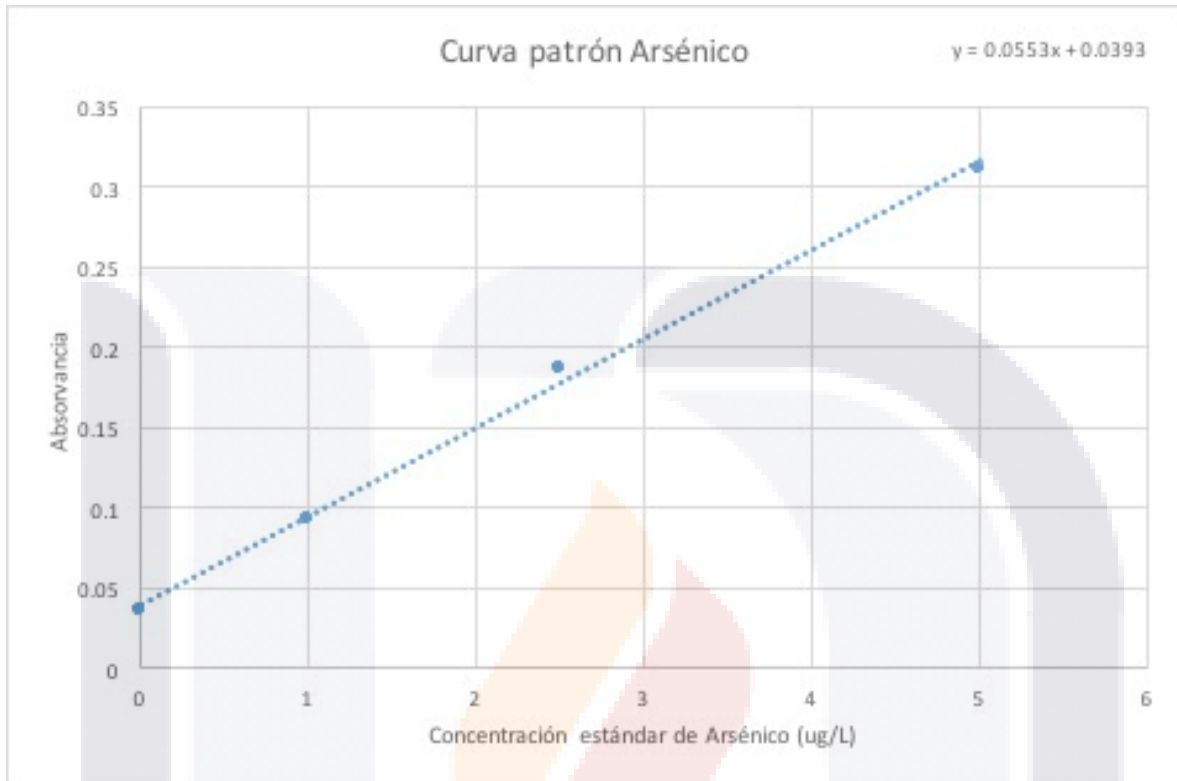


Figura A1. Curva estándar para cuantificación de Arsénico por generador de hidruros.

Anexo 5. Productos académicos obtenidos

Bull Environ Contam Toxicol
DOI 10.1007/s00128-016-1820-9



Evaluation of Environmental Risk of Metal Contaminated Soils and Sediments Near Mining Sites in Aguascalientes, Mexico

Kerry Nigel Mitchell¹ · Magdalena Samanta Ramos Gómez¹ ·
Alma Lilian Guerrero Barrera¹ · Laura Yamamoto Flores¹ ·
Juan Armando Flores de la Torre¹ · Francisco Javier Avelar González¹

Received: 14 December 2015 / Accepted: 6 May 2016
© Springer Science+Business Media New York 2016

Abstract A total of sixteen composite soil and sediment samples were collected during the rainy and dry season in Asientos, Aguascalientes, Mexico, an area recently affected by increased mining operations. Physicochemical characterization showed that substrates were moderately to strongly calcareous with predominantly neutral to slightly alkaline pH, moderate to high cation-exchange capacity and high organic matter content. Due to these conditions, Cd, Pb, Cu and Zn were not water leachable despite high concentrations; up to 105.3, 7052.8, 414.7 and 12,263.2 mg kg⁻¹ respectively. However, Cd and Pb were considered to be easily mobilizable as they were found predominantly associated with exchangeable and carbonate fractions, whereas Cu and Zn were found associated with Fe/Mn oxide and organic matter fractions. The results highlighted the influence of physicochemical substrate properties on the mobility of metals and its importance during the evaluation of the potential current and future risk metal contamination presents in affected areas.

Keywords Contamination · Leaching · Metals · Mobility · Sediments · Soils

Trace concentrations of most metals are naturally found in soils and sediments due to the geology of the parent material (Clarke et al. 2015). Though at low concentrations toxic effects are generally negligible, as concentrations increase, all metals, including essential metals pose

toxicological risks (Singh et al. 2011). Concentrations may increase as result of natural phenomena, though frequently this increase is associated with an increase in anthropogenic activities that may include industry, agriculture, mining and smelting (Tchounwou et al. 2012).

Once in the environment, the potential environmental risk metals pose, depends not only on their total concentration, but also on physicochemical conditions that play an important role in their solubility, mobility and toxicity (Gasparatos et al. 2015). Metal solubility generally decreases with increasing pH (Weiner 2012). Moisture content however, affects pH, resulting in a tendency towards neutrality in saturated conditions (Zheng and Zhang 2011). Studies have shown that during the decay of organic matter and the associated reduction in pH, humic and fulvic acids whose functional groups are capable of associating with metal cations are ionized, resulting in the remobilization of these cations (Carrillo-González et al. 2006), thus demonstrating the close relationship between pH and organic matter content. The cation-exchange capacity (CEC) of the substrate is also an important factor in the study of metal mobility, as it is a measure of the soils total capacity to hold exchangeable cations, resulting in less soluble metals in soils with higher CECs (Maier and Pepper 2009). Changes in salinity is another factor that affects the solubility and mobility of metals in soils and sediments. Increases in salinity increase the mobility of metals, primarily due to competition between salts derived from metal cations and positively charged species for specific adsorption sites, and also the complex formation capacity of anions derived from metal salts (Acosta et al. 2011).

Changes in these physicochemical characteristics may result in the release of metals associated to different geochemical fractions (Anju and Banerjee 2010). The study of

✉ Francisco Javier Avelar González
fjavelar@correo.uaa.mx

¹ Universidad Autónoma de Aguascalientes, Avenida
Universidad #940, Aguascalientes, 20231 Aguascalientes,
Mexico

Research Article

Spatial Variability of Heavy Metals in Soils and Sediments of “La Zacatecana” Lagoon, Mexico

Sergio A. Covarrubias ¹, Juan Armando Flores de la Torre,^{2,3} María Maldonado Vega,⁴ Francisco Javier Avelar González,² and Juan José Peña Cabriales ¹

¹Laboratorio de Microbiología Ambiental, Departamento de Bioquímica y Biotecnología, Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato, Irapuato, GTO, Mexico

²Universidad Autónoma de Aguascalientes, Avenida Universidad No. 940, Aguascalientes 20231, AGS, Mexico

³Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Campus Siglo XXI, Zacatecas, ZAC, Mexico

⁴Dirección de Planeación, Enseñanza e Investigación del Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío, Leon, GTO, Mexico

Correspondence should be addressed to Juan José Peña Cabriales; jpena@ira.cinvestav.mx

Received 29 August 2017; Accepted 19 November 2017; Published 21 January 2018

Academic Editor: Rafael Clemente

Copyright © 2018 Sergio A. Covarrubias et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Anthropogenic activities have greatly increased heavy metal pollution worldwide. Due to inadequate waste management, mining is one of the chief causes. One particularly affected area in Mexico is the “La Zacatecana” Lagoon, in the municipality of Guadalupe, Zacatecas. From colonial times until the mid-nineteenth century, about 20 million tons of mine tailings were deposited at this site. Here, we catalogue the heavy metal content and their distribution in soils and sediments of La Zacatecana. The mobility of lead in soils was also assayed by sequential extraction. Concentrations of the different metals analysed were as follows: Pb > Cr > As > Ni > Hg > Cd. Site VIII accumulated the highest amount of Pb (3070 mg·kg⁻¹) sevenfold more than the limit established by the Mexican standards for agricultural soils (i.e., 400 mg·kg⁻¹). On the other hand, the contents of Cd, Cr, and Ni were within the levels accepted by the above normativity, set at 37, 280, and 1600 mg·kg⁻¹, respectively. Concentrations of Hg and Pb were highest in the north-northwest zone of the lagoon and decreased towards the southeast. Except for Site VIII where 30% of the Pb was in an interchangeable form or bound to carbonates, most Pb in La Zacatecana soils was present in an unavailable form, associated with Fe-Mn oxides.

1. Introduction

Heavy metal pollution is largely attributable to human activities, especially mining. Extraction and purification of minerals generates vast amounts of solid wastes (also called mine tailings) that degrade soils and render them unsuitable for agriculture. Mining contributes greatly to soil degradation by generating waste that generally occupies large areas [1]. Much mining waste still contains large quantities of heavy metals that move through the environment in changed redox states. Once in soils, metals can enter the trophic chain via accumulation in plants [2], causing both environmental and animal health problems.

Mexico is one of the countries most affected by heavy metal pollution of soils, especially in the state of Zacatecas, the most important producer of silver in the country. The mine tailings from the old mining district of Zacatecas (located in the municipality of Guadalupe, Zacatecas) were deposited in the La Zacatecana Lagoon from the beginning of the Colonial period until the early XIX century. From 1920 to 2010, processing of tailings for the recovery of mercury also occurred [3, 4]. Since then, this zone has been used for agriculture, especially to cultivate beans and maize, but reports of accumulation of arsenic and lead in tissues of these plants have been published [5].

Studies of mercury levels and other toxic metals have been conducted in the La Zacatecana Lagoon [6], but



Effect of *Cortaderia Selloana* and *Sporobolus airoide* on the geoaccumulation index of Pb

Juan Armando Flores de la Torre^{1,2}, Kerry Mitchell³, Magdalena Samantha Ramos Gómez³, Laura Yamamoto Flores³, Juan José Peña Cabriales⁴, Alma Lilián Guerrero Barrera¹, Francisco Javier Avelar González¹

¹Universidad Autónoma de Aguascalientes, México, ²Universidad Autónoma de Zacatecas, México, ³St Georges University, Grenada, ⁴CINVESTAV Irapuato, México.

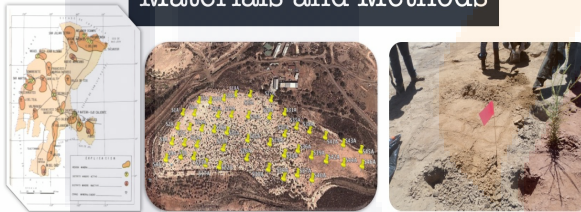
*armando.flores@uaz.edu.mx

Introduction

Due to mining being a historically important sector of the economy of Zacatecas, Mexico, substantial amounts of mining waste have been generated and inadequately disposed of near urban areas, representing a latent metal pollution problem for the population. Due to their potential use as phytostabilizers and their inherent adaptation to physicochemical conditions present, the identification and use of plants growing in the affected sites is of interest.



Materials and Methods



Sample processing



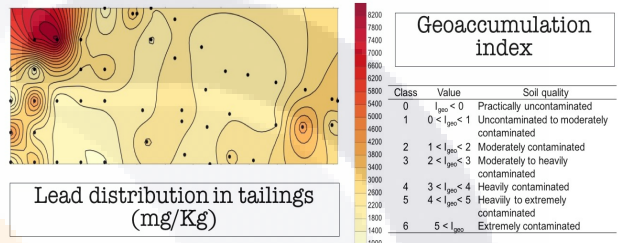
Plants identification and processing

Tailings processing

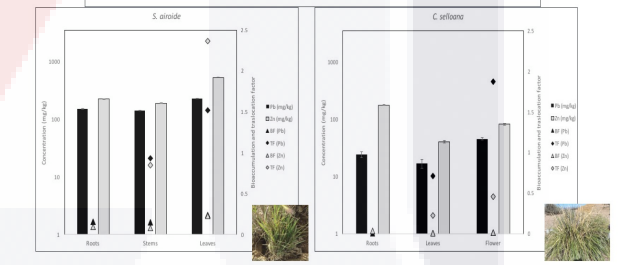
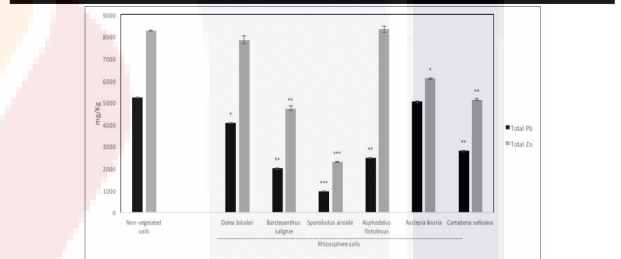


Metal quantification

Results



Lead distribution in plants (mg/Kg)



Metal	Igeo						
	Non-vegetated soil	Rhizosphere soils					
		<i>D. bicolor</i>	<i>B. salignae</i>	<i>S. airoide</i>	<i>A. fistulosus</i>	<i>A. linoria</i>	<i>C. selloana</i>
Pb	3.7	3.0	1.9	0.9	2.3	3.3	2.4

Conclusion

This capacity to reduce metal concentrations in soils but with limited metal accumulation in biomass, suggests that these plants can be evaluated for use in stabilizing metal polluted soils.

Minkina T. Et al., 2012; Zhiyuan L., et al., 2014; Otones V., et al., 2011; Ullike Jana, et al, 2012; Pratas et al., 2013; Guala et al., 2010



**OFFICIAL PAPER
PRESENTATION
CERTIFICATE**

This certificate confirms that the paper entitled:

**EFFECT OF CORTADERIA SELLOANA AND SPOROBOLUS AIROIDE ON THE
GEOACCUMULATION INDEX OF PB**

Authored by:

Juan Armando FLORES DE LA TORRE Kerry MITCHELL
 Magdalena Samantha RAMOS GÓMEZ Laura YAMAMOTO FLORES
 Juan José PEÑA CABRIALES Alma Lilian GUERRERO BARRERA
 Francisco Javier AVELAR GONZÁLEZ

Was submitted, peer-reviewed, accepted and presented to the IPC 2017 Conference.

Signed on behalf of the IPC 2017 Organizing Committee in Montréal on September 21, 2017.

Pierre Bolduc
 IPC 2017 Secretariat



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL I.P.N.
UNIDAD IRAPUATO

Unidad de Biotecnología e Ingeniería Genética de Plantas
Km 9.6 Libramiento Norte Carretera Irapuato-León, Apartado Postal 629, C.P. 36500, Irapuato, Gto. México
Tel. Conmutador (462) 623-9600, Fax Biotecnología (462) 624-5996, Fax Genética (462) 624-5849

A QUIEN CORRESPONDA

PRESENTE

Por este conducto me permito informar atentamente a Usted(s) que el M. en C. Juan Armando Flores de la Torre, docente de la Universidad Autónoma de Zacatecas y estudiante de Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Aguascalientes realizó una estadia de investigación en el Laboratorio a mi cargo (Ecología Microbiana) durante el periodo del 29 de Junio al 29 de Julio del año en curso.

La permanencia del M. en C. Juan Armando Flores de la Torre en el laboratorio a mi cargo, fue fructifera dada su disciplina, su alto compromiso de trabajo y su firme afán por realizar las tareas encomendadas. Su trabajo en el laboratorio se concentró en las siguientes actividades:

- Cuantificación de ácido indolacético
- Cuantificación de sideróforos
- Solubilización de fosfatos
- Identificación molecular de aislados bacterianos mediante amplificación del gen 16-S

Es importante destacar que el QFB Juan Armando Flores de la Torre, mostró una alta responsabilidad en su trabajo, así como una firme disposición para realizar tareas colaborativas, mostrando siempre excelentes relaciones laborales con todos los compañeros en el laboratorio.

Es ampliamente satisfactorio reconocer en él a un promisorio científico.

Atte.

Dr. Juan José Peña Cabriales
Profesor Investigador Titular
Cinvestav Unidad Irapuato

29/VII/2015



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIA BÁSICAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

**BÚSQUEDA DE BACTERIAS ARSÉNICO RESISTENTES EN
RIZÓSFERA PROVENIENTE DE PLANTAS PRESENTES EN
JALES MINEROS ZACATECANOS**

Alumna

Pérez González Beatriz Angeles

Tutor

Dr.en C. Francisco Javier Avelar González

Co-tutor

M.en C. Juan Armando Flores de la Torre

Aguascalientes, Ags. 05 de Junio de 2016



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

**CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA RESISTENTE A ZINC
DE RIZÓSFERA PROVENIENTE DE RESIDUOS MINEROS**

García Morales Irma Liliana

**Tutor: Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Co-Tutor: M. en C. Juan Armando Flores de la Torre**

Aguascalientes, Ags. Junio de 2016



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

**ESTUDIO BACTERIOLÓGICO DE RIZOSFERA PROVENIENTE DE
JALES MINEROS CON ALTO CONTENIDO DE PLOMO**

Rodríguez Trancozo Amparo Alejandra

Tutor: Dr. en C. Francisco Javier Avelar González

Co-Tutor: M. en C. Juan Armando Flores de la Torre

Aguascalientes, Ags. 16 de Junio de 2016.






La Universidad Autónoma de Aguascalientes, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Consejo Mexicano de Estudios de Posgrado
Otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

A: **ARMANDO FLORES DE LA TORRE, MA. CONSOLACIÓN MARTÍNEZ SALDAÑA, ALMA LILIAN GUERRERO BARRERA, MAGDALENA SAMANTHA RAMOS GÓMEZ, LAURA YAMAMOTO FLORES, FRANCISCO JAVIER AVELAR GONZÁLEZ**

Por haber participado en la Modalidad Cartel en la mesa de Ciencias Biológicas



"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags. 14, 15, 16 y 17 de Octubre de 2014.

M. en Admón. 
Rector

Dra. 
Directora General de Investigación y Posgrado





La Universidad Autónoma de Aguascalientes a través de el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
Otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

A: **Juan Armando Flores De la Torre, Alma Lilián Guerrero Barrera, Ma. Consolación Martínez Saldaña, Magdalena Samantha Ramos Gómez, Laura Yamamoto Flores, Francisco Javier Avelar González**

Por su participación en la Modalidad de Ponencia, en la mesa de Ciencias Biológicas

"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags. 14, 15, 16 de Octubre 2015

M. en Admón. 
Rector

Dra. 
Directora General de Investigación y Posgrado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

17^{vo}
Seminario de Investigación

La Universidad Autónoma de Aguascalientes a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado Otorgan la presente

CONSTANCIA

A: Juan Armando Flores De La Torre, Francisco Samuel Ramírez Ramírez, Kerry Nigel Mitchell, Magdalena Samantha Ramos Gómez, Laura Yamamoto Flores, Alma Lilián Guerrero Barrera, Francisco Javier Avelar González

Por su participación como ponentes con el trabajo
"Caracterización fisicoquímica y distribución de plomo en residuos mineros zacatecanos"
 en la Mesa de Ciencias Naturales y Exactas

"Se lumen Proferre"
 Aguascalientes, Ags., Mayo 2016

M. en Admón. Mario Andrade Cervantes
Rector

Dra. Guadalupe Ruiz Cuéllar
Directora General de Investigación y Posgrado

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

18
SEMINARIO INVESTIGACIÓN

La Universidad Autónoma de Aguascalientes a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado otorga la presente a:

Juan Armando Flores De la Torre, María Argelia López Luna, Laura Yamamoto Flores, Alma Lilián Guerrero Barrera, Irma Lilitiana García Morales, Francisco Javier Avelar González

Por su participación como ponentes con el trabajo:

.. Caracterización bacteriológica resistente a zinc, de rizósfera proveniente de residuos mineros

en la mesa de: Ciencias Naturales y Exactas

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Rector

Dra. en Admón. María del Carmen Martínez Serna
Directora General de Investigación y Posgrado

CONSTANCIA

"Se Lumen Proferre"
 Aguascalientes, Ags. Mayo de 2017