



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



ELEMENTOS TRAZA EN HOJAS DE MEZQUITE *Prosopis leavigata* y PIRUL *Schinus molle* Y SUELO COMO INDICADORES AMBIENTALES

Por:

María Elena Villaseñor Zuñiga

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de  
Ingeniera Agroecóloga



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



ELEMENTOS TRAZA EN HOJAS DE MEZQUITE *Prosopis leavigata* y PIRUL *Schinus molle* Y SUELO COMO INDICADORES AMBIENTALES

Por:

María Elena Villaseñor Zuñiga

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de  
Ingeniera Agroecóloga

Asesores

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

Dr. Hugo Magdaleno Ramírez Tobías

El trabajo de tesis titulado “**ELEMENTOS TRAZA EN HOJAS DE MEZQUITE *Prosopis leavigata* y PIRUL *Schinus molle* Y SUELO COMO INDICADORES AMBIENTALES**” fue realizado por: María Elena Villaseñor Zuñiga como requisito parcial para obtener el título de “Ingeniera Agroecóloga” y fue revisado y aprobado por el suscrito comité de Tesis.

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

---

Asesor

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

---

Asesor

Dr. Hugo Magdaleno Ramírez Tobías

---

Asesor

Ejido Palma de la Cruz, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a los 15 días del mes de octubre del 2012

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia: mi papá José Blas Villaseñor, a mi mamá, María Luisa Zuñiga Castillo y a mis hermanos (a), Aquilea, Fabiola, Fernando, Esmeralda, Emmanuel, Leticia y a mi tía Elena, sin olvidar también a mi amiguis Cecilia Ávila Castorena. Quienes me han dado todo su apoyo, comprensión, tolerancia y respeto hacia mi forma de pensar, y no dejar vencer en ningún momento.

Gracias por motivarme a salir adelante por instruirme el hábito del estudio y por enseñarme a no solo pensar en grande si no a ser grande, dejándoles este poema que siempre alienta.

Cuando las cosas vayan mal como a veces pasa.

Cuando el camino parezca cuesta arriba.

Cuando tus recursos mengüen y tus deudas suban, y al querer sonreír, tal vez suspiras.

Cuando tus preocupaciones te tengan agobiado, descansa si te urge, pero no te rindas.

La vida es rara con sus vueltas y rumbos, como todas muchas veces comprobamos. Y muchos fracasos suelen acontecer aun pudiendo vencer de haber perseverado.

Así es que no te rindas aunque el paso sea lento. El triunfo puede estar a la vuelta de la esquina.

El triunfo es el fracaso al revés: Es el matriz plateado de esa nube incierta que no te deja ver su cercanía...aun estando bien cerca.

No te rindas por favor no cedas aunque el frío queme aunque el miedo muerda aunque el sol se esconda y se calle el viento.

Por eso, decídette a luchar sin duda, porque en verdad, cuando todo empeora, el que es valiente, no se rinde, lucha!

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a Dios y a mis padres quienes me concedieron la vida en este mundo, a mis hermanos (a), al Sr. Roberto Ávila y la Sra. María Alicia Castorena por su apoyo, respeto, tolerancia y comprensión, a lo largo de mi vida. Así como la ayuda que me brindaron para este trabajo.

A la facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP/103-5/09/4244). Por el apoyo y las facilidades brindadas durante la realización de esta tesis.

A mis asesores Dr. Jorge Alcalá Jáuregui, Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz, Dr. Hugo Magdaleno Ramírez Tobías y MC. Alejandra Hernández Montoya, por tiempo, la paciencia, el apoyo, la confianza, comprensión, por sus consejos y por sus buenos deseos en todos los ámbitos de mi vida y sobre todo en la realización de este trabajo.

A los maestros de la facultad, por sus conocimientos y el apoyo brindado para mi formación como profesional.

A mis amigos por apoyarme en todo lo que ago., en creer en mí, por los momentos de diversión, risas, secretos, por todos los recuerdos, por todo porque ahí momentos en la vida que son especiales por sí solos. Compartirlos con las personas que quieres los convierte en mágicos e inolvidables. Gracias por estar conmigo jamás los olvidare: Zezzy, Chema, Gustavo, Mayra, Ing. Francisco Moreira Chory, Lupe's, Nicho, Betsa, Pame, Edgar, Isra, Nicol, Norma, Chuy, Dalia, Homero, Adalberto, Ángel, Mario y a don Miguel que siempre me regaña.

## CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
CONTENIDO.....	vi
INDICE DE CUADROS .....	viii
INDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
SUMMARY .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General .....	2
Objetivo Específico .....	2
Hipótesis .....	3
REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Elementos Traza .....	4
Clasificación de los Elementos Traza.....	4
Cobre .....	5
Efectos Ambientales del Cobre .....	5
Zinc.....	6
Efectos ambientales del Zinc.....	6
Fierro .....	7
Efectos ambientales del Fierro .....	7
Manganeso.....	8
Efectos ambientales del Manganeso.....	9
Magnesio .....	9
Efectos ambientales del Magnesio .....	10
Disponibilidad de Elementos Traza en Suelo.....	10
Disponibilidad de Elementos Traza en Plantas .....	11
Mezquite .....	11
Pirul .....	12

Pruebas de Toxicidad.....	13
Rábano.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
Localización y Características del Sitio Experimental .....	15
Toma de Muestras .....	16
Material Foliar .....	16
Suelo.....	16
Material Utilizado para la Determinación de los Elementos Traza en Hojas y Suelo	16
Procedimiento para la Determinación de Elementos Traza en Material Foliar y Suelo	20
Análisis de Muestras en Suelo.....	21
Pruebas de Toxicidad en Rábano.....	21
Diseño Experimental .....	22
RESULTADOS .....	23
Análisis Material Foliar .....	23
Análisis de Suelo .....	25
Pruebas de Toxicidad.....	26
DISCUSIONES .....	32
CONCLUSIONES .....	34
LITERATURA CITADA.....	35

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Material de campo y laboratorio para las muestras de material foliar...	17
2	Material de campo y laboratorio para las muestras de suelo.....	17
3	Material de campo y laboratorio para las muestras de rábano.....	18
4	Equipos utilizados en la determinación de elementos traza en material foliar.....	18
5	Equipos utilizados en la determinación de elementos traza en suelo.....	18
6	Lista de los reactivos utilizados en el análisis de muestras de material folia.....	19
7	Lista de los reactivos utilizados en el análisis de muestras de suelo.....	19
8	Concentración de elementos traza no significativos en material foliar...	23
9	Concentración de elementos traza no significativos en suelo.....	26
10	Pruebas de toxicidad en rábano.....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Símbolo del elemento cobre.....	6
2	Símbolo del elemento Zinc.....	7
3	Símbolo del elemento de fierro.....	8
4	Símbolo del manganeso.....	9
5	Símbolo de magnesio.....	10
6	Ubicación de sitios de muestreo.....	15
7	Preparación para la digestión	20
8	Concentración de cobre en material foliar en los diferentes usos de suelo.....	24
9	Concentración de Zn en material foliar en los diferentes usos de suelo.....	24
10	Concentración de Mg en hojas de acuerdo al efecto significativo de la especie .....	25
11	Concentración de Cu en suelo de los diferentes usos de suelo.....	26
12	Concentración de Zn en suelo en los diferentes usos de suelo.....	27
13	Concentración de Mg en suelo de acuerdo al efecto significativo de temporada.....	27
14	Concentración de Fe en suelo de acuerdo al efecto significativo de la temporada.....	28
15	Relación de tamaño de crecimiento de tallo en rábano.....	29
16	Relación de tamaño de crecimiento de la raíz.....	30
17	Relación de peso seco en tallo.....	30
18	Relación de peso seco de la raíz repetición 1 y 2.....	31

## RESUMEN

Determinar la presencia de elementos traza en material foliar y suelo, permitió conocer el grado de contaminación y calidad de las especies y suelos, para fines productivos y ecológicos. Se desarrollo un estudio en los municipios de Soledad de Graciano Sánchez y San Luis Potosí México, para determinar la presencia de Cobre, Zinc, Magnesio, Manganeso y Fierro, como indicadores de impacto ambiental de las diferentes zonas de uso de suelo. Para llevar a cabo el estudio se tomaron quince muestras de hojas y quince de suelo para la evaluación. Las zonas que se tomaron como referencia fueron: el uso de suelo agropecuario, residencial rural, comercio y servicio, residencial urbano y minero. Así mismo se realizó una prueba piloto con la planta de rábano para saber su índice de concentración de estos elementos traza. Se diseño un modelo lineal para analizar el efecto del uso de suelo, especie y temporada. Se encontró que en las especies evaluadas (mezquite y pirul), la mayor concentración de estos elementos fueron el Cu y Zn en la zona de uso de suelo minero. Entre las dos especies anteriores la especie pirul resulto con mayor concentración en Mg. Para el suelo, fue significativo los elementos traza de Cu y Zn prevaleciendo la zona minera. De acuerdo a la EPA y otras fuentes consultadas se encontró que los niveles de contaminación en planta y suelo rebasan los límites de toxicidad.

De acuerdo al análisis realizado por las estaciones del año (primavera 2010, otoño 2009, verano 2009 e invierno 2010) en suelo, se determinó que la temporada otoño se encontró la mayor concentración de Mg y Fe.

Siguiendo la metodología por Dutka (1996) se realizo el bioensayo con la especie rábano, utilizando los 5 diferentes usos de suelo (agropecuario, residencial rural, comercio y servicio, residencial urbano y minero) y como testigo un sustrato de peat moss. Tomando como variables a medir tamaño de raíz, tamaño de tallo y peso de la planta, donde el mayor crecimiento de raíz se observo en el sustrato de peat moss y la mayor altura de tallo se presentó en el uso de suelo residencial rural.

## SUMMARY

To determine the presence of trace elements in soil and leaf material, allowed determining the degree of contamination and quality of species and soils, productive and ecological purposes. A study was performed in the municipalities of Soledad de Graciano Sánchez and San Luis Potosí, Mexico, for the presence of Copper, Zinc, Magnesium, Manganese and Iron, as indicators of environmental impact of different land use areas. To carry out the study fifteen samples were taken and fifteen sheets of soil for evaluation. Areas that were taken as reference were: agricultural land use, rural residential, trade and service, urban residential and mining. Also be piloted with horseradish plant to know the degree of concentration of these trace elements. Linear model was designed to analyze the effect of land use, species and season. We found that in the studied species (mesquite and pepper tree), the highest concentrations of these elements were Cu and Zn in the mining land use. Between the two previous species pirul species resulted in greater concentration in Mg. For the floor, were significant trace elements Cu and Zn mining area prevail. According to the EPA and other sources consulted found that pollution levels in plant and soil exceed toxicity thresholds.

According to analysis by the seasons (spring 2010, fall 2009, summer 2009 and winter 2010) in soil, it was determined that the autumn was found the highest concentration of Mg and Fe.

Following the methodology by Dutka (1996) bioassay was performed with horseradish species, using five different land uses (agriculture, rural residential, trade and service, urban residential and mining) and witness a substrate of peat moss. Taking as variables to measure size of root, stem size and weight of the plant, where the highest root growth was observed in the substrate of peat moss and increased stem height was made in the rural residential land use.

## INTRODUCCIÓN

Los elementos traza tienen una gran importancia para la funcionalidad de los sistemas ecológicos, sin embargo, han sido asociados a problemas de contaminación cuando sus niveles exceden las concentraciones en suelo y en la vegetación. Para Alarcón-Corredor (2009) elementos como el zinc, hierro y cobre, tienen una importancia tanto nutricional como de sus interrelaciones metabólicas. Galán *et al.* (2008) indican, que metales con pesos atómicos menores al del Fe con frecuencia pueden ser metales contaminantes, por ello, resulta mejor hablar de contaminación por “elementos traza”. La mayoría de los contaminantes inorgánicos son “metales pesados”. A veces, la contaminación del suelo se puede producir también por altas concentraciones de elementos mayoritarios como el Fe. Las diversas actividades humanas como la agricultura, ganadería, comercio, urbanización y mineralización generan una gran cantidad de residuos que incorporan al ambiente elementos como el Fe, Mn, Mg, Cu y Zn (ATSDR, 2005). Los metales pesados son potencialmente contaminantes devastadores ya que contaminan el aire, el agua y el suelo utilizados por las plantas y los demás eslabones de las cadenas tróficas. Sus efectos en las plantas incluyen necrosis en las puntas de las hojas e inhibición del crecimiento de las raíces. Para Prieto (2007) en el suelo, los metales pesados pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o bien, compuestos insolubles o parcialmente solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos.

Para Aragón *et al.* (2006) la presencia de estos elementos contaminantes en el ambiente son por fuentes naturales tales como: incendios forestales, polen, bacterias y esporas de hongos; así como por fuentes antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, incineración de residuos, fundición y refinación de metales. South (1990) menciona que estos contaminantes afectan el desarrollo de las plantas ya que las macropartículas son atrapadas y filtradas por las hojas y ramas, las cuales, son lavadas por la precipitación y escurridas al suelo. Además, las especies vegetativas captan los agentes contaminantes, absorbiéndolos a través de los poros en la superficie foliar. Existen plantas herbáceas y arbustivas que absorben los minerales en base a hojas y raíces (Martínez, 1995).

En San Luis Potosí, se han realizado estudios de especies vegetales como el mezquite (*Prosopis laevigata*), huizache (*Acacia farnesiana*) y pirul (*Schinus molle*) donde determinó la presencia de metales pesados y partículas suspendidas en hojas (Alcalá *et al.*, 2010). A su vez, se les asocia a su distribución y fragmentación de hábitat derivados de diferentes usos de suelo como el minero, urbano, rural y agropecuario, que han determinado la presencia de metales pesados en estas especies. Aragón (2006) señala la zona se ha desarrollado alrededor de una gran actividad industrial minero-metalúrgica, con más de un siglo de operaciones, se han incrementado los niveles de contaminación por partículas con elementos pesados. Esto ha provocado problemas de salud en la población, atribuidos exclusivamente a las refinerías de cobre y zinc de la ciudad. Este escenario, fundamenta la necesidad de continuar estudiando no solo especies vegetativas que se encuentran en hábitats fragmentados, sino también estudiar las de uso agrícola. El presente estudio, está dirigido a determinar la presencia de elementos traza en suelo y dos especies vegetativas, y su asociación en el cultivo de rábano a través de pruebas de toxicidad para evaluar el impacto ambiental de diferentes usos de suelo y su variación en las temporalidades.

#### **Objetivo General:**

- Determinar la presencia de elementos traza en material foliar en dos especies arbóreas y suelo ubicadas en el corredor ecológico en soledad de Graciano Sánchez y San Luis Potosí como indicador de evaluación de impacto ambiental.

#### **Objetivos Específicos:**

- Determinar las concentraciones de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn en material foliar en las especies de *Prosopis leavigata* y *Schinus molle* y suelo en el corredor ecológico.
- Conocer la relación entre especies y usos de suelos con mayor capacidad de concentración de elementos traza, y su relación con la temporalidad.
- Determinar la especie arbórea con mayor capacidad de concentración de elementos traza, y su relación con diferentes usos de uso y temporalidad.

- Evaluar la incidencia de cinco usos de suelo con presencia de elementos traza en pruebas de toxicidad en rábano (*Raphanus sativus L*) como indicador de contaminación ambiental.

### **Hipótesis**

- Las especies pirul y mezquite establecidas dentro del corredor ecológico pueden concentran elementos a través de su dosel, por lo tanto, estos podrán ser utilizados como indicadores de la contaminación de metales pesados por la dinámica de los usos de suelo donde se desarrollan.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Elementos Traza**

Rodríguez (2004) denomina elementos traza, a aquellos elementos químicos que tienen una concentración baja en las plantas (inferior al 0,1%), independientemente de que sean esenciales para su metabolismo o tengan efecto tóxico. Alarcón (2009) considera que aunque presenten cantidades muy pequeñas, en los tejidos corporales, son nutrientes esenciales para desempeñar una serie de funciones indispensables para mantener la vida. Estos elementos ocurren naturalmente en todos los lugares y suelos del mundo. Algunos son esenciales para los seres humanos, plantas y animales. Es bien sabido que las plantas se ven en situaciones de carencia de dichos elementos traza, causando diversos desórdenes que disminuyen el crecimiento o la viabilidad del organismo (Mendoza *et al.*, 2010).

### **Clasificación de los Elementos Traza**

Los elementos traza se dividen de acuerdo a la frecuencia y a su significación biológica. Según Alarcón–Corredor *et al.*, (2009, citado por Frieden, 1985) de acuerdo con su frecuencia, los elementos traza incluyen tres metales muy activos: hierro (Fe), cinc (Zn) y cobre (Cu). Para Alarcón (2009) los elementos traza que cumplen estos requisitos y que en la actualidad se consideran esenciales para el hombre y las diversas especies son: Cr, Cu, Co, F, I, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn, Ni, Si, As y Sn.

La clasificación tóxica de elementos traza es identificada por elementos como el plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), por sus propiedades dañinas a concentraciones relativamente bajas. Esta clasificación, tiene un valor limitado puesto que todos los elementos traza son potencialmente tóxicos, si se ingieren o se inhalan en cantidades muy elevadas durante largos periodos de tiempo (Reinhold, 1975).

Portillo (1995) clasifica según la función de los elementos en: Macroelementos o elementos mayoritarios que corresponde a los elementos minerales cuantitativamente más importantes en nuestro organismo y cuyas necesidades diarias son elevadas. Comprenden este grupo: azufre, calcio, fosforo, magnesio y los electrolitos: sodio, potasio y cloro. Microelementos y elementos traza que son elementos presentes en el

organismo en pequeñas cantidades; dentro de este grupo se encuentra el hierro, yodo, flúor, cobre, zinc, manganeso y cloro.

## **Cobre**

El cobre es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente en rocas, suelo, agua y el aire. Es un elemento esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida. Las plantas y los animales deben absorber cobre de los alimentos o bebidas que ingieren, o del aire que respiran, es tanto esencial como tóxico para organismos vivos. El cobre se usa para fabricar muchos productos diferentes como: alambres, cañerías y láminas de metal (ATSDR, 2004). Es importante distinguir entre los iones libres de  $\text{Cu}^{2+}$  y el Cu presente en los tejidos como un complejo unido a aminoácidos u otros biocompuestos. Las consideraciones de solubilidad sugieren que el Cu como metal libre, existe en concentraciones extremadamente bajas en el citosol celular, en el rango femtomolar. La mayoría de los tejidos contienen  $\sim 5 \times 10^{-5}$  M de Cu total (Alarcón, 2009).

### Efectos ambientales del Cobre

Para ATSDR, (2004) los efectos ambientales del Cu son los siguientes:

- El cobre es liberado por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura, aguas residuales a ríos y lagos. El cobre también es liberado desde fuentes naturales como polvo atmosférico, vegetación en descomposición e incendios forestales.
- El cobre liberado al ambiente generalmente se adhiere a partículas de materia orgánica, arcilla, tierra o arena.
- El cobre no se degrada en el medio ambiente. Los compuestos de cobre pueden degradarse y liberar al aire, el agua o los alimentos.

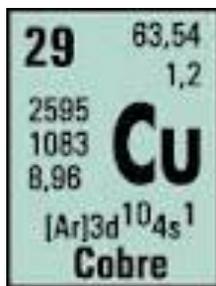


Figura 1. Símbolo del elemento de Cobre.

## Zinc

El zinc, es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. Se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos. Es un metal brillante blanco-azulado, tiene muchos usos comerciales como revestimiento para prevenir corrosión, en compartimientos de baterías secas y, mezclado con otros metales, para fabricar aleaciones como el latón y bronce. (ATSDR, 2005). Algunos compuestos comunes de cinc, se encuentran en sitios de desechos peligrosos incluyen al cloruro de cinc, óxido de cinc, sulfato de cinc y sulfuro de cinc. Los compuestos de cinc son ampliamente usados en la industria para fabricar pinturas, caucho, tinturas, preservativos para maderas y ungüentos (ATSDR, 2005). Las funciones del cinc, poseen una serie de propiedades químicas que lo hacen único, es muy útil en varios sistemas biológicos, y por lo tanto, participó de un gran número de procesos metabólicos. Milner (1990) menciona que a diferencia del cinc el Fe y del Cu, no cambia su estado electroquímico, por lo que no es útil en reacciones de oxido-reducción; sin embargo, por la misma razón, el organismo no corre riesgo de daño por oxidación, lo que permite que el Zn sea transportado y utilizado más fácilmente.

### Efectos ambientales del zinc

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, (ATSDR, 2005) señala los siguientes efectos ambientales que causa el Zn.

- Cierta cantidad de zinc es liberada al ambiente por procesos naturales, pero la mayor parte proviene de actividades humanas tales como la minería, producción de acero, combustión de petróleo e incineración de basura.
- Se adhiere al suelo, sedimentos y a partículas de polvo en el aire.

- La lluvia y la nieve remueven las partículas de polvo con zinc del aire.
- Dependiendo del tipo de suelo, algunos compuestos de zinc pueden movilizarse al agua subterránea y a lagos, arroyos y ríos.
- La mayor parte del zinc en el suelo permanece adherido a partículas de suelo y no se disuelve en agua.

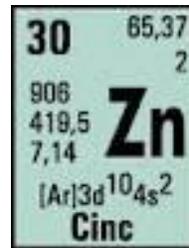


Figura 2. Símbolo de Zinc.

## Fierro

Es un elemento químico, símbolo Fe, número atómico 26 y peso atómico 55.847. El uso más extenso del fierro, es para la obtención de aceros estructurales; también se producen grandes cantidades de hierro fundido y de hierro forjado. Entre otros usos del fierro y de sus compuestos se tienen la fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos pulidores) y abrasivos (colcótar) (Emsley, 2001). El Fierro es uno de los nutrientes vegetales que más problemas presenta en cuanto a la nutrición de los cultivos. Esto se debe en gran medida a que, en sistemas airados en el rango de los pH fisiológicos, la concentración de los iones  $\text{Fe}^3$  y  $\text{Fe}^2$  es inferior <sup>-15</sup>, insuficiente para cubrir necesidades del vegetal (Juárez, 1845).

### Efectos Ambientales del Fierro

El fierro-O-arsenito, pentahidratado puede ser peligroso para el medio ambiente; se debe prestar especial atención a las plantas, el aire y el agua. Se recomienda encarecidamente que no se permita que el producto entre en el medio ambiente porque persiste en éste (Emsley, 2001). A pesar de su abundancia en suelos y rocas, es uno de los micronutrientes más deficiente. El Fe es el cuarto elemento más abundante en la corteza continental después del O, Si y Al, constituyendo alrededor del 15% en peso de

la corteza terrestre. Es, con diferencia, el microelemento más abundante en los suelos, ya sea como constituyente mineral o bien bajo la forma de óxidos e hidróxidos. No obstante, en suelos con horizontes enriquecidos en materia orgánica, el Fe aparece principalmente en forma de quelatos. Su contenido en los suelos templados suele variar entre el 1 y 5%. En casos aislados, pueden encontrarse con valores cercanos al 10%. En el suelo, el contenido de Fe fluctúa en el rango de 0,20 al 5%, en un orden de magnitud similar al de la roca subyacente (Emsley, 2001).

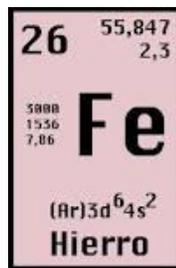


Figura 3. Símbolo del elemento Fierro.

### **Manganeso**

Elemento químico de símbolo Mg y número atómico 12. Su masa atómica es de 24,305 u. Es el séptimo elemento en abundancia constituyendo del orden del 2% de la corteza terrestre y el tercero más abundante disuelto en el agua de mar. El ion magnesio es esencial para todas las células vivas (Emsley, 2001). Este metal que se encuentra en forma natural en diversos tipos de rocas. Es de color plateado, pero no se encuentra en esta forma en la naturaleza. Se combina con otras sustancias tales como oxígeno, azufre o cloro. El manganeso ocurre naturalmente en la mayoría de los alimentos y además se puede agregar a algunos alimentos. Se usa principalmente en la producción de acero para mejorar su dureza, rigidez y solidez. También se puede usar como aditivo en la gasolina para mejorar el octanaje de la gasolina (ATSDR, 2008).

## Efectos ambientales de manganeso

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, (ATSDR, 2005) señala los siguientes efectos ambientales que causa el Mn.

- El manganeso puede ser liberado al aire, el suelo y el agua durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de manganeso.
- El manganeso no puede ser degradado en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma o adherirse o separarse de partículas.
- En el agua, tiende a adherirse a partículas o a depositarse en el sedimento.
- La forma química del manganeso y el tipo de suelo determinan la rapidez con que se moviliza a través del suelo y la cantidad que es retenida en el suelo.
- El aditivo para la gasolina que contiene manganeso puede degradarse rápidamente en el ambiente cuando se expone a la luz natural, liberando así manganeso.

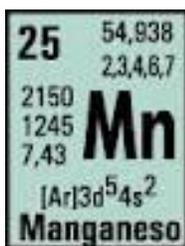


Figura 4. Símbolo del Manganeseo.

## Magnesio

Elemento químico, metálico, de símbolo Mg, número atómico 12, peso atómico 24.312. El magnesio es blanco plateado y muy ligero. Su densidad relativa es de 1.74 y su densidad de 1740 kg/m<sup>3</sup> (0.063 lb/in<sup>3</sup>) o 108.6 lb/ft<sup>3</sup>). El magnesio se conoce desde hace mucho tiempo como el metal estructural más ligero en la industria, debido a su bajo peso y capacidad para formar aleaciones mecánicamente resistentes. Este elemento es esencial en la respiración y en el metabolismo nitrogenado, actuando, en ambos, como activador enzimático ya que regula un gran número de decarboxilasas y dehidrogenasas (Emsley, 2001). Las funciones más importantes del magnesio están en relación con la

fotosíntesis y el metabolismo glúcido. Sin embargo, en las hojas, solamente una pequeña fracción del elemento se halla en las clorofilas (Moreno, 2010).

### Efectos Ambientales del Magnesio

Hay muy poca información disponible acerca de los efectos ambientales de los vapores de óxido de magnesio. Si otros mamíferos inhalan vapores de óxido de magnesio, pueden sufrir efectos similares a los de los humanos.

En un espectro del 0 al 3, los vapores de óxido de magnesio registran un 0,8 de peligrosidad para el medioambiente. Una puntuación de 3 representa un peligro muy alto para el medioambiente y una puntuación de 0 representa un peligro insignificante. Los factores tomados en cuenta para la obtención de este ranking incluyen el grado de perniciosidad del material y/o su carencia de toxicidad, y la medida de su capacidad de permanecer activo en el medioambiente y si se acumula o no en los organismos vivos. No tiene en cuenta el grado de exposición a la sustancia (Emsley, 2001).

El polvo de magnesio no es sospechoso de ser altamente dañino para el medioambiente. En forma de óxido de magnesio se ha establecido una la toxicidad en el agua en 1000 ppm (Hann *et al.*, 1974).

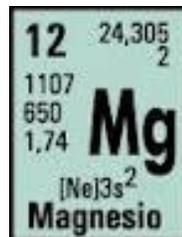


Figura 5. Símbolo del elemento Magnesio.

### Disponibilidad de Elementos Traza en Suelo

El suelo es uno de los elementos clave en todos los ecosistemas terrestres en los que cumple cinco funciones esenciales: 1) el suelo es el soporte físico para el crecimiento de las plantas, les proporciona el agua, el aire y los nutrientes esenciales para su desarrollo y las protege de ciertos elementos fitotóxicos y de cambios bruscos de temperatura. 2) el suelo es el factor principal que controla el flujo del agua en el ciclo hidrológico así como

de las especies químicas dentro de los ciclos biogeoquímicos. 3) el suelo actúa como sistema de reciclado natural donde los productos de desecho son transformados en otros compuestos disponibles para las generaciones siguientes, o bien, son retenidos actuando como sumidero, i.e. CO<sub>2</sub>. 4) es el hábitat de una gran variedad de organismos vivos, desde microorganismos hasta reptiles. Por último, 5) es el soporte para la infraestructura, necesario para el desarrollo de la vida humana (Álvarez, 2001).

La fracción de elementos traza biodisponible está constituida fundamentalmente por las fracciones del elemento soluble e intercambiable (existente en los sitios de intercambio catiónico o aniónico de los componentes del suelo). Una buena estimación de la disponibilidad es la especiación: proceso y cuantificación de las distintas especies, formas o fases en que se encuentra un elemento traza en el suelo. Cabrera *et al.* (2007).

### **Disponibilidad de Elementos Traza en Plantas**

La presencia de elementos traza en plantas se relaciona en gran medida a la serie de metabolismos que interactúan en su crecimiento y desarrollo. Barak (2003) los considera como una serie de elementos químicos esenciales para la vida o para la subsistencia de un organismo determinado ya que participan dentro de las funciones metabólicas de todos los organismos, debido a que promueven el crecimiento de las plantas pero no son absolutamente necesarios para completar el ciclo de vida. Esto se debe a que los elementos se clasifican en macro y micro nutrientes. Los macro elementos son: Azufre, Calcio, Fosforo, Magnesio, Potasio, Flúor y Sodio, los micro elementos son: Cobalto, Cobre, Manganeso, Hierro, Zinc, Cromo, Molibdeno y Selenio.

### **Mezquite**

Los mezquites son importantes en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas; son el hábitat para una buena cantidad de fauna silvestre y mejoran la estética del paisaje. El género *Prosopis* (mezquites) se encuentra en una gran variedad de suelos y climas; comprende 44 especies ampliamente distribuidas en las regiones áridas y semiáridas de Asia, África y América; de las cuales, 40 son nativas de América. En nuestro país se encuentran alrededor de 10 especies de las cuales sólo tres se encuentran en el estado de Baja California Sur (Hasting *et al.*, 1972).

La forma del árbol o arbusto es espinoso, caducifolio, de 2 a 12 m (hasta 15 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho hasta de 40 cm. Bajo condiciones favorables de suelo y humedad, tienen hábito arbóreo y en condiciones de aridez extrema arbustivo, con una copa amplia y plana, follaje muy ralo y extendido. Hojas alternas, bipinnadas y compuestas de 11 a 19 cm de largo, pecíolo ensanchado en la base de 3 a 9 cm de largo; pinnas 1 a 2 pares por hoja y de 8 a 14 cm de largo; folíolos 13 a 16 pares por hoja, 19 a 22 mm de largo, su tronco corto y torcido, monopódico o ramificado desde la base. Ramas jóvenes con espinas. Ramas terminales dispuestas en zigzag, con espinas rectas pareadas, de 15 a 45 mm de largo y nodales. Inflorescencias dispuestas en racimos espigados, cilíndricos, 6 a 8 cm de largo, en las axilas de las hojas; cáliz pequeño, ancho campanulado, de 1.3 a 1.5 mm de largo; corola amarillenta, de 3 a 4 mm de largo, pétalos 5, libres, linear-elípticos, vaina fibrosa e indehiscente, recta, linear, subcilíndrica, de 11 a 21 cm de largo por 0.8 a 12 mm de ancho, submoniliforme, amarilla-violácea, con estrías rojas longitudinales, articulaciones subcuadradas. Semillas aplanadas rodeadas por una pulpa dulce, cafés sin endospermo. Su tamaño va de 6 a 9 mm de largo por 4 a 6 mm de ancho y 2 a 4 mm de grosor. Testa delgada y permeable al agua (CONABIO, 2009).

### **Pirul**

*Schinus molle* es un árbol, a veces arbusto, frondoso, siempre verde alcanza una altura de hasta de 15 m de alto, su tronco generalmente robusto, muy ramificado, las ramas y ramillas colgantes, con escasos y pequeños pelos que se pierden con la edad, hojas alternas, regularmente imparipinnadas (es decir hojas compuestas por numerosos foliolos a ambos lados del raquis y éste rematado por un foliolo), de 10 a 30 cm de largo, sobre peciolo de 2 a 6 cm de largo, el raquis ligeramente alado, los foliolos (raramente 15) 21 a 27 (raramente 41) en cada hoja, son sésiles, y por su ubicación opuestos, subopuestos o alternos, su forma va de linear a lanceolada, y su tamaño de (raramente 1.5) 2.5 a 6 cm de largo y de 0.3 a 1 cm de ancho, su ápice va de agudo a acuminado y usualmente está curvado en el extremo, el margen es entero o algo aserrado, su textura es membranácea a ligeramente coriácea, son glabros o presentan pelos pequeños y escasos, y además poseen abundante resina aromática, flores pequeñas, con simetría

radial, de color amarillo-verdoso a blanquecinas, unisexuales pero frecuentemente con rudimentos del otro sexo (en las flores femeninas, los estambres están reducidos y las anteras vacías, y en las flores masculinas el ovario es rudimentario); cáliz en forma de copa, con 5 lóbulos ovados a semicirculares, de unos 0.5 mm de largo, con pelos en el margen; pétalos 5, insertos en la base de un disco anular, elípticos a oblongos, de unos 2 mm de largo; estambres 10 dispuestos en dos series, insertos en el disco, con filamentos finos de diferente longitud, de (raramente 0.8) 1 a 1.5 (raramente 2) mm de largo, anteras oblongas, de unos 0.8 mm de largo; ovario súpero, tricarpelar, trilobular pero con una sola cavidad fértil y las otras 2 cavidades extremadamente reducidas de manera que aparece como unilocular, con un óvulo colgante, los estilos son 3, cortos y gruesos, estigmas capitados, fruto en forma de drupa, pequeño, carnoso durante su desarrollo, seco en la madurez, globoso, color rojo, brillante, de alrededor de 5 mm de diámetro, glabro, con una sola semilla (CONABIO, 2009).

### **Pruebas de Fitotoxicidad**

La germinación, es un proceso complejo cuyo éxito depende de una serie de factores externos o ambientales como agua, luz, temperatura, ciertos gases y sustancias químicas. Los factores más importantes son temperatura, humedad y luz. Estos factores pueden ejercer su efecto en la germinación interactuando entre si, o alguno puede predominar en la germinación (García *et al*, 2006).

Los factores internos más importantes son la latencia y la viabilidad de la semilla, pero estos pueden ser modificados por el ambiente.

Para que una semilla germine debe encontrarse en condiciones favorables para que se desencadenen dichos procesos como un adecuado establecimiento de agua, adecuada temperatura, cierta composición de gases en la atmósfera, así como luz, en ciertos casos. Pero varía de especie a especie y esto está determinado por las condiciones ambientales que prevalecieron durante la formación de la semilla, factores hereditarios, posición de la semilla dentro de la planta madre, por la edad de la semilla, y en algunas ocasiones por las condiciones de colecta y almacenamiento de las mismas (García *et al.*, 2006).

Los ensayos biológicos son herramientas de diagnóstico adecuadas para determinar el efecto de agentes físicos y químicos sobre organismos de prueba bajo condiciones

experimentales específicas y controladas. Estos efectos pueden ser tanto de inhibición como de magnificación, evaluados por la reacción de los organismos, tales como muerte, crecimiento, proliferación, multiplicación, cambios morfológicos, fisiológicos o histológicos, (Ronco *et al.*, 2004).

### **Rábano**

CONABIO (2009), indica que el rábano (*Raphanus sativus* L) y el rabanito, que son la misma especie, se cultivan comúnmente y a veces se asilvestran. Existen poblaciones silvestres en el centro y, sobre todo en las partes altas de Chiapas. El rábano es una planta domesticada muy antigua. Posiblemente se deriva de *Raphanus maritima* de las costas del Mediterráneo de la familia de las crucíferae. Su tamaño es de 0.5 a 1.20 m de altura, con un tallo liso y glabro o algo hispido, ampliamente ramificado, sus hojas son finamente pubescentes con bordes irregularmente dentados, pétalos de 11 a 20 mm de largo, toda la flor de 2 a 2.2 cm de diámetro, violáceos a rosados a blancos, con nervaduras conspicuas de color más oscuro, luego de la fecundación los pétalos pierden su color tornándose casi blancos, fruto y semillas silícuas indehiscentes, glabras, gruesas, presentan varias nervaduras longitudinales, carnosas, cilíndrico-lanceoladas u oblongo-cónicas, no presentan contracciones transversales o muy ligeras entre semillas, atenuadas ligeramente hacia el ápice, de 3 a 8 cm de largo por 5 a 10 mm de diámetro, con 2 a 3 semillas por fruto, semillas globosas, opacas, rojizo a ocráceas a café rojizas, finamente reticuladas, de aproximadamente 3 a 3.5 mm de diámetro, su raíz es carnosa, pivotante, profunda y sus características especiales son el olor a rábano al estrujarse.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y Características del Sitio Experimental

El área de estudio. Comprende el área rural-urbana entre los municipios de Soledad de Graciano Sánchez (22°11' N y 100°56' W) y San Luis Potosí (24° 29'N y 102° 18'W). Colinda al norte con Zacatecas, Nuevo León y Tamaulipas; al este con Tamaulipas y Veracruz de Ignacio de la Llave; al sur con Hidalgo, Querétaro y Guanajuato y al oeste con Zacatecas (Figura 6).

El clima de la superficie estatal es: seco templado 27.7%, 20.1% Seco semicálido, 12.8% Semiseco templado, 10.3% Semiseco semicálido, 9.5% Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, Otros tipos de clima 19.6% (INEGI, 2010).

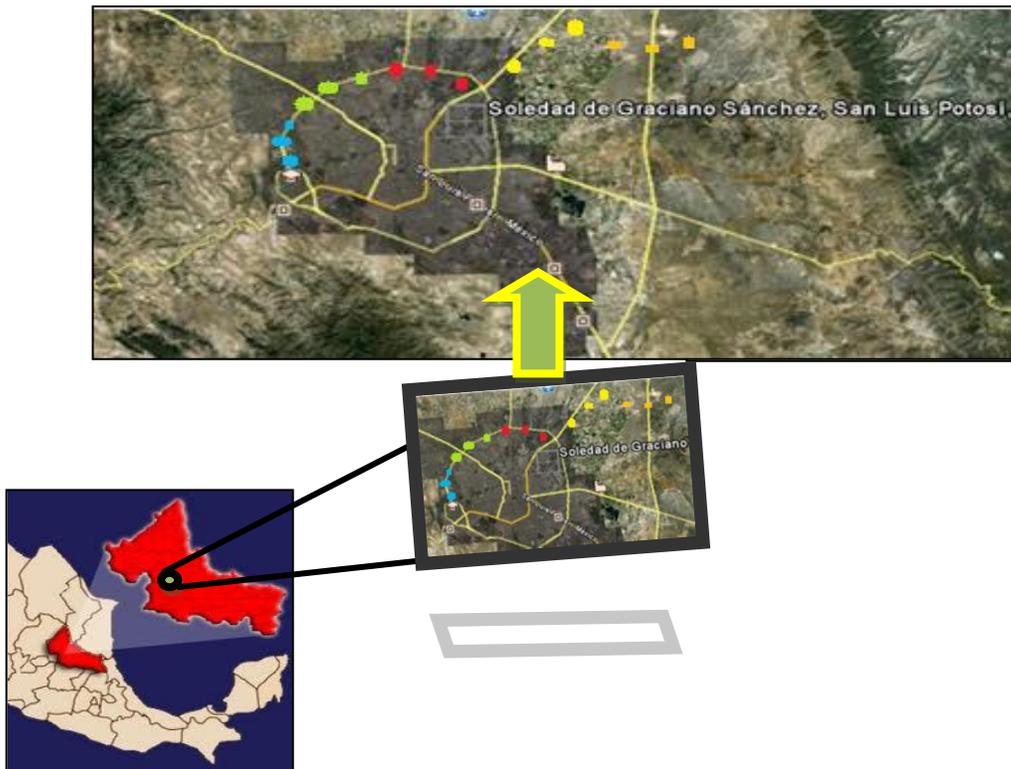


Figura 6. Ubicación de sitios de muestreo.

## **Toma de muestras**

### Material foliar

Se determinaron los principales usos de suelo predominantes: agrícola, residencial rural, comercial y servicios, residencial urbano y minero, en un tramo lineal basado en camino carretero de aproximadamente 40 Km. Sobre estos sitios se ubicaron tres puntos de muestreo por uso de suelo localizando la asociación entre individuos de *Schinus molle* (Pirul) y *Prosopis laevigata* (Mezquite). Esto de acuerdo a la metodología descrita por Alcalá *et al.* (2010). Se consideraron individuos mayores a 1,60 metros tomando muestras de 25 g a 30 g de material foliar de cada especie. Las muestras fueron definidas durante cuatro temporadas (verano, otoño, invierno y primavera 2010 y 2011).

### Suelo

Con la finalidad de evaluar la presencia de elementos traza se estableció la metodología empleada por Alcalá (2009), destaca el establecimiento realizado de 15 puntos de muestreo a lo largo del corredor ecológico de 40 Km de longitud, con 3 muestreos por cada uso de suelo: agrícola-ganadero, residencial rural, comercio y servicio, residencial urbano, y minería. Las temporadas para realizar los muestreos fueron verano y otoño 2009, invierno y primavera en 2009-2010, realizando un muestreo por temporada. Las muestras se tomaron en un rango de 0-20 cm de profundidad teniendo en cuenta la presencia de dos especies arbóreas distribuidas en este gradiente: pirul y mezquite, con la finalidad de determinar la presencia de Mg, Mn, Cu, Fe y Zn, en el suelo.

## **Material utilizado para la determinación de los elementos traza en hojas y suelo**

En el presente trabajo de investigación, se realizaron estudios con la finalidad de evaluar la presencia de elementos traza en material foliar y suelo de la zona, con especies arbóreas, estos son: Mg, Mn, Fe, Cu y Zn. Se consideraron otros criterios empleados por Alcalá (2010). En este tema se enlistan los reactivos, materiales y equipo utilizado en muestreo de hojas, suelo y las pruebas de toxicidad en rábano, así como la descripción de los procedimientos experimentales que se observan en los cuadros 1, 2, 3,4,5,6 y7.

Cuadro 1. Material de campo y laboratorio para las muestras de material foliar.

Material	Modelo	Marca
Bolsas de plásticas	Polietileno (28x32cm)	Comercial
Guantes	Nitrilo NiTri Sense	
Cinta	Type	Tuck
Cámara fotográfica		
Matraz	kjedahl (1000 ml)	Pyrex
Matraz volumétrico	25 ml Clase A	Pyrex
Embudo	D=6cm	Comercial
Papel filtro	No.42	Whatman
Frasco plástico	Policarbonato (60 ml)	Nalgene
Mortero		Lofivitrex
Capsulas		Lofivitrex

Cuadro 2. Material de campo y laboratorio para las muestras de suelo.

Material	Modelo	Marca
Bolsas de plásticas	Polietileno (28x32cm)	Comercial
Guantes	Nitrilo NiTri Sense	
Cinta	Type	Tuck
Cámara fotográfica		
Pala	Corta de punta	Comercial
Tamiz	Malla 2	Duvesa
Matraz	kjedahl (1000 ml)	Pyrex
Matraz volumétrico	25 ml Clase A	Pyrex
Embudo	D=6cm	Comercial
Papel filtro	No.42	Whatman
Frasco plástico	Policarbonato (60 ml)	Nalgene

Cuadro 3. Material de campo y laboratorio para las muestras de rábano.

Material	Modelo	Marca
Vasos	Termico	Comercial
Camara fotográfica		
Marcador	Aceite	Esterbrook
Semilla de rábano		Comercial
Tamiz	Malla 2	Duvesa

Cuadro 4. Equipos utilizados en la determinación de elementos traza en material foliar.

<b>Aparato/Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>
Balanza analítica	Explorer	O haus
ICP-MASAS		Thermo-Orion
Mufla	30400	Furnace
Campana extractora	Flujo laminar	Fabricant local

Cuadro 5. Equipos utilizados en la determinación de elementos traza en suelo.

<b>Aparato/Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>
Balanza analítica	Explorer	O haus
Campana extractora	Flujo laminar	Fabricant local
ICP-MASAS		Thermo-Orion
Parrilla digestora	Digestora (6 planchas)	
Plancha de calentamiento	50 cm/30 cm	
Espectrofotómetro de		
Aborción Atómica	220	Varian

Cuadro 6. Lista de los reactivos utilizados en el análisis de muestras de material foliar.

Reactivo	Formula		
	Química	Pureza	Fabricante
Ácido clorhídrico	HCl	68%	Fermont
Agua	H <sub>2</sub> O	Desionizada	Facultad de Agronomía/UASLP
Magnesio (100ppm)	Mg	Certificado	Merck
Fierro (100 ppm)	Fe	Certificado	Merck
Cobre (100ppm)	Cr	Certificado	Merck
Manganeso (100ppm)	Mn	Certificado	Merck
Zinc (100ppm)	Zn	Certificado	Merck

Cuadro 7. Lista de los reactivos utilizados en el análisis de muestras de suelo.

Reactivo	Fórmula		
	Química	Pureza	Fabricante
Ácido nítrico	HNO <sub>3</sub>	Grado de Absorción atómica	EMD
Agua	H <sub>2</sub> O	Desionizada	Facultad de Agronomía/UASLP
Ácido clorhídrico	HCl	68%	Fermont
Magnesio (100ppm)	Mg	Certificado	Merck
Fierro (100 ppm)	Fe	Certificado	Merck
Cobre (100ppm)	Cu	Certificado	Company
Manganeso (100ppm)	Mn	Certificado	Merck
Zinc (100ppm)	Zn	Certificado	Merck

## Procedimiento para la Determinación de Elementos Traza en Material Foliar y Suelo

Para realizar los procesos de elementos traza en material foliar se siguieron los siguientes pasos:

- 1.- Las muestras de hojas secas de cada especie arbórea, fueron molidas utilizando un mortero.
- 2.- Se peso el contenido de hojas utilizando la balanza analítica, con una cantidad de 0.5 gr.
3. El peso del contenido se coloco en capsulas de porcelana.
4. Posteriormente se colocaron las capsulas de porcelana dentro de la mufla la cual generalmente se utiliza para carbonizar completamente sustancias orgánicas, para la prueba llamada " Residuo de ignición " ó " Cenizas." Alcanzan temperaturas de hasta 1200 °C. Para alcanzar la temperatura de 450°C se requiere aproximadamente una hora. Teniendo esta temperatura se cronometraba cuatro horas para después apagarse ya que era lo requerido para el análisis. Este equipo se utilizo para la incineración de hojas de material foliar.
5. Posteriormente las muestras se extraen de la mufla al siguiente día, se les añade la preparación de HCl 1N preparado, se filtran con papel whatman no. 42 en matraz volumétrico de 25 ml para su aforo con HCl 1N. Como se puede mostrar en la Figura 7.



Figuras 7. Preparación para la digestión.

6. Por ultimo estas muestras se colocan en frascos de platico con una etiqueta y se sitúan en el refrigerador. Estas digestiones se llevan a la facultad de ciencias químicas donde se

encuentra el ICP-MASAS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo) este equipo tiene una técnica de análisis inorgánico que es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud (ng/l – mg/l).

### **Análisis de Muestras en Suelo**

Para la determinación de elementos traza o esenciales (Mg, Mn, Cu, Fe y Zn) en suelo se procedió con los siguientes pasos:

- 1.- Las muestras fueron llevadas al laboratorio SAP de la facultad de Agronomía.
2. Se secaron las muestras y se tamizó el suelo mediante la malla del N°.35 y/o 40.
- 3.- Una vez tamizado el suelo se depositó en bolsa de polietileno y se etiquetaron las bolsas con sus respectivos nombres.
- 4.- Se pesó 1gr de suelo en un matraz kjhendal de 100 ml y se le adicionó una mezcla ácida de 3:1 HCl-HNO<sub>3</sub>.
5. Se sometieron a calentamiento en la parrilla digestora de seis plazas, durante una hora aproximadamente hasta obtener un líquido claro.
6. Se dejaron enfriar durante dos horas.
7. Posteriormente las muestras fueron filtradas con papel whatman no. 42 en matraz volumétrico de 25 ml para su aforo con HCl 1N.

### **Pruebas de Toxicidad en Rábano**

Se tomaron muestras en los cinco diferentes usos de suelo (Agropecuario, Residencial Rural, Comercio y servicio, Residencia Urbano y Minero) y un testigo que fue el sustrato de peat moss de los cuales se realizaron 2 repeticiones, con un total de 42 muestras.

- Estas muestras de suelo se tamizaron y se colocaron en vasos térmicos,
- Se les sembraron 3 semillas de rábano, de las cuales si germinaban las tres se les quitaban dos para solo dejar una.
- Se regaban cada tercer día, estaban ubicadas en un lugar donde el la mañana le daba el sol y en l a tarde la sombra.
- No se les aplicó ningún fertilizante

- Por ultimo se llevaron a laboratorio y se les midió el tamaño de altura y raíz así como su peso en húmedo y seco.

Se siguió el método de Dutka (1996) para fundamentar los aspectos y determinar los criterios de selección de especies los cuales son los siguientes:

- Significado ambiental en relación con el área de estudio.
- Amplia distribución e importancia comercial.
- Facilidad de cultivo y adaptabilidad a las condiciones de laboratorio

### **Diseño Experimental**

Se diseño un análisis estadístico (modelo general lineal) utilizando el paquete Minitab, para evaluar el efecto del sitio (uso de suelo) y la temporada sobre la presencia de elementos traza así como sus posibles interacciones. Este se utilizo para la evaluación de elementos traza en material foliar y suelo. Fue utilizado un nivel de significancia de  $\alpha \leq 0.05$ ; y un nivel de confiabilidad del 95%. Para la comparación de las concentraciones de Cu, Fe, Mg, Mn y Zn, se consideró la: NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, ATSDR, EPA y The Handbook of Trace Elements.

En lo que respecta la prueba de toxicidad en rábano, se tomo un diseño de prueba con un solo grupo de la especie, donde se evalúan como variables a medir longitud en tallo y raíz así, como el peso seco de la planta para ello se aplicó el análisis Anova

## RESULTADOS

### Análisis de Material Foliar

Con respecto al análisis de los elementos traza en hojas de mezquite y pirul, se encontró efecto significativo del uso de suelo y especie vegetal. El efecto del uso de suelo se presentó sobre las concentraciones de Cu ( $p=0.064$ ) y Zn ( $p=0.025$ ). En el cuadro 8 se muestra los elementos no significativos. En caso del cobre la mayor concentración de este elemento fue en los árboles ubicados en el uso de suelo minero con  $31.44 \pm 6.732 \text{ mg kg}^{-1}$  y la más baja en el uso de suelo residencial rural con  $5.30 \pm 6.732 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 8). Con respecto al elemento Zn, los arboles ubicados en el usos de suelo minero presentaron la mayor concentración con  $238.61 \pm 49.029 \text{ mg kg}^{-1}$  mientras que el más bajo fue en el uso residencial rural con  $22.71 \pm 49.029 \text{ mg kg}^{-1}$ . (Figura 9). Por otra parte el factor especies, tuvo efecto significativo en las concentraciones de Mg ( $p=0.004$ ) en las hojas de las dos especies. La mayor concentración de este elemento fue en las hojas de pirul con  $2787.82 \pm 239.445 \text{ mg kg}^{-1}$  mientras que las hojas de mezquite tuvieron la concentración más baja con  $1685.48 \pm 239.445 \text{ mg Kg}^{-1}$  (Figura 10).

Cuadro 8. Concentraciones de elementos traza no significativos en material foliar.

Elementos traza en material foliar								
Mg			Mn			Fe		
Mean	SE Mean	Valor de p	Mean	SE Mean	Valor de p	Mean	SE Mean	Valor de p
1801.79	378.596	0.385	117.79	44.17	0.844	107.33	39.794	0.341
2000.54	378.596		82.21	44.17		120.38	39.794	
2778.92	378.596		90.2	44.17		176.9	39.794	
2503.5	378.596		119.3	44.17		212.97	39.794	
2098.5	378.596		57.45	44.17		134.95	39.794	

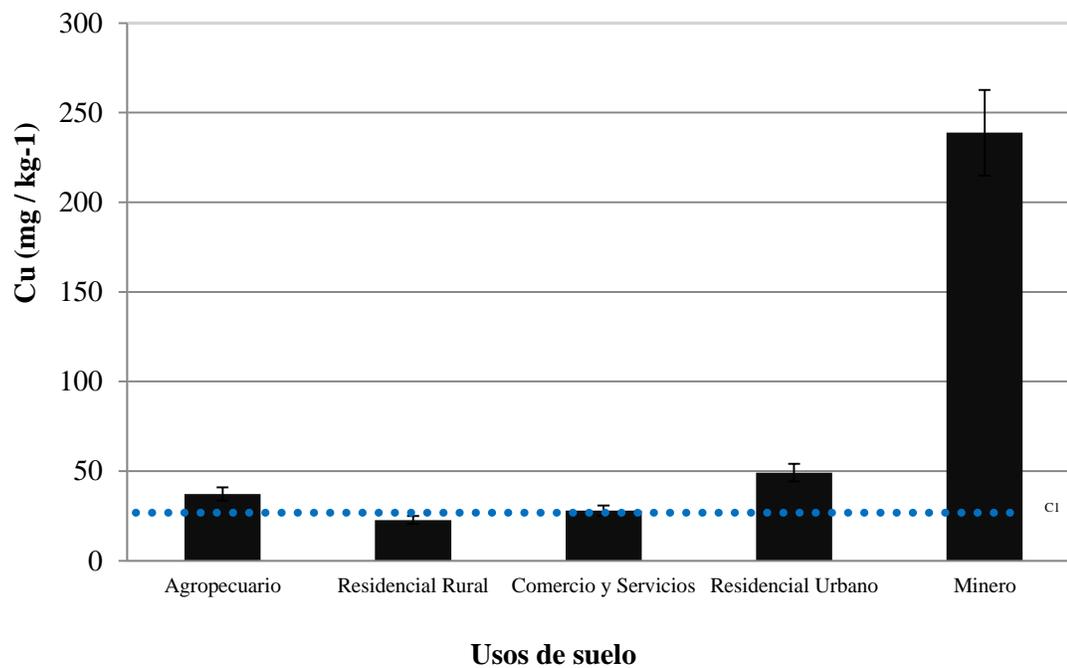


Figura 8. Concentración de cobre en material foliar en los diferentes usos de suelo. (C1.   
 ••• Nivel normal de concentración de Cu en plantas según Alloway (1990), 7 a  $25 \text{ mg Kg}^{-1}$ ).

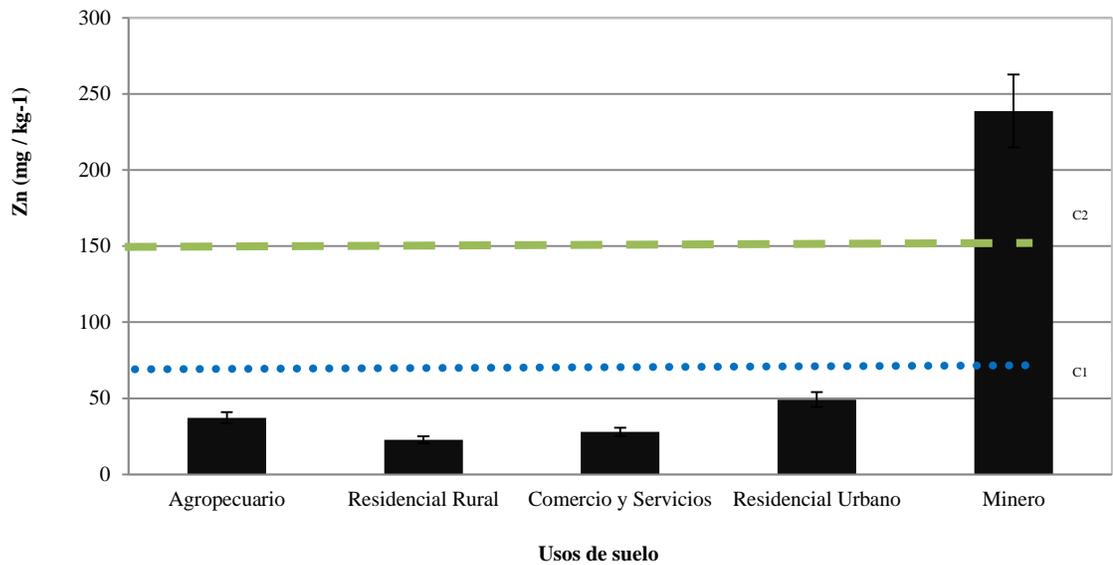


Figura 9. Concentración de Zn en material foliar en los diferentes usos de suelo. (   
 ••• C1. Nivel normal de Zn en plantas según Cameron (1992) 21 a 70 mg Kg<sup>-1</sup>.   
 — C2. Nivel normal de Zn en plantas según Alloway (1990) 27 a 150 mg Kg<sup>-1</sup> ).

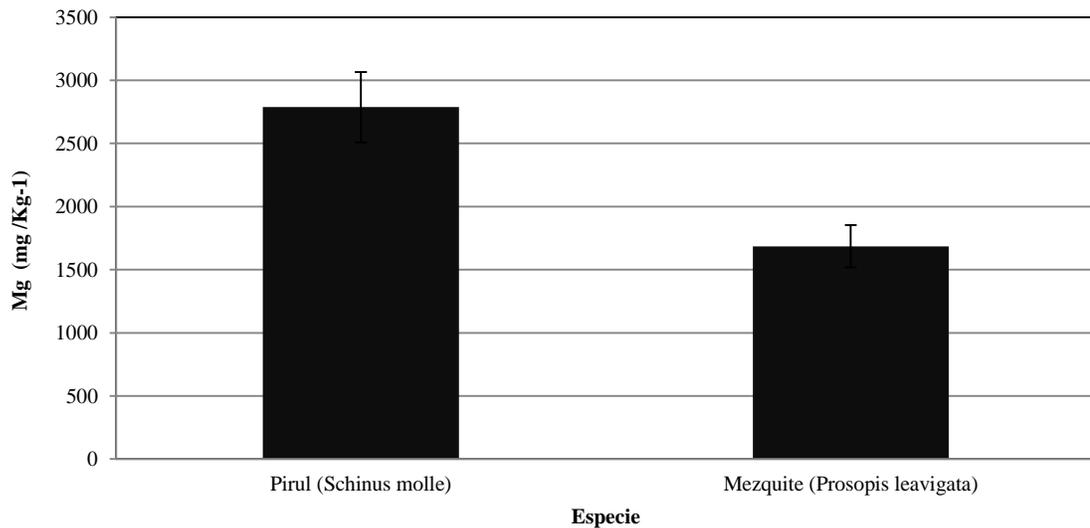


Figura 10. Concentración de Mg en hojas de acuerdo al efecto significativo de la especie.

## Análisis de Suelo

Con respecto al análisis de elementos traza en muestras de suelo, se encontró efecto significativo del uso de suelo sobre las concentraciones de Cu ( $P=0.000$ ) y Zn ( $P=0.000$ ). En el cuadro 9 se muestra los elementos no significativos. Para el caso de cobre, la mayor concentración fue en el uso de suelo minero con  $126.85 \pm 17.70 \text{ mg kg}^{-1}$  y la más baja concentración en el uso agropecuario con  $18.33 \pm 17.70 \text{ mg kg}^{-1}$ . El Zn presentó su mayor concentración en el uso de suelo minero con  $205.59 \pm 24.22 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que la menor concentración fue en el uso de suelo agropecuario con  $49.03 \pm 24.22 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 11 y Figura 12).

Por otra parte, el efecto temporada se presentó en las concentraciones de Mg ( $p=0.000$ ) y Fe ( $p=0.000$ ). Respecto al Mg su mayor concentración fue en las muestras de suelo tomadas en la temporada de otoño con  $830 \pm 60.23 \text{ mg kg}^{-1}$  y la más baja temporada fue en primavera 2010 con  $270.79 \pm 60.23 \text{ mg kg}^{-1}$ . Por último el Fe obtuvo su mayor concentración fue en la temporada de otoño con  $4216.75 \pm 219.26 \text{ mg kg}^{-1}$  y la más baja en la temporada de primavera 2010 con  $1790.53 \pm 219.26 \text{ mg kg}^{-1}$ . Figuras 13 y 14.

Cuadro 9. Concentraciones de elementos traza no significativos en suelo.

Elementos traza en suelo								
Mg			Mn			Fe		
Mean	SE Mean	Valor de p	Mean	SE Mean	Valor de p	Mean	SE Mean	Valor de p
1322.48	194	0.145	71.28	27.33	0.793	1049.71	368.24	0.857
1298.14	194		78.07	27.33		883.63	368.24	
1955.41	194		100.31	27.33		1084.15	368.24	
1652.07	194		107.34	27.33		1453.58	368.24	
1526.88	194		68.22	27.33		1053.29	368.24	

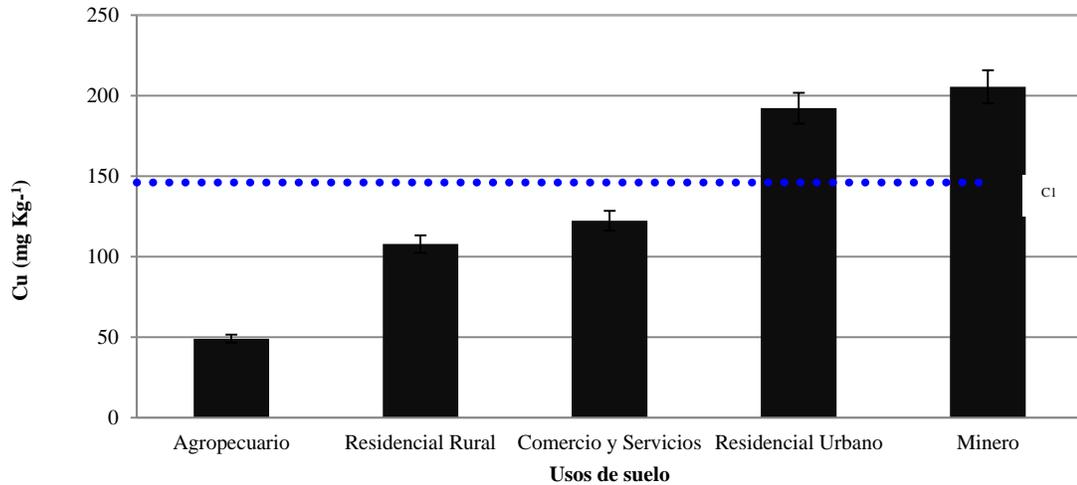


Figura 11. Concentración de Cu en suelo de los diferentes usos de suelo. (• C1. Nivel normal de cobre en suelo según Alloway (1990) 10 a 80 150 mg Kg<sup>-1</sup>).

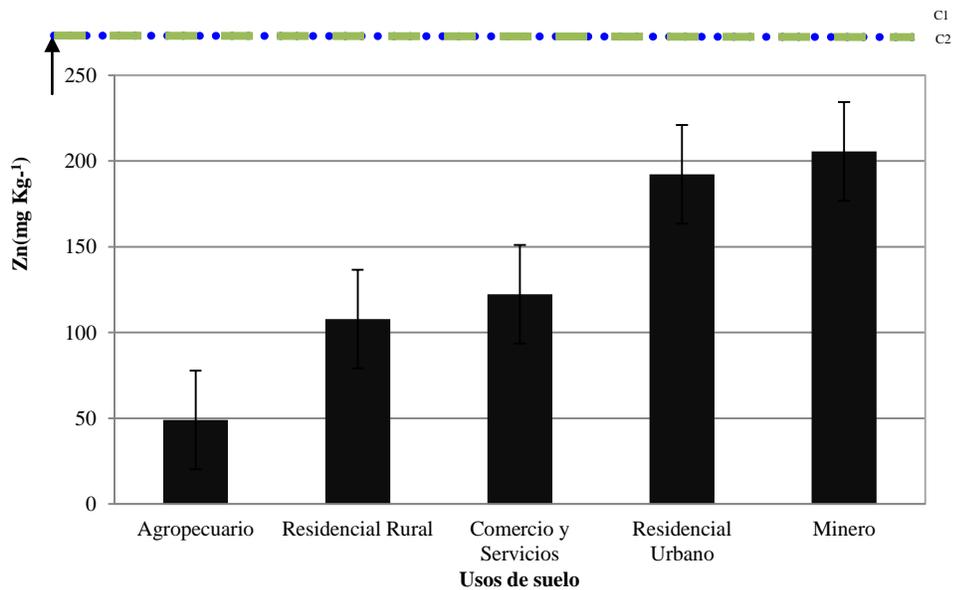


Figura 12. Concentración de Zn en suelo de los diferentes usos de suelo. (• C1. Nivel norma de Zinc en suelo, es de 10 mg Kg<sup>-1</sup> a 300 mg Kg<sup>-1</sup> (Alloway *et al.*, 1990). — C2. Niveles normal de Zinc en suelo, es de 10 mg Kg<sup>-1</sup> a 300 mg Kg<sup>-1</sup>, Según The Handbook of trece elements).

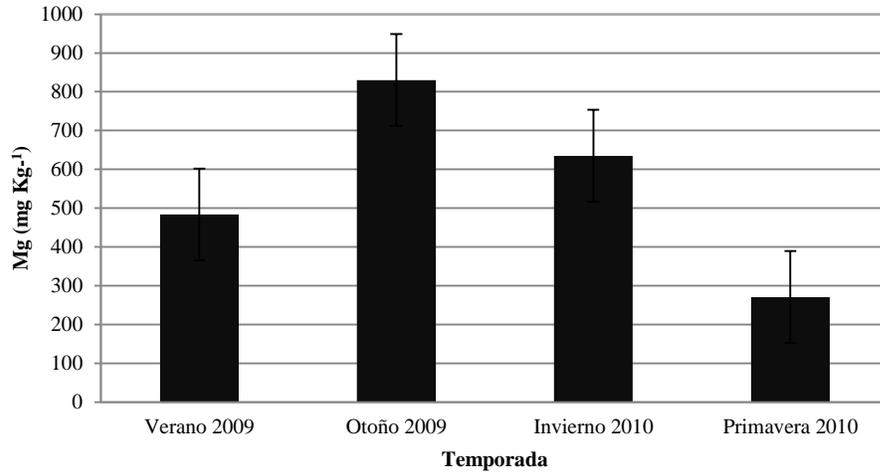


Figura 13. Concentración de Mg en suelo de acuerdo al efecto significativo de temporada.

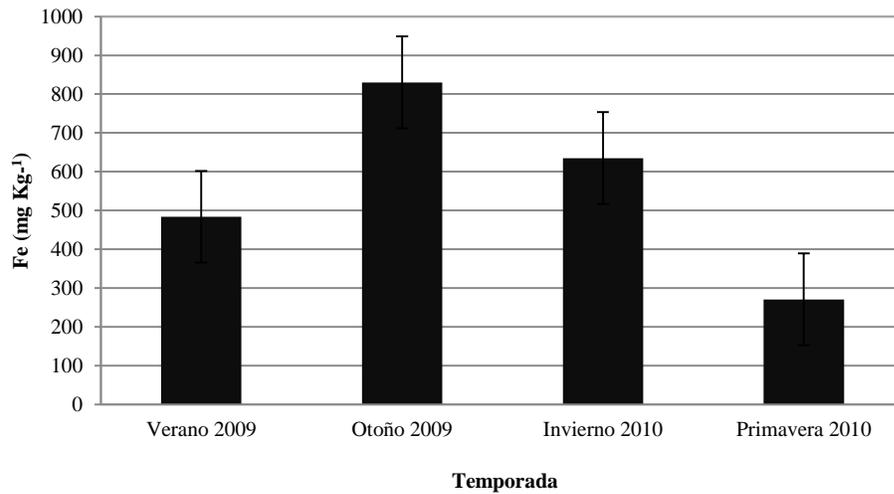


Figura 14. Concentración de Fe en suelo de acuerdo al efecto significativo de la temporada.

## Pruebas de Toxicidad

Al realizar las pruebas de toxicidad en cultivos de rábano con muestras de suelo de los sitios agrícola-ganadero, residencial rural, comercio y servicio, residencial urbano y minería, tomada en primavera 2011 se presentan los siguientes resultados de esta prueba basados en la medición de tamaño de tallo y tamaño de altura. En el cuadro 10 se muestra los usos de suelo y el testigo que se tomaron en cuenta para esta evaluación de estas pruebas de toxicidad.

Cuadro 10. Pruebas de toxicidad en rábano.

	Planta/Temporada	Uso de suelo
Repetición 1 y 2		Agropecuario
		Residencial Rural
	Rábano/Primavera	Comercio y Servicio
		Residencial Urbano
		Minero
		Testigo

En la repetición 1 se observó que los promedios del tamaño de tallo de las plantas de rábano, fueron mayores en los suelos de la zona residencial rural (23.3 cm) y los de menor tamaño fueron en la zona agrícola con (8 cm). Con relación a la segunda repetición, los valores encontrados del tamaño del tallo fueron mayores en la zona residencial rural (9.7) y de menor tamaño en la zona agropecuaria (2cm). Figura 15.

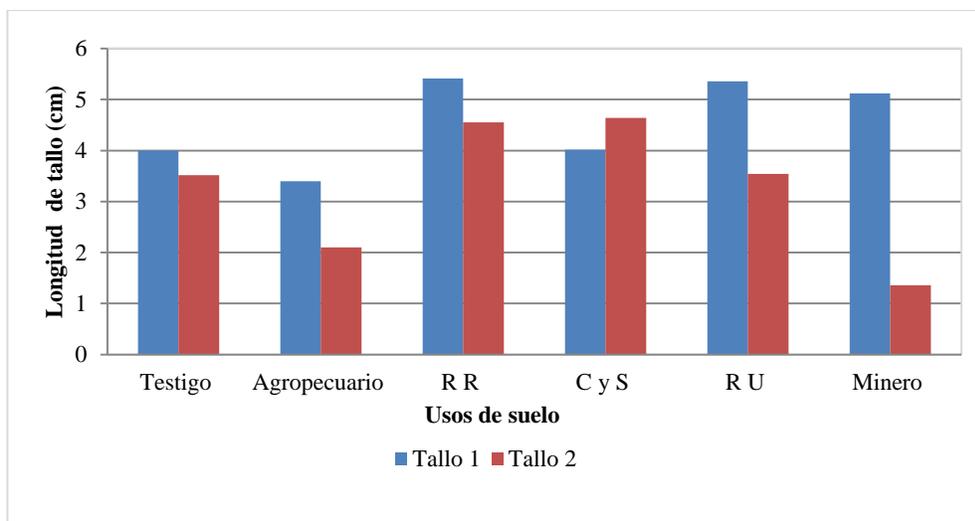


Figura 15. Relación de tamaño de crecimiento de tallo en rábano.

En la Figura 16 se observa que el crecimiento de raíz de las plantas de rábano fue mayor en las plantas cultivadas en peat moss y posteriormente las muestras de suelo de la zona residencial urbano con un promedio de 18,6 cm; mientras que las plantas que presentaron menor crecimiento de raíz fue en la zona de comercio y servicio con un promedio de 1,3 cm respecto a la repetición 1. Por lo que respecta a la segunda repetición, la de mayor crecimiento de raíz fue en los suelos de la zona agropecuaria con promedio de 11,7cm, mientras que la de menor crecimiento de raíz fue en suelos de la zona de comercio y servicio con un promedio de 1,5 cm. En la figuras 17 y 18 se muestra la diferencia de los pesos secos en tallo y raíz.

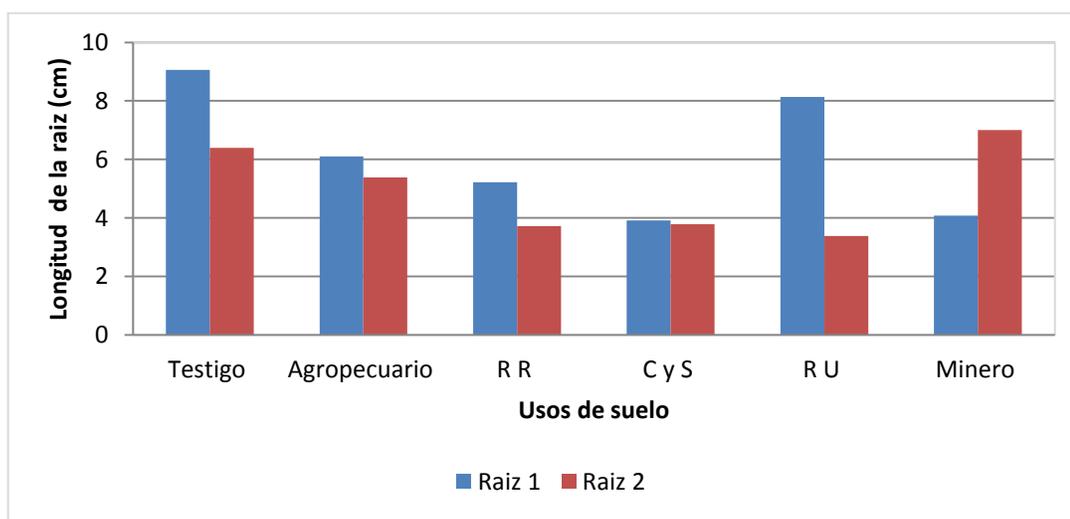


Figura 16. Relación de tamaño de crecimiento de la raíz.

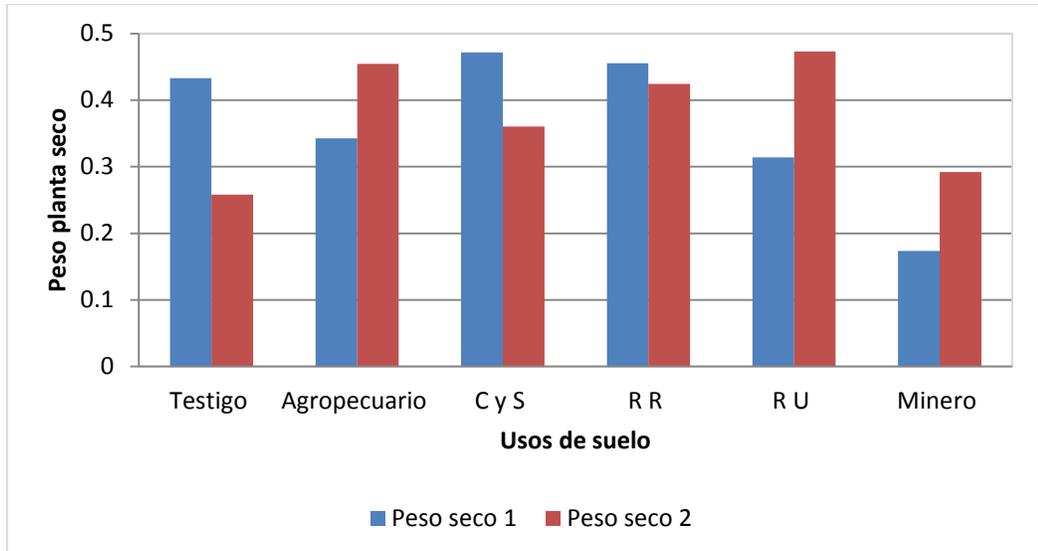


Figura 17. Relación de peso seco en tallo.

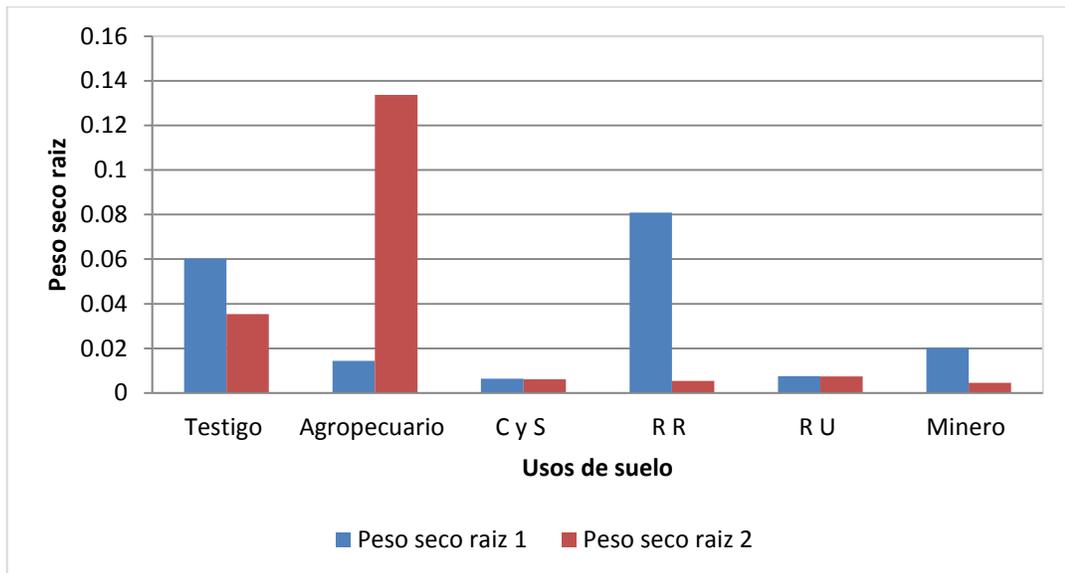


Figura 18. Relación de peso seco de la raíz repetición 1 y 2.

## DISCUSIÓN

La presencia de los elementos traza pueden afectar el desarrollo de las plantas y a su metabolismo, ya que las macropartículas son atrapadas y filtradas por la hojas y ramas, las cuales son lavadas por la precipitación y escurridas al suelo (South, 1990). La presencia del Cu, Mg, Mn, Zn y Fe en el ambiente según Aragón (2005) se atribuye a las fuentes naturales tales como incendios forestales y polen, así como por fuentes antropogénicas como la quema de combustibles fósiles y refinación de residuos. Las diversas actividades humanas como la agricultura, ganadería, comercio, urbanización y mineralización generan una gran cantidad de residuos que incorporan al ambiente elementos (ATSDR, 2005). De acuerdo a los resultados en material foliar destaca que los elementos traza como Cu y Zn tuvieron mayores concentraciones en los árboles encontrados en la zona minera. Con respecto al Cu se obtuvo una diferencia de aproximadamente  $26.14 \text{ mg kg}^{-1}$  comparando con las concentraciones entre el uso de suelo minero y el uso residencial rural. Con respecto al Zn, la mayor concentración fue la zona minera con  $238.81 \text{ mg kg}^{-1}$  y la más baja fue de  $22.71 \text{ mg kg}^{-1}$  en la zona residencial rural teniendo una diferencia de aproximada de  $216 \text{ mg kg}^{-1}$ . Considerando a Cameron (1992) al señalar que los niveles normales de Zn en hojas es de 27 a  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  y Cu en hojas con su nivel tóxico que oscila de 31 a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  lo cual indica que se encuentran por encima del nivel tóxico de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Por otra parte, la especie que obtuvo mayor concentración fue la de pirul comparada con la especie de mezquite con diferencia de  $1102 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esta diferencia puede estar dada por la estructura del árbol y variantes específicas como el tamaño de hoja, la forma y la textura de la hoja (Beckett *et al.*, 2000, citado por Alcalá, 2010).

Con respecto a las tendencias de la presencia de elementos traza encontrados en suelo, la zona minera derivó la mayor concentración de Cu y Zn, en donde el Cu tuvo una diferencia  $108 \text{ mg kg}^{-1}$  del uso de suelo minero y agropecuario estando por encima del nivel tóxico marcado por la EPA (Cameron, 1992). Asimismo el Zn tuvo una diferencia de  $156 \text{ mg kg}^{-1}$  del uso de suelo minero y agropecuario, estando en el nivel normal marcado por la EPA (Cameron, 1992).

Esto significa que en la zona se ubican empresas que inciden en la presencia de estos elementos. Así mismo ATSDR (2005) menciona que su presencia se relaciona con la actividad minera, aguas residuales, producción de acero, combustión de petróleo e incineración de basura, estos se pueden degradar en el suelo, liberarse en el aire y agua.

Con respecto a la evaluación de las pruebas de toxicidad con rábano cultivadas en suelo, solo se alcanzó a observar como prueba piloto que las semillas de rábano cultivadas en el peat moss presentaron mayor crecimiento en cuanto al tamaño de raíz, teniendo una diferencia de los promedios de estas variables en uso de suelo minero, aproximadamente de 30.5 cm para el tamaño de la raíz y 27.7 cm para el tamaño de tallo. Esto se puede deber según Martín, (2000) citado por Méndez *et al.* (2009) al contenido de metales pesados en el suelo cuando alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos, causando efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas.

## CONCLUSIONES

De los resultados de los elementos traza en material foliar se encontró efecto significativo en los cinco elementos estudiados (Cu, Fe, Mg, Mn, y Zn). El factor uso de suelo tuvo efecto significativo en las concentraciones de elementos del Cu y Zn. Las concentraciones presentadas en Cu fueron mayor en la zona de uso de suelo minero siendo de  $31.44 \pm 6.732 \text{ mg kg}^{-1}$  y la de menor concentración en la zona de uso agropecuario de  $18.33 \pm 17.70 \text{ mg kg}^{-1}$ . Por lo que respecta al Zn, la mayor concentración es de  $238.81 \pm 49.029 \text{ mg kg}^{-1}$  en la zona de uso de suelo minero y la de menor concentración en en la zona de uso residencial rural con  $22.71 \pm 49.029 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Con respecto a la concentración de elementos traza en suelo se encontró presencia de los cinco elementos estudiados (Cu, Fe, Mg, Mn y Zn). De estos elementos analizados se encontró efecto significativo en el factor uso de suelo en los elementos Cu y Zn. Las concentraciones presentadas en Cu fue en la zona minera con  $126.85 \pm 17.70 \text{ mg kg}^{-1}$  y la más baja concentración en el uso agropecuario con  $18.33 \pm 17.70 \text{ mg kg}^{-1}$ . El Zn presentó su mayor concentración en el uso de suelo minero con  $205.59 \pm 24.22 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que la menor concentración fue en el uso de suelo agropecuario con  $49.03 \pm 24.22 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Así mismo la especie condicionó solamente la concentración de Mg en hojas. Destacando el uso de suelo minero y el pirul con las mayores concentraciones. En algunos casos las concentraciones de estos elementos rebasaron los límites establecidos. Las concentraciones de los elementos de Mg y Fe obtuvieron su mayor incidencia en temporada de otoño.

Respecto a los resultados de las pruebas de toxicidad de rábano, se encontró que el tamaño de tallo donde incidió más su desarrollo fue en la zona residencial rural y el menor crecimiento fue en el uso de suelo minero. Mientras que el mayor tamaño de la raíz del rábano fue en el peat moss y el menos en el uso de suelo minero. Esto demuestra que en la zona minera se encuentran mayores concentraciones de contaminación de suelo, lo que propicia que las plantas no tengan un mejor ciclo de vida.

Con este estudio se demuestra la importancia de seguir estudiando las especies, el suelo y los cultivos asociados al potencial indicativo de contaminación ambiental.

## LITERATURA CITADA

- (ATSDR) 2005. Reseña Toxicológica del cinc (versión actualizada)(en inglés). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades Atlanta, GA: Departamento de salud y servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.  
[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts60.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts60.html). [2011 Octubre 12]
- (ATSDR) 2008. Reseña Toxicológica del manganeso (Manganese) (versión actualizada) (en inglés).Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades Atlanta, GA: Departamento de salud y servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.  
[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts151.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts151.html). [2011,Octubre 12]
- (ATSDR) 2004. Reseña Toxicológica del Cobre (*Copper*) (versión actualizada) (en inglés). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades Atlanta, GA: Departamento de salud y servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.  
[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts132.html). [2011. Octubre12]
- Alcalá J.,Moreno M., Rodriguez C.,Lodero C., Lara L., Tapia J., 2009. Material foliar de cinco especies arbóreas indicadoras de la contaminación urbana en la ciudad de Chihuahua, México *Multiquina* 18: 37-51.
- Alcalá, J. Rodríguez, O. Hernández, A. Tapia J. 2010. Potencial de polvo atmosférico en tres especies vegetativas del ecosistema semiárido, San Luis Potosí, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 6 (2): 93-99.
- Alarcón-Corredor, M.O.(2009). Los elementos traza, Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Laboratorio de Espectroscopia Molecular. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela [Online].  
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31376/1/articulo3.pdf>
- Alloway B.J., 1990. Heavy metals in soils. Universidad de London. First Edition pp.161.
- Aragón, P. Campos, A. Leyva, R. Hernandez, M. Miranda, N. y Luszczewski, A. (2005). Influencias de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 22 (1) 5-19.

- Álvarez, E. 2001. Comparación de ecuaciones para la estimación de biomasa de arboles, palmas y lianas en un bosque inundable de la Amazonia Colombiana. Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistema Forestales. Valdivia, Chile.
- Barak P. 2003. Essential Elements for Plant Growth. Univ. of Wisconsin.
- Beckett P. P.F.Smith and G. Taylor. 2000. Effective tree species for local airquality management. Journal of Arboriculture 26(1): January.
- Cabrera F., Giron I.F., Moreno F., 2007. Evolución de la contaminación con elementos traza en los suelos afectados por el vertido de Aznalcóllar. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS) CSIC. Apartado 1052. 41080 Sevilla, España.
- Cameron R.E. 1992. Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Volume 1: Metals. Office of Research and development Washington, Dc 20460.
- CONABIO. 2009. Ficha tecnica *Prosopis leavigata*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. . [Online].  
<http://www.conabio.gob.mx/>
- CONABIO. 2009. Ficha tecnica *Schinus molle*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [Online].  
<http://www.conabio.gob.mx/>
- Dutka, B.J., 1996. *Bioassays: a Historical Summary of those Used and Developed in Our Laboratories at NWRI*, National Water Research Institute, Environment Canada, Burlington, ONT., 93 pp.
- Emsley, J. 2001. Water Treatment Solutions Lenntech[Online].  
[http://www.lenntech.es/referencias\\_tabla-\\_periodica.htm](http://www.lenntech.es/referencias_tabla-_periodica.htm)
- Emsley, J. 2001. Water Treatment Solutions Lenntech. [Online].  
<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/mg.htm#Efectos%20ambientales%20zzzz%20Magnesio>
- (EPA) Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. [Online]  
<http://www.epa.gov/espanol/>

- Frieden, E. 1985. New perspectives on the essential trace elements. *J. Chem. Edu.* 62:917-923.
- García F.; Rosello J.; Santamarina P. (2006). Introducción al funcionamiento de las plantas. Edit. Universidad Politécnica de Valencia. [Online].  
[http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YIF\\_52WRHywC&oi=fnd&pg=PA9&dq=Garcia+2006+plantas&ots=xpY6KpmFq1&sig=u4hzJYV9EJOqG9osxAI46hfoQBI#v=onepage&q=Garcia%202006%20plantas&f=false](http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YIF_52WRHywC&oi=fnd&pg=PA9&dq=Garcia+2006+plantas&ots=xpY6KpmFq1&sig=u4hzJYV9EJOqG9osxAI46hfoQBI#v=onepage&q=Garcia%202006%20plantas&f=false)
- Galán, H.E., Romero, B.A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla. Sevilla 41071 [Online]  
[http://www.ehu.es/sem/macla\\_pdf/macla10/Macla10\\_48.pdf](http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf)
- Hann & Jensen, Enviro. (1974). "Water Quality Characteristics of Hazardous Materials End. Div., Texas A&M, vol. 3.
- Hastings, J.R., Turner R.M. and Warren D.K. 1972. An atlas of some plant distributions in the Sonoran Desert. University of Arizona. Technical Reports on the Meteorology and climatology of arid regions. 21. Tucson, Az. UAS. 255p.
- INEGI.2010. Marco geoestadístico del estado de San Luis Potosí. [Online]. INEGI.  
<http://www.inegi.org.mx/>
- Juárez M. Cerdán M. Sánchez A. Hierro en el sistema Suelo-Planta. Universidad de Alicante. [Online].  
<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1845/1/HIERRO.pdf>
- Kabata-Pendis, and H. Pendias. 1994. Trace Elements in Soils and Plants. CRC press.
- Milner, J.A. 1990. Trace minerals in the nutrition of children. *J. Pediatr.* 117:S147-S155.
- Martinez C.W. 1995. Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. *Catena* 39, 53-68.  
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/939/93911243003.pdf>
- Mendoza B.A., Ramírez H, Robledo V., Fuentes-Lara L.O. y Sandoval A. 2010. Elementos traza y calidad nutricional, casos del iodo, zinc y selenio. Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro.  
[http://www.abenmen.com/a/elementos\\_traza.pdf](http://www.abenmen.com/a/elementos_traza.pdf)

- Moreno, E. (2010). Plant-based methods for remediating arsenic-polluted mine soils in Spain. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Química Agrícola, Madrid.  
[http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/emjimene/Publicaciones/PhD\\_The\\_sis\\_EMorenoHQ.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/emjimene/Publicaciones/PhD_The_sis_EMorenoHQ.pdf)
- Méndez P, González R.J, César A, Gutiérrez R, Prieto A. García F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, Vol. 10, Núm. 1. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Pais I., Jones B. (1997) *The Handbook of Trece elements*. pp 93-182.
- Prieto, F., Lucho, C.A., Poggi, H., Acevedo, O. and Barrado, E. 2007a. Caracterización Físicoquímica y Extracción Secuencial De Metales y Elementos Trazas En Suelos De La Región Actopan-Ixmiquilpan Del Distrito De Riego 03, Valle De Mezquital, Hidalgo, México. *Ciencia ErgoSun*. 14:69-80.
- Portillo G.A. 1995. Los minerales I. [online].  
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16706/1/elementos.pdf>
- Reinhold, J.G. 1975. Trace elements--a selective survey. *Clin. Chem*. 21:476-500.
- Rodriguez M.P. 2004. Elementos traza y nutrientes en plantas y suelos afectados por el vertido minero de Aznalcóllar [Online]  
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=150>.
- Ronco, A.E., Gagnon, P., Díaz-Báez, M.C., Arkhipchuk, V., Castillo, G., Castillo, L.E., Dutka, B.J., Pica Granados, Y., Ridal, J., Srivastava, R.C. & Sánchez, A. 2004. Overview of Results from the Watertox Intercalibration and Environmental Testing Phase II Program: Part I. Statistical Analysis of Blind Sample Testing". *Environ. Toxicol.* 17 (3), 232-240.
- SEMARNAT. 2004. NOM-147-SEMARNAT\_SSA1-2004. [Online]  
[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx). [2012, Febrero 15].

Sborato D., V.M. Sborato y J.E. Ortega. 2007. Predicción y Evaluación de Impactos ambientales sobre la atmósfera. C.I.S.A. Centro de Investigación y Formación en salud Ambiental. Colección Salud Ambiental. Encuentro Grupo Editor. Pp.153.

South Carolina Forestry Commission. 1990. Benefits of urban trees. Forestry Report R8-FR 17 April. USDA Forest Service.