



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DEL RÍO SANTIAGO Y TANQUE  
TENORIO Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE FRIJOL Y MAÍZ**

**Por:**

**Alejandra Cabrera Rodríguez**

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

**Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.**

**Abril 2012**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DEL RÍO SANTIAGO Y TANQUE  
TENORIO Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE FRIJOL Y MAÍZ**

**Por:**

**Alejandra Cabrera Rodríguez**

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

**Asesores**

**Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui**

**Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz**

**Dra. Catarina Loredo Osti**

El trabajo titulado “**METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DEL RÍO SANTIAGO Y TANQUE TENORIO Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE FRIJOL Y MAÍZ**” Fue realizado por: Alejandra Cabrera Rodríguez 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**

\_\_\_\_\_

**Revisor**

**Dra. Catarina Loredó Osti**

\_\_\_\_\_

**Revisor**

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

a \_\_\_\_\_ días (s) del mes de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

## **DEDICATORIAS**

### **A MIS PADRES**

Este logro no solo es mío, tengan presente que también es de ustedes, sin su apoyo incondicional no se habría llegado tan satisfactoriamente a la meta de la carrera que corrimos juntos. Gracias por tu apoyo moral, espiritual, económico y físico, sabemos perfectamente lo que nos costo, lagrimas, cansancio y preocupaciones, pero también nos trajo confianza mutua y buena relación, gracia mamá, gracias papá y también gracias a mis angelitos en el cielo.

### **A MIS HERMANOS**

Les dedico con todo mi cariño y corazón este trabajo hermanos, ustedes también fueron participantes en su realización, hermana te deseo un triunfo rotundo en tu vida, hermano deseo que esto te sirva de inspiración para que tomes tu camino. Los quiero mucho.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

Gracias mi Dios por permitirme tener esta satisfacción tan grande en mi vida y dejar que mi familia sea parte de ella, en estos años de estudio tú fuiste mi mayor fortaleza y lo seguirás siendo por el resto de mis días.

### **A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

Gracias por la formación que me dejo como profesionista y persona. Gracias a todo el personal que labora en ella.

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (**PROMEPE**) a través del proyecto PROMEP/103.5/10/5456.

### **A MIS PROFESORES**

Gracias a mis Asesores: Dra. Catarina Loredó Osti, Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz, y muy especialmente al Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui por su tiempo y atenciones prestadas. Y una mención especial a: Dr. Jorge Alberto Flores Cano, Dr. Cesar Posadas Leal y Dr. Ramón Jarquín Gálvez, gracias profesores porque en mi estadía como estudiante ustedes me mostraron interés en que saliera adelante con las oportunidades, consejos y apoyo que me brindaron.

### **A MIS AMIGOS**

Gracias a toda la banda, de todas las carreras, porque tanto en el estudio como en la fiesta estuvieron presentes.

## CONTENIDO

	Página
<b>DEDICATORIAS</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iv
<b>CONTENIDO</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>SUMMARY</b> .....	xii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
Hipótesis.....	2
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
Sistemas Ribereños.....	4
Sedimentos.....	5
Suelo.....	6
Metales Pesados.....	6
Cadmio, Cd.....	7
Plomo, Pb.....	8
Cobre, Cu.....	9
Zinc, Zn.....	10
Metales Pesados en Sedimentos.....	11
Metales Pesados en Sistemas Ribereños.....	12
Usos de Suelo.....	12
Problemática Ambiental San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez.....	13
Frijol.....	15
Maíz.....	17
Pruebas de Toxicidad y Crecimiento.....	17

<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	19
Área de Estudio.....	19
Puntos de Muestreo.....	20
Muestreo de Sedimentos.....	21
Análisis de Metales en Sedimentos.....	22
Pruebas de Fitotoxicidad .....	24
Análisis Estadístico.....	24
<b>RESULTADOS</b> .....	25
Efecto Temporada.....	25
Efecto Uso de Suelo.....	27
Efecto Temporada-Uso de Suelo.....	29
Análisis Sin el Efecto de Tanque Tenorio.....	31
Efecto Temporada Sin Considerar Tanque Tenorio.....	31
Efecto Uso de Suelo Sin Considerar Tanque Tenorio.....	33
Pruebas de Toxicidad.....	35
<b>DISCUSIÓN</b> .....	43
<b>CONCLUSIONES</b> .....	45
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	46
<b>ANEXOS</b> .....	52

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Distribución de los puntos de muestreo respecto al uso de suelo.....	21
2	Lista de equipo, material y reactivos utilizados .....	23
3	Valores estándares establecidos por la Canadian Enviromental Quality Guidelines (ISQG – Interim Sediment Quality Guideline).....	23
4	Relación significativa de las concentraciones de metales pesados.....	25
5	Relación de concentración de Plomo, Cobre, Zinc y Cadmio respecto a la temporada y uso de suelo.....	30
6	Relación significativa de las concentraciones de metales pesados sin considerar Tanque Tenorio.....	31
7	Longitud de tallo de frijol y maíz sobresalientes así como uso de suelo en el que se presento, correspondiente a la repetición 1 y 2, en las temporadas primavera y verano.....	35
8	Longitud raíz de frijol y maíz sobresalientes así como uso de suelo en el que se presentó, correspondiente a la repetición 1 y 2, en las temporadas primavera y verano.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Relación de sitios considerados para el muestreo de sedimentos.....	20
2	Concentraciones significativas de Zn en sedimentos según la temporada.....	26
3	Concentraciones significativas de Pb en sedimentos según la temporada.....	26
4	Concentraciones significativas de Cd en sedimentos según la temporada.....	27
5	Concentraciones significativas de Cu en sedimentos de acuerdo al uso del suelo.....	28
6	Concentraciones significativas de Zn en sedimentos de acuerdo al uso del suelo.....	28
7	Concentraciones significativas de Cd en sedimentos de acuerdo al uso del suelo.....	29
8	Concentraciones significativas de Pb en sedimentos según la temporada sin considerar Tanque Tenorio.....	32
9	Concentraciones significativas de Zn en sedimentos según la temporada sin considerar Tanque Tenorio.....	32
10	Concentraciones significativas de Cd en sedimentos según la temporada sin considerar Tanque Tenorio.....	33
11	Concentraciones significativas de Cu en sedimentos de acuerdo al uso del suelo sin considerar Tanque Tenorio.....	34
12	Concentraciones significativas de Cu en sedimentos de acuerdo al uso del suelo sin considerar Tanque Tenorio.....	34
13	Relación de crecimiento de tallo de maíz y frijol correspondiente a la repetición 1 en la temporada primavera.....	37
14	Relación de crecimiento de tallo de maíz y frijol correspondiente a la repetición 1 en la temporada verano.....	37

15	Relación de crecimiento de raíz de maíz y frijol correspondiente a la repetición uno en la temporada primavera.....	38
16	Relación de crecimiento de raíz de maíz y frijol correspondiente a la repetición uno en la temporada verano.....	39
17	Relación de crecimiento de tallo de maíz y frijol correspondiente a la repetición dos en la temporada primavera.....	40
18	Relación de crecimiento de tallo de maíz y frijol correspondiente a la repetición dos en la temporada verano.....	40
19	Relación de crecimiento de raíz de maíz y frijol correspondiente a la repetición dos en la temporada primavera.....	41
20	Relación de crecimiento de raíz de maíz y frijol correspondiente a la repetición dos en la temporada verano.....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Toma de muestra.....	53
2	Toma de muestra en uso de suelo ganadero.....	53
3	Toma de muestra en uso de suelo residencial-rural.....	53
4	Toma de muestra en uso de suelo agrícola.....	53
5	Toma de muestra en uso de suelo Tanque Tenorio.....	53
6	Panorama general del área de estudio.....	53
7	Secado de muestras.....	54
8	Tamizado de muestras.....	54
9	Digestión de muestras.....	54
10	Aforización de muestras.....	54
11	Preparación de Estándares por MC. Alejandra Hernández Montoya...	54
12	Espectrofotometría de absorción atómica.....	54
13	Emergencias de frijol, y maíz.....	55
14	Aparato utilizado para medición de tallo y raíz, Vernier.....	55
15	Medida y toma de datos.....	55

## RESUMEN

En la evaluación de los recursos naturales los sedimentos de sistemas ribereños se convierten en una alternativa para evaluar la contaminación de metales pesados. El objetivo fue determinar la presencia de Pb, Cd, Cu y Zn en sedimentos del Sistema Ribereño Tanque Tenorio - Río Santiago en San Luis Potosí, S. L. P., para evaluar el impacto ambiental y su asociación en la emergencia de cultivos de frijol y maíz. Se establecieron once puntos de muestreo de sedimentos en los usos de suelo: Tanque Tenorio, Agrícola, Residencial-rural y Ganadero, durante las temporadas de primavera, verano y otoño de 2010 e invierno. Se consideró dos orillas del Sistema Ribereño y sobre el cauce con una profundidad de 10 a 15 cm. Bajo la técnica de espectrofotometría de absorción atómica se determinó la presencia de los metales. Considerando el metal con mayor concentración temporal y uso de suelo, se hicieron pruebas de germinación de frijol y maíz usando sedimentos del cauce y sustrato Peat moss (testigos). Se midió la longitud de tallo y raíz. Con un Modelo con Proc GLM y un  $\alpha \leq 0.05$ , se evaluó el efecto del uso de suelo y estacionalidad así como las interacciones entre los factores con respecto a las concentraciones de metales pesados. Como resultado se determinó la presencia de Pb, Cd, Cu y Zn en sedimentos del sistema ribereño. La temporada fue significativa respecto a las concentraciones de Zn, Pb y Cd. De acuerdo a los límites establecidos por la Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline) los metales pesados en sedimentos cuyo impacto se refleja en la calidad de la funcionalidad ecológica del sistema fue Cd, Zn y Cu. En las pruebas de contaminación o toxicidad de frijol y maíz con sedimentos con mayor y menor concentración de Cd (primavera – verano), no se obtuvo el número suficiente de datos para poder hacer un análisis estadístico, solo se hace un análisis descriptivo de los usos de suelo y temporada donde se presentó mayor emergencia. Se comprueba la presencia de metales pesados en el sistema ribereño, atribuidos por la dinámica de usos de suelo y la temporalidad, recomendándose continuar su evaluación ambiental y su impacto en el crecimiento y desarrollo de cultivos.

## SUMMARY

The evaluation of natural resources of riparian systems sediment becomes an alternative to assess contamination. The objective was to determine the presence of Pb, Cd, Cu and Zn in sediments of the riparian system Tanque Tenorio - Río Santiago in San Luis Potosi, S. L. P., to assess the environmental impact and their association in the emergence of bean and corn crops. Eleven points were established sediment sampling in land use: Tanque Tenorio, agricultural, residential, rural and agricultural during the seasons of spring, summer and autumn 2010 and winter. It was considered both sides of the river system and the channel with a depth of 10 to 15 cm. Under the technique of atomic absorption spectrophotometry to determine the presence of metals. Considering the most concentrated metal temporary land use, were tested for germination of beans and maize using stream sediment and substrate Peat moss (control). We measured the length of stem and root. A model with Proc GLM and  $\alpha \leq 0.05$ , we evaluated the effect of land use and seasonality as well as interactions between factors with respect to the concentrations of heavy metals. As a result we determined the presence of Pb, Cd, Cu and Zn in sediments of the river system. The season was significant for concentrations of Zn, Pb and Cd influenced land use in concentrations of Cu, Zn and Cd. The relationship between season and land use was determinant in the concentration of Cd and Zn. According to the limits set by the Canadian Environmental Quality Guidelines (Interim Sediment Quality ISQG-Guideline) heavy metals in sediments whose impact is reflected in the quality of the ecological functionality of the system was Cd, Zn and Cu. In the contamination tests of beans and corn with higher and lower sediment Cd concentrations (spring - summer) was not obtained enough data to make a statistical analysis is only a descriptive analysis of land uses and season which was greater emergency. It checks for the presence of heavy metals in the riparian system, attributed by the dynamics of land use and the season, we recommend continuing its environmental assessment and its impact on crop growth and development.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas representan una oportunidad para evaluar la contaminación, así como sus efectos sobre las condiciones del medio biótico y abiótico. El uso de indicadores es relevante por la magnitud de la información que revela sobre la calidad y condición de los recursos naturales. Según Bautista *et al.*, (2008) los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Estos se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, entre otros). En la evaluación de los recursos naturales, uno de los recursos que se ven más afectados por la dinámica humana, son los sistemas ribereños, debido a los procesos físico-químicos y biológicos que representan, así como en la diversidad de especies que se relacionan ecológicamente.

Algunos de los parámetros que se toman en cuenta para evaluar estos sistemas son: contaminación por organismos patógenos (causantes de enfermedades) medido por el nivel de *E. Coli* (bacterias fecales), contaminación por nutrientes causantes de eutroficación, de los cuales el fósforo es el principal y contaminación por materia orgánica que al descomponerse reduce los niveles de oxígeno disuelto en el agua, medida por la DBO o Demanda Biológica de Oxígeno, entre otros. La medición de estos parámetros en ríos y lagos da una visión general del estado de contaminación de los cuerpos de agua (MARN, 2003).

Sin embargo, para tener una mayor amplitud de la funcionalidad ecológica pueden asociarse la evaluación de la contaminación en recursos como el suelo, sedimentos, flora y fauna con los sistemas ribereños. En el caso de los sedimentos estos se encuentran sujetos a intercambios con las aguas mediante procesos redox, adsorción- desorción, etc. (Cabrera *et al.*, 1987) por lo que los sedimentos son un medio importante a ser considerado en estos estudios. En áreas ribereñas, el estudio de la presencia de metales pesados en sedimentos proporciona información para evaluar su incidencia en la dinámica ecológica de las poblaciones, debido a su posible magnitud bioacumuladora como el caso del Cu, Mn, Fe, Cd, Ni, Cr, Pb y Zn (Acosta *et al.*, 2009). Actualmente son

pocos los estudios realizados relacionados con los procesos que se llevan a cabo en el sedimento y el agua conjunta o bien independientemente (Díaz *et al.*, 2005).

El estado de San Luis Potosí representa un espacio trascendental en la migración y distribución de especies debido a los diferentes sistemas ecológicos dentro del territorio.

Particularmente, en los agroecosistemas situados entre los Municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez se ha encontrado una asociación importante de especies de aves en sitios como Tanque Tenorio y su área de influencia hidrológica que incide sobre la distribución y trayecto del sistema ribereño asociado al Río Santiago. Este sitio ubicado al oriente de la ciudad, el cual originalmente era una depresión natural donde se formaba un cuerpo de agua, se comenzó a usar desde los años 70`s para descarga de aguas residuales industriales y en menor medida domésticas en forma continua (Medellín, 2003).

Por tal motivo, debido a la asociación y convergencia de diversos usos de suelos como los agroecosistemas, sistemas urbanos y sistemas naturales en el Sistema Ribereño Tanque Tenorio-Río Santiago, es de gran interés evaluar la contaminación ambiental considerando la relación de la calidad del sistema teniendo como indicadores la presencia de metales pesados como el caso de Pb, Cd, Cu y Zn en sedimentos y su asociación con la toxicidad en el crecimiento de cultivos locales como el frijol y maíz.

## **Hipótesis**

- La presencia y concentración de metales pesados en sedimentos indican la condición de contaminación del sistema ecológico inmerso en Tanque Tenorio y el Río Santiago.
- Los usos de suelo y la estación del año inciden en la presencia de metales pesados en sedimentos del sistema ribereño del Tanque Tenorio y el Río Santiago.
- La presencia de metales pesados en sedimentos del Tanque Tenorio y el Río Santiago tienen efecto toxico sobre el crecimiento de los cultivos de frijol y maíz.

### **Objetivo General**

- Determinar la presencia de metales pesados en sedimentos de un Sistema Ribereño comprendido entre Tanque Tenorio y el Río Santiago como indicador ambiental y su asociación en la toxicidad sobre cultivos de frijol y maíz.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar la presencia y concentración de Cu, Pb, Cd, Zn, en sedimentos del Tanque Tenorio y el Río Santiago como indicador de calidad de un sistema ribereño.
- Relacionar la presencia de metales pesados en el sistema ribereño considerando los usos de suelo y la temporada.
- Determinar el efecto de la calidad de sedimentos Tanque Tenorio y el Río Santiago a través de prueba de toxicidad en plantas de frijol y maíz.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Sistemas Ribereños

Granado *et al.*, (2006) refieren que el término de área ribereña designa la región de transición y de interacciones entre los medios terrestre y acuático. Se caracteriza por una flora y una fauna cuya composición está fuertemente determinada por la intensidad luminosa, el contenido de agua y la granulometría del suelo. Estos ecosistemas tienen muchos atributos que realzan su diversidad biológica: límites, patrones sucesionales, disposición vertical en estratos y micro hábitats especiales definidos por sus rasgos físicos. El régimen de las aguas corrientes del sistema ribereño está ligado con las precipitaciones y los cambios estacionales.

Las zonas ribereñas representan la interface entre hábitats terrestres y acuáticos. Esta propiedad les otorga atributos físicos y químicos específicos, propiedades bióticas y procesos de flujo de materia y energía, con interacciones únicas entre los sistemas ecológicos adyacentes. Su función como proveedoras de alimento para organismos acuáticos, moderadoras de la temperatura del agua, filtradoras de nutrientes y contaminantes, estabilizadoras de los bancos de los ríos y como corredores para el movimiento de organismos, las convierten en zonas de vital importancia para el mantenimiento de la biodiversidad (Naiman *et al.*, 1988).

Las áreas ribereñas representan los sistemas más diversos en términos de biomasa (plantas y animales). Desempeñan una gran cantidad de funciones: filtración de sedimentos, almacén de agua, recarga de acuíferos, disipación de energía y hábitat para peces y fauna silvestre. Son extremadamente importantes, no sólo debido a su alto valor como hábitat, sino también por los efectos que ejercen sobre áreas acuáticas y tierras altas adyacentes y la biota asociada, ya que estos se encuentran en un ecotono, pero con características de suelo y vegetación diferentes. De igual manera, estas áreas proveen beneficios económicos, estéticos y recreacionales para el ser humano. Los sistemas ribereños son áreas críticas para la vida silvestre, especialmente en regiones con actividades de uso de suelo intensivo (agricultura, pastoreo, aprovechamiento forestal),

así como por el uso del recurso agua en sí (industria y consumo humano) (CONAGUA, 2002).

### **Sedimentos**

Pérez (2005), define como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad.

Galán y Romero (2008), refieren que los contaminantes en suelos y sedimentos se pueden hallar en seis formas diferentes: como partículas (contaminantes particulados), como películas líquidas, adsorbidos, absorbidos, disueltos en el agua intersticial de los poros, o como fases sólidas en los poros. Para cada caso el comportamiento del contaminante es distinto. Por tanto, el análisis químico de los elementos traza de un suelo es una medida poco representativa de la peligrosidad de los posibles contaminantes. Indica en todo caso la peligrosidad potencial o futura, pero no la actual, de los elementos determinados, siempre con referencia a ciertos valores acordados previamente, que no deben ser superados.

Zarazúa *et al.*, (2009) indica que la determinación de metales en los sedimentos depositados es recientemente una herramienta útil en la evaluación de la situación de la contaminación ambiental ya que los sedimentos son indicadores potenciales de la buena calidad de las aguas. En el sistema de aguas, los sedimentos pueden ser un portador y una posible fuente de metales.

Los sedimentos de un sistema ribereño sustentan la productividad primaria proporcionando los elementos esenciales para el desarrollo de los organismos autótrofos y heterótrofos, que resultan primordiales para el metabolismo de la biota acuática y del mismo sistema (Díaz *et al.*, 2005).

El sedimento es un lugar notorio donde se produce un gran número de procesos biológicos y físico-químicos que conducen a la disolución, movilización y al depósito de los metales pasados (Ramos y Legorburu, 1990).

## **Suelo**

Navarro (2003), define al suelo como la capa superior de la Tierra que se distingue de la roca sólida y en donde las plantas crecen, con este enfoque, los suelos deben considerarse como formaciones geológicas naturales desarrolladas bajo condiciones muy diversas del clima y materiales de origen. El suelo respira, nitrifica y origina humus.

Los suelos permiten el enraizamiento de las plantas, con lo que estas pueden obtener agua, oxígeno y nutrientes. Gracias al suelo y a la radiación solar, las plantas, por medio de la fotosíntesis, producen alimentos, forrajes, fibras, masas forestales y energías renovables. Los suelos son la base de todos los ecosistemas terrestres, por lo que hacen posible la vida en el planeta (Porta *et al.*, 2008).

Garbísu *et al.*, (2007) refiere que el suelo realiza numerosas funciones de vital importancia: producción de biomasa (alimentos, fibra y combustible), descomposición de la materia orgánica, reciclaje de los nutrientes, depuración del agua y regulación de la calidad del aire, destoxificación de contaminantes, sumidero de gases invernadero, hábitat para numerosos organismos, reservorio genético, depositario de herencia cultural, etc.

Después de un largo periodo de meteorización, y bajo condiciones climáticas estables, el suelo puede alcanzar su equilibrio. Pero cuando uno de los parámetros del sistema varía, el equilibrio se rompe. La interacción con el Hombre, un componente singular de la biosfera, puede romper también el equilibrio, debido a su uso (agricultura, industria, minería, ganadería, etc.). Este tipo de modificación negativa del suelo se denomina normalmente degradación (Galán y Romero, 2008).

## **Metales Pesados**

Ferré-huget y Domingo (2007), refieren que los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre, tienen un papel importante en los organismos al ser parte fundamental de sus funciones bioquímicas y fisiológicas. Cervantes y Moreno (1999), por lo general se acepta que son aquellos elementos cuya densidad es mayor a 5 g/ml y para la mayoría de los organismos es extremadamente tóxica la exposición a un

exceso de metales pesados como el Cd, Hg, Cr, Ni y Pb. Tradicionalmente se llama metal pesado a aquel elemento metálico que presenta una densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup>, aunque a efectos prácticos en estudios medioambientales se amplía esta definición a todos aquellos elementos metálicos o metaloides, de mayor o menor densidad, que aparecen comúnmente asociados a problemas de contaminación. Algunos de ellos son esenciales para los organismos en pequeñas cantidades, como el Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni o Mo, y se vuelven nocivos cuando se presentan en concentraciones elevadas, mientras que otros no desempeñan ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos, como el Cd, Hg o el Pb (CITME, 2007).

Llobet *et al.*, (2007) indican que algunos son oligoelementos imprescindibles para el mantenimiento de los sistemas bioquímicos de los seres vivos, como por ejemplo, el cobre, el manganeso o el zinc, que son esenciales en el metabolismo de los mamíferos. Pueden actuar también como potentes tóxicos, tanto para los seres humanos como para los ecosistemas. Debido al carácter acumulativo y de permanencia de los metales, éstos se encuentran no sólo en los diversos compartimentos ambientales (aire, agua, suelos, flora y fauna), sino que también se detectan en el organismo humano.

### **Cadmio, Cd**

El cadmio es una sustancia natural en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio), o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). El cadmio entra al aire de fuentes como la minería, industria, y al quemar carbón y desechos domésticos. En el aire, partículas de cadmio pueden viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo o en el agua. El cadmio entra al agua y al suelo de vertederos y de derrames o escapes en sitios de desechos peligrosos. Se adhiere fuertemente a partículas en la tierra. Parte del cadmio se disuelve en el agua. No se degrada en el medio ambiente, pero puede cambiar de forma. La mayoría de las formas de cadmio permanecen por un largo tiempo en el mismo lugar donde se depositaron originalmente en el medio ambiente. Algunas formas de cadmio que van a dar al agua se fijarán al suelo, pero otras permanecerán en el agua, en el suelo pueden llegar a ser absorbidas por

las plantas y también pueden entrar en los organismos de los peces y los animales a través del aire, el agua o los alimentos. De forma natural grandes cantidades de Cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este Cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas. Las aguas residuales con Cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. El Cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo. Este lodo rico en Cadmio puede contaminar las aguas superficiales y los suelos. El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Los suelos y las rocas contienen cadmio en diversas cantidades, generalmente pequeñas, aunque a veces puede encontrarse en cantidades más grandes (por ejemplo, en algunos combustibles fósiles o fertilizantes) (ATSDR, 1999). De acuerdo a la Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline) (1997) el límite permisible de Cd en sedimentos es de 0.6 ppm.

### **Plomo, Pb**

El plomo existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. Las fuentes de contaminación por plomo son múltiples e incluyen a las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas y la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura. Todos los suelos del mundo contienen pequeñas cantidades de plomo de origen natural con un promedio de 10 miligramos por kilo. Los niveles más elevados de plomo (contaminación) normalmente se deben a las actividades humanas (p.ej., el uso de gasolina con plomo y la minería). Generalmente, el plomo se libera al medio ambiente a través de partículas que contienen residuos de plomo que se dispersan a través del aire y que pueden contaminar los suelos y el agua (Valdés y Cabrera, 1999).

El plomo es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que ocurre naturalmente en la corteza terrestre. Sin embargo, raramente se encuentra en la naturaleza en la forma de metal. Generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo. Los niveles ambientales de plomo han

aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana. Los vertederos pueden contener desechos de minerales de plomo proveniente de la manufactura de municiones o de otras actividades industriales como por ejemplo la manufactura de baterías. El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o a aguas de superficie. Una vez que el plomo cae al suelo, se adhiere fuertemente a partículas en el suelo y permanece en la capa superior del suelo. Pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos, lagos y arroyos cuando partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia. El plomo puede permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años. La movilización del plomo en el suelo dependerá del tipo de sal de plomo y de las características físicas y químicas del suelo.

Entre las fuentes de plomo en el agua de superficie o en sedimentos están la deposición de polvo que contiene plomo desde la atmósfera, el agua residual de industrias que manejan plomo (principalmente las industrias de hierro y acero y las que manufacturan plomo), agua de escorrentía en centros urbanos y apilamientos de minerales. El plomo se encuentra comúnmente en el suelo especialmente cerca de caminos, casas antiguas, huertos frutales viejos, áreas de minería, sitios industriales, cerca de plantas de energía, incineradores, vertederos y sitios de desechos peligrosos (ATSDR, 2007). De acuerdo a la Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline 1998), el límite permisible de Pb en sedimentos es de 35 ppm.

### **Cobre, Cu**

El cobre es un elemento esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida. Por lo tanto, las plantas y los animales deben absorber cobre de los alimentos o bebidas que ingieren, o del aire que respiran. El cobre es requerido por las plantas en muy pequeña cantidad. Su contenido medio oscila generalmente entre 2 y 30 ppm en peso seco.

Entre estos límites puede variar notablemente dependiendo de las características que presente el suelo. En los suelos la cantidad de cobre es variable pudiendo oscilar por lo

general entre 5 y 50 ppm (Navarro, 2003). El cobre es liberado por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura, y por la liberación de aguas residuales a ríos y lagos, también es liberado desde fuentes naturales como por ejemplo volcanes, polvo que sopla el viento, vegetación en descomposición e incendios forestales. Se encuentra a menudo cerca de minas, fundiciones, plantas industriales, vertederos y sitios de desechos. El cobre liberado al ambiente generalmente se adhiere a partículas de materia orgánica, arcilla, tierra o arena en las capas superficiales del suelo y puede que no se movilice muy lejos cuando es liberado.

Aun cuando el cobre se adhiere fuertemente a partículas en suspensión o a sedimentos, hay evidencia que sugiere que algunos de los compuestos de cobre solubles entran al agua subterránea. El cobre que entra al agua se deposita eventualmente en los sedimentos de los ríos, lagos y estuarios. No se degrada en el medio ambiente. Su concentración promedio en la corteza terrestre es aproximadamente 50 partes de cobre por millón de partes de suelo (ppm) (ATSDR, 2004). De acuerdo a la Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline) (1998) el límite permisible de Cu en sedimentos es de 35.7 ppm.

### **Zinc, Zn**

Rosaldo (1998), el zinc posee una serie de propiedades químicas que lo hacen único y muy útil en varios sistemas biológicos y, por lo tanto, es partícipe de un gran número de procesos metabólicos. Debido a esta naturaleza tóxica, algunos metales pesados como el zinc causan impacto negativo sobre los tratamientos biológicos convencionales, así como sobre los ecosistemas receptores (Aguado, 2008). El zinc es absorbido por las plantas por vía radicular o filiar. En ella, su movilidad no es grande, hallándose preferentemente acumulado en los tejidos de la raíz cuando encuentra un suministro adecuado en el suelo. Los frutos presentan siempre las mínimas cantidades. Su contenido oscila normalmente entre 20 y 100 ppm en peso seco (Navarro, 2003).

El zinc se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos. Los compuestos de zinc que pueden encontrarse en sitios de desechos peligrosos son el cloruro de zinc, óxido de zinc, sulfato de zinc y sulfuro de zinc. Entra

al aire, el agua y el suelo como resultado tanto de procesos naturales como actividades humanas. Los desagües de industrias químicas que manufacturan productos de zinc u otros metales, desagües domésticos y flujos provenientes de terrenos que contienen zinc pueden descargar zinc a corrientes de agua.

El nivel de zinc en el suelo aumenta principalmente a causa de la disposición de residuos de zinc por industrias que manufacturan metales y de cenizas de carbón generadas por plantas de electricidad. El lodo y los abonos también contribuyen al aumento de los niveles de zinc en el suelo. La mayor parte del zinc en el suelo está adherido al suelo y no se disuelve en agua. Sin embargo, dependiendo del tipo de suelo, cierta cantidad de zinc puede alcanzar el agua subterránea. El zinc ha contaminado el agua potable en sitios de desechos peligrosos. Puede ser incorporado por animales que comen tierra o toman agua que contiene zinc. En pequeñas cantidades, es un elemento nutritivo esencial necesario para todos los animales. Las funciones que el zinc realiza en las plantas son variadas, en su gran mayoría son consecuencia de su participación en la formación y funcionamiento de diversos sistemas enzimáticos que intervienen en procesos vitales para la planta. En los suelos agrícolas, el contenido total puede oscilar normalmente entre 10 y 300 ppm (ATSRD, 2005). De acuerdo a la Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline) (1998) el límite permisible de Zn en sedimentos es de 123 ppm.

### **Metales Pesados en Sedimentos**

Los metales en depósitos sedimentarios pueden dividirse en dos categorías según su origen ya sea litogénico (Zr, Rb, Sr) o antropogénico (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Hg). La mayor aportación a este segundo grupo proviene de los efluentes industriales, siendo de menor cuantía el procedente de las aguas residuales urbanas (Ramos y Legorburu, 1990).

La toxicidad debido a la presencia de metales pesados en sedimentos representa un serio problema de salud, medioambiental y social (Contreras, *et al.*, 2004).

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos fluviales. Los sedimentos pueden

actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación por que los metales pesados no se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna de agua dentro de un sistema ribereño por cambios en las condiciones ambientales, por tanto el análisis de metales pesados en sedimentos permite detectar la contaminación en zonas críticas del sistema ribereño (Rosas, 2001).

### **Metales Pesados en Sistemas Ribereños**

Nriagu y Pacyna (1988), mencionaron que en las últimas décadas se ha incrementado la contaminación de la atmosfera, los ríos, los océanos y de los suelos por metales pesados, como consecuencia de la actividad industrial y de la explotación minera. Por otro lado, la contaminación por metales pesados es muy pronunciada en donde las corrientes de reflujos y de agua son muy reducidos (Bryan y Langston, 1992).

A diferencia de los herbicidas, pesticidas y otros compuestos que se pueden degradar biológicamente, los metales pesados no pueden ser eliminados y permanecen en los suelos y sedimentos, de donde se liberan lentamente al agua (Dyer y Orth, 1992).

### **Usos de Suelo**

Para Buol (1995), el uso del suelo se debe de basar en la capacidad de éste para proporcionar elementos esenciales, pues éstos son finitos y limitan, por ende, la productividad.

Según INEGI (2002) los usos de suelo que se consideran en México son: bosque de coníferas y encino, bosque mesófilo de montaña, selva húmeda, selva subhúmeda, matorral xerófilo, pastizal natural, vegetación halófila y gipsofila, manglar, vegetación hidrófila, Otros tipos de vegetación (los cuales incluyen: chaparral, mezquital, palmar natural e inducido, sabana sabanoide y vegetación de dinas costeras), zonas urbanas y asentamientos urbanos, agrícola, pecuaria y forestal.

En México, la superficie agrícola sembrada se ha mantenido relativamente constante en los últimos años, contabilizando en 2003 cerca de 21.7 millones de hectáreas. Es importante mencionar que aun cuando la superficie agrícola sembrada no ha crecido

considerablemente en los últimos años, la conversión de vegetación natural a terrenos agrícolas continúa en el país. El valor agrícola de un suelo reside en las cualidades que posee para sostener la vida vegetal o, lo que es lo mismo, en su “capacidad productiva”. Dicha capacidad es directamente proporcional al rendimiento de los cultivos y está relacionada con un conjunto de características de tipo climático, fisiográfico y edáfico. La ganadería es una de las actividades productivas que tiene un impacto importante sobre el estado y la calidad de la cubierta vegetal en nuestro país. El número de cabezas se ha reducido notablemente en las últimas décadas, pasando de 50.7 a 46.9 millones entre 1980 y 2002. La ganadería se practica en cerca de 1.09 millones de kilómetros cuadrados, es decir, en 56% de la superficie del país y en 44% de la superficie nacional que corresponde a vegetación natural. La superficie destinada a esta práctica (es decir, la de los pastizales) creció al menos 4 millones de hectáreas de 1993 a la fecha. (SAGARPA-SIAP, 2004). De acuerdo con la Ley del desarrollo urbano del Estado de San Luis Potos (IIL, 2000) las áreas urbanas son aquellas edificadas total o parcialmente y que cuentan con los servicios mínimos esenciales.

### **Problemática Ambiental San Luis Potosí- Soledad de Graciano Sánchez**

En San Luis Potosí se presentan problemas muy graves tanto por la diversidad de sus causas como por la magnitud de sus impactos sobre la población, su industria y las grandes extensiones de sembradíos bajo régimen de riego. De acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano del Estado de San Luis Potosí, S.L.P (Gobierno Federal *et al.*, 2001) En esta región hay problemas por sobreexplotación y contaminación de acuíferos, erosión, salinización y pérdida de fertilidad de suelo así como disposición inadecuada de residuos domésticos e industriales

En las últimas décadas en San Luis Potosí, el desarrollo acelerado de la Industria en general, a propiciado que ciertas zonas sean vulnerables de sufrir un evento de riesgo químico, esta probabilidad se acentúa principalmente en las áreas en donde se han concentrado industrias que manejan, almacenan y distribuyen así como transportan sustancias químicas, la Zona Industrial concentra la gran mayoría de la industria de alto

riesgo. La contaminación del suelo y de los mantos acuíferos y cuerpos de agua (Río Española), se deben principalmente a derrames y fugas.

El Colector Española junto con los colectores Industriales Eje 116, captan el drenaje sanitario de la porción sur o sureste de la ciudad, así como parte del área industrial, descargando en canales a cielo abierto hasta su integración al Tanque Tenorio, donde se distribuye por un canal a las zonas de riego agrícolas de la porción oriente de la mancha urbana. En Soledad de Graciano Sánchez y al Noreste de la Zona Conurbada, existe riesgo en salud por la utilización de norias para la extracción de agua del acuífero superior contaminado. En los Tanques Tenorio, Morro y Santa Rita, receptores de aguas residuales sin tratar, se desconoce la interacción de éstos y el acuífero somero, lo que impide evaluar el mecanismo y grado de contaminación de éste. Por otro lado existen suelos contaminados con diferentes elementos producidos por empresas que se encuentran dentro de la zona conurbada según lo asentado en el Plan del Centro de Población Estratégico San Luis Potosí Soledad de Graciano Sánchez, (H. Ayuntamiento de S.L.P, 2003).

Vargas (1999) en el estado de San Luis Potosí, en la cueca endorreica del Valle de San Luis Potosí, se localiza la ciudad de San Luis Potosí y la zona industrial. Las aguas residuales industriales fueron arrojadas de forma independiente a cielo abierto en la depresión “Tanque Tenorio”, durante cinco años para después ser mezcladas con aguas domésticas, lo que dio lugar a la formación de la laguna de aguas de desechos artificial. Olivo y Martínez (2000), refieren que la mezcla de las aguas del Tanque Tenorio no presenta problemas para un tratamiento biológico, la influencia industrial se hace patente en la presencia relativamente importante de ciertos metales pesados.

La repartición de metales en los sedimentos de la laguna formada por las aguas negras de la Ciudad de San Luis Potosí y parte de las aguas residuales, denominada Tanque Tenorio, fue estudiada por Montante-Montelongo (1998) citado por Medellín, 2003, mediante extracciones secuenciales. Actualmente ocupa una superficie de 209 hectáreas y se sabe que tiene altos índices de contaminación por metales pesados, aceites, solventes, etc. (Medellín, 2003). En este sitio relacionado la presencia aves acuáticas tales como *Ardea herodias*, *Fulica americana*, *Anas platyrhynchos*, *Anas cyanoptera*, *Anas clypeata*, *Nycticorax nycticorax*, *Camerodius albus*, etc. Algunas de

las especies encontradas se encuentran relacionadas a las enmarcadas dentro de la NOM-059- SEMARNAT-2001, tales como *Ardea herodias* y *Anas platyrhynchos*, sobre la condición de su población.

## **Frijol**

El fríjol (*Phaseolus vulgaris*) es hierba de vida corta, enredada en forma de espiral en algún soporte, o erecta en forma de arbusto, con algunos pelillos, su tamaño es de hasta 40 cm de alto los tipos arbustivos y de hasta 3 m de largo las enredaderas. En la base de las hojas sobre el tallo se presenta un par de hojillas (llamadas estípulas), estriadas; las hojas son alternas, pecioladas, compuestas con 3 hojitas (llamadas folíolos) ovadas a rómbicas, con el ápice agudo; en la base de cada folíolo se encuentra un par de diminutas estípulas (llamadas estípelas). Su inflorescencia consiste en pocas flores dispuestas sobre pedúnculos más cortos que las hojas, ubicados en las axilas de las hojas; las flores acompañadas por brácteas estriadas.

El cáliz es un tubo campanulado que hacia el ápice se divide en 5 lóbulos, 2 de los cuales se encuentran parcialmente unidos; la corola rosa-púrpura a casi blanca, de 5 pétalos desiguales, el más externo es el más ancho y vistoso, llamado estandarte, en seguida se ubica un par de pétalos laterales similares entre sí, llamados alas y por último los dos más internos, también similares entre sí y generalmente fusionados forman la quilla que presenta el ápice largo y torcido en espiral y que envuelve a los estambres y al ovario; estambres 10, los filamentos de 9 de ellos están unidos y 1 libre; ovario angosto, con 1 estilo largo y delgado, con pelos hacia el ápice, terminado en un estigma pequeño. El fruto y la semillas son legumbres lineares, de hasta 20 cm de largo, a veces cubiertos de pelillos; semillas globosas, variables. La forma cultivada se encuentra en casi todas las regiones del mundo excepto en las más frías. La propagación, dispersión y germinación es por semilla. El Ciclo de vida en la forma silvestre es perenne y la cultivada anual. Florece de octubre a noviembre y fructifica de diciembre a mayo. La forma cultivada florece y fructifica cuando hay agua disponible (CONABIO, 2009).

Reyes *et al.*, (2008) señala que en la actualidad el fríjol, a nivel internacional, resulta ser un producto de menor significación en cuanto a volumen, su importancia trasciende como fuente de alimento y sustituto de otros nutrimentos en la sociedad, sobre todo en países donde el ingreso *per cápita* limita la adquisición de bienes de alto valor proteico pero de mayor valor económico. En México el fríjol es considerado un producto tradicional estratégico para el desarrollo rural del país. Hasta hace poco, al igual que el maíz, formó parte de los medios de control gubernamental antiinflacionarios al emplearse en los precios de garantía y lograr reducir el valor de los salarios industriales.

Dentro del grupo de las especies leguminosas, el frijol común es una de las más importantes. Es una planta anual, herbácea intensamente cultivada desde la zona tropical hasta las templadas. Es originario de América y se le conoce con diferentes nombres. El frijol es uno de los alimentos básicos en la dieta y es la principal fuente de proteína; es rico en lisina pero deficiente en los aminoácidos azufrados metionina, cistina y triptófano; por lo cual una dieta adecuada en aminoácidos esenciales se logra al combinar frijol con cereales (arroz, maíz, otros). El frijol se adapta bien desde 200 hasta 1.500 msnm. Se debe evitar sembrar en suelos ácidos, con contenidos altos en manganeso y aluminio y bajos en elementos menores (Anónimo, 1991).

El frijol es un cultivo estratégico para México, ya que ocupa el segundo lugar en superficie a nivel nacional, con un promedio de 1.85 millones de hectáreas. Su producción es de 1.31 millones de toneladas, con un valor de 7.5 mil millones de pesos. Tiene gran importancia social porque de acuerdo con cifras oficiales, existen 570 mil productores, además de que genera un total de 76 millones de jornales, que equivalen a 382 mil empleos permanentes. Representa además la segunda actividad agrícola más importante en el país por el número de productores dedicados al cultivo. Es así, que como generador de empleo es relevante dentro de la economía del sector rural (Velia y Almaguer, 2008).

## **Maíz**

El maíz (*Zea mays*) es una planta de porte robusto y de hábito anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de uno a cinco m, con pocos macollos o ramificaciones. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta. Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta. La inflorescencia masculina es terminal, se conoce como panícula (o espiga) consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas. La inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca (Kato *et al.*, 2009).

El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. Los granos de maíz están constituidos principalmente de tres partes: la cascarilla, el endospermo y el germen. La cascarilla o pericarpio es la piel externa o cubierta del grano, que sirve como elemento protector. El endospermo, es la reserva energética del grano y ocupa hasta el 80% del peso del grano. Contiene aproximadamente el 90% de almidón y el 9% de proteína, y pequeñas cantidades de aceites, minerales y elementos traza. El germen contiene una pequeña planta en miniatura, además de grandes cantidades de energía en forma de aceite, que tiene la función de nutrir a la planta cuando comienza el período de crecimiento, así como otras muchas sustancias necesarias durante el proceso de germinación y desarrollo de la planta (Acción Ecológica, 2004).

## **Pruebas de Toxicidad y Crecimiento**

Ronco *et al.*, (2007), señalan que 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, por otra parte refieren que la toxicidad será la capacidad de una sustancia para ejercer un

efecto nocivo sobre un organismos o la biocenosis, y dependerá tanto de las propiedades químicas del compuesto como de su concentración, según sea la duración y frecuencia de la exposición al tóxico, y su relación con el ciclo de vida del organismo. Por tanto, la toxicidad aparente evaluada en un ensayo biológico es el resultado de la interacción entre la sustancia y el sistema biológico. Además, se debe considerar que el efecto tóxico sobre los sistemas biológicos es ejercido por la acción combinada de todas las sustancias nocivas presentes en el medio.

La toxicidad derivada de la contaminación tiene diferentes efectos sobre los organismos acuáticos y terrestres en la naturaleza. Para su evaluación se están utilizando cada vez más los ensayos biológicos. Los resultados obtenidos de la aplicación de los bioensayos de toxicidad han demostrado que pueden ser usados para identificar áreas de mayor o menor contaminación, son utilizados en programas de monitoreo ambiental evaluando la calidad del agua y los sedimentos, así como los efluentes residuales que vierten en ríos y zonas costeras; también se han utilizado para determinar la relación entre efectos tóxicos y biodisponibilidad, para investigar interacciones entre contaminantes, determinar distribución espacial y temporal de la contaminación y evaluar los peligros del material dragado (Carballo, *et al.*, 2003).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El estudio se realizó en los Municipios de Soledad de Graciano Sánchez y San Luis Potosí. El área corresponde al Sistema Ribereño del Tanque Tenorio y su área de influencia considerando el trayecto del Río Santiago (Figura 1).

De acuerdo a INEGI, 2009, el estado de San Luis Potosí se encuentra entre los paralelos 22° 40' y 21° 57' de latitud norte; los meridianos 100° 44' y 101° 11' de longitud oeste; altitud entre 700 y 2 800 m. Colinda al norte con los municipios de Moctezuma, Villa de Arista y Villa Hidalgo; al este con los municipios de Villa Hidalgo, Soledad de Graciano Sánchez, Cerro de San Pedro y Zaragoza; al sur con los municipios de Zaragoza, Villa de Reyes y Villa de Arriaga; al oeste con los municipios de Villa de Arriaga, Mexquitic de Carmona, Ahualulco y Moctezuma. Ocupa el 2.4% de la superficie del estado.

Cuenta con 292 localidades y una población total de 730 950 habitantes. Su clima es seco templado (34.3%), semiseco templado (23.7%), muy seco templado (22.7%), muy seco semicálido (13.1%) y seco semicálido (6.2%) con un rango de precipitación de 200-600 mm y de temperatura de 12-20°C. Los suelos dominantes son Leptosol (45.7%), Durisol (15.4%), Calcisol (13.9%), Cambisol (8%), Phaeozem (4%), Luvisol (3.3%), Vertisol (1.4%) y Regosol (1.3%). La región hidrológica consta de El Salado (90.3%) y Pánuco (9.7%), la Cuenca P. San José–Los Pilares y otras (89.2%), R. Tamuín (9.7%) y San Pablo y otras (1.1%), la Subcuenca P. San José (83%), R. Santa María Alto (9.7%), P. Los Pilares (6.2%) y P. San Pablo (1.1%). Las corrientes de agua son Intermitentes: Potosino y Bocas y los cuerpos de agua son Perennes (0.1%): San José, Cañada de Lobo, Gonzálo N. Santos y El Potosino.

## Puntos de Muestreo

De acuerdo al trayecto de área se determinaron 11 puntos considerando los siguientes criterios de impacto respecto al uso de suelo:

1. Tanque Tenorio
2. Agrícola
3. Residencial-rural
4. Ganadero



Figura 1. Relación de sitios considerados para el muestreo de sedimentos.

Cuadro 1. Distribución de los puntos de muestreo respecto al uso de suelo.

Sitio	Descripción	Coordenadas	Usos de suelo
1	Tanque Tenorio	22° 7'41.22"N 100°52'23.23"O	Tanque Tenorio
2	Cruce con Carretera San Luis- Valles	22° 8'59.87"N 100°53'10.85"O	Tanque Tenorio
3	Cruce con camino viejo a San Pedro	22°10'8.53"N 100°53'23.27"O	Agrícola
4	Cruce con Rio Santiago-Tanque Tenorio	22°12'52.34"N 100°51'58.42"O	Residencial-rural
5	Cruce Rio Santiago-Periférico	22°11'8.33"N 100°55'6.28"O	Agrícola
6	Cruce con Facultad de Agronomía UASLP	22°14'15.12"N 100°52'5.30"O	Agrícola Ganadero Residencial-rural
7	Cruce con Carretera Matehula	22°16'1.21"N 100°51'53.36"O	Ganadero
8	Cruce con vías férreas	22°16'49.55"N 100°51'57.73"O	Agrícola Ganadero Residencial-rural
9	Transición cultivo/bombeo	22°18'9.96"N 100°52'39.59"O	Agrícola Ganadero Residencial-rural
10	Desviación final	22°18'43.91"N 100°52'57.37"O	Ganadero
11	Termino del cauce	22°18'50.47"N 100°52'52.76"O	Ganadero

### Muestreo de Sedimentos

Se tomaron muestras en cada uno de los puntos de muestreo, durante las temporadas de primavera, verano y otoño de 2010, así como invierno del año 2011. Se tomaron 3

muestras por punto de las dos orillas del Sistema Ribereño y sobre el cauce, tomadas a una profundidad de 10 a 15 cm.

### **Análisis de Metales en Sedimentos**

Para la determinación de concentraciones de metales en los sedimentos se prepararon las muestras secándolas a temperatura ambiente por 3 días, después se tamizó en una malla de 2 mm y se tomó la cantidad de 1 g agregándole una mezcla de  $\text{HN03}$  y  $\text{HCl}$  en proporción de 1:3. Se dejaron en un vial de teflón de microondas por dos horas a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  diluyéndose el extracto líquido con agua destilada para el análisis Pb, Cd, Cu y Zn. Una vez preparada la solución se determinó las concentraciones de metales mediante espectrofotometría de gases. Estos criterios fueron basados en Alcalá *et al.*, (2008). Los análisis fueron realizados en el laboratorio de suelo, agua y plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, bajo la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. El equipo, material y reactivos que se utilizaron son enlistados en el Cuadro 2. Las concentraciones obtenidas se compararon con los valores estándares establecidos por la Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG – Interim Sediment Quality Guideline) los cuales se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Lista de equipo, material y reactivos utilizados.

Equipo	Modelo	Marca
Balanza analítica	Explorer	O haus
Campana extractora	Flujo laminar	Fabricante local
Espectrofotómetro de absorción atómica	220	Varian
<b>Material</b>		
Bolsas plasticas	Polietileno (28x32cm)	Comercial
Guantes	Nitrilo	NiTri Sense
Pala	Corta de punta	Comercial
Tamiz	Malla 2	DUVESA
Matraz	kjedahl (100 ml)	Pyrex
Matraz volumétrico	25 ml Clase A	Pyrex
Embudo	D=6cm	Comercial
Papel filtro	No.42	Whatman
Frasco plástico	Policarbonato (60 ml)	Nalgene
Reactivo	Pureza	Fabricante
Agua	Desionizada	Facultad de Agronomía /UASLP
Acido Clorhídrico (HCl)	68%	Fermont
Acido Nítrico (HN03)	70%	Fermont

Cuadro 3. Valores estándares establecidos por la Canadian Enviromental Quality Guidelines (ISQG – Interim Sediment Quality Guideline).

Metal	Concentración ppm	Año de referencia
Cadmio (Cd)	0.6	1997
Cobre (Cu)	35.7	1998
Plomo (Pb)	35	1998
Zinc (Zn)	123	1998

Fuente: Canadian Enviromental Quality Guidelines 1997, 1998.

## **Pruebas de Fitotoxicidad**

Las pruebas de fitotoxicidad se tuvieron en cuenta algunos criterios generales establecidos por Díaz *et al.*, (2004), tales como los requerimientos esenciales en cuanto al equipamiento, infraestructura y servicios básicos para estas pruebas ((electricidad, agua, ventilación, temperatura) la selección de las especies a prueba, las cuales deben tener un significado ambiental en relación al área de estudio, amplia distribución e importancia comercial, facilidad de cultivo y adaptabilidad a las condiciones de laboratorio. Estas pruebas se hicieron en relación con la presencia del metal pesado que rebaso los límites según criterios técnicos de autores, en este caso fue el Cd. Se tomó en cuenta la temporada en las que se presentó mayor nivel del metal pesado, primavera, y el menor nivel que fue verano. Se sembró el día 26 de agosto del 2011 una semilla de frijol por cada sitio (11) y por cada temporada (primavera y verano), en una charola para plántula, de lo mismo se hizo con las semillas de maíz, usando como suelo las muestras correspondientes al centro del cauce, realizándose dos repeticiones, teniendo un total de 88 siembras, con 6 testigos, 3 de frijol y 3 de maíz usando como sustrato Peat moss. De estas se determinó a un mes de la siembra: longitud de tallo y raíz (cm.) No fue posible realizar un análisis estadístico con estas pruebas ya que el porcentaje de germinación fue muy bajo. Sin embargo, se hace un análisis descriptivo del comportamiento.

## **Análisis Estadístico**

Para la presencia de metales pesados, se diseñó un Modelo con Proc GLM de MINITAB<sup>®</sup> fijando un  $\alpha \leq 0.05$ , probando el efecto individual y las interacciones entre los factores uso de suelo y estacionalidad con respecto a las concentraciones de metales pesados.

## RESULTADOS

De los análisis realizados se encontró significancia en las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd con relación a los factores temporada, sitio y doble interacción (Cuadro 4).

Cuadro 4. Relación significativa de las concentraciones de metales pesados.

Metal	Factor			Valor de P		
	Temporada	Uso de suelo	Doble interacción	Temporada	Uso de suelo	Doble interacción
<b>Cu</b>		X			.011	
<b>Zn</b>	X	X		.000	.023	
<b>Pb</b>	X			.084		
<b>Cd</b>	X	X	X	.002	.004	.077

Nota. El factor temporada se refiere a Primavera-Verano-Otoño 2010 e Invierno 2011. El factor uso de suelo corresponde a Tanque tenorio, Agrícola, Ganadero y Residencial-rural.

### Efecto Temporada

El efecto significativo de la temporada, se presentó en las concentraciones de Zn, Pb y Cd. Para el caso del Zn, la mayor concentración fue en primavera con  $142.541 \pm 10.3416$  ppm, y la más baja en la temporada de verano con  $68.913 \pm 10.3416$  ppm. Para el Pb, la mayor concentración fue en otoño con  $22.768 \pm 2.5119$  ppm y la más baja en primavera con  $14.050 \pm 2.5119$  ppm. En el caso del Cd, la mayor concentración se presentó en primavera con  $5.165 \pm .7494$  ppm y la más baja en verano con  $1.224 \pm .7494$  ppm. Estos resultados se muestran en las Figuras 2, 3 y 4.

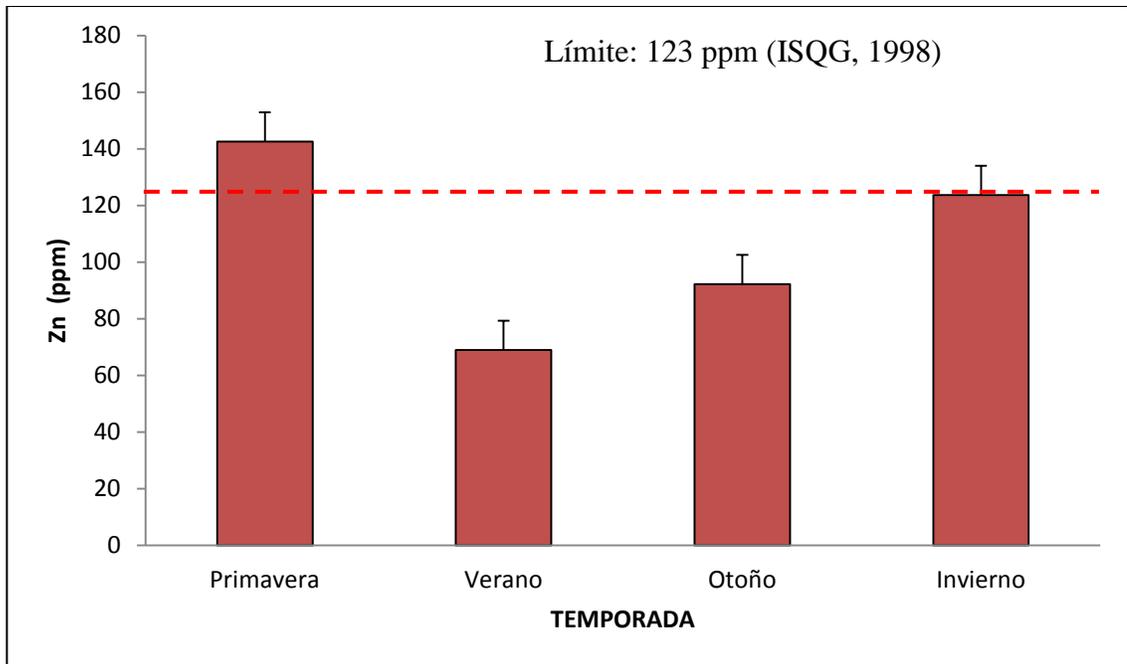


Figura 2. Concentraciones significativas de Zn en sedimentos según la temporada.

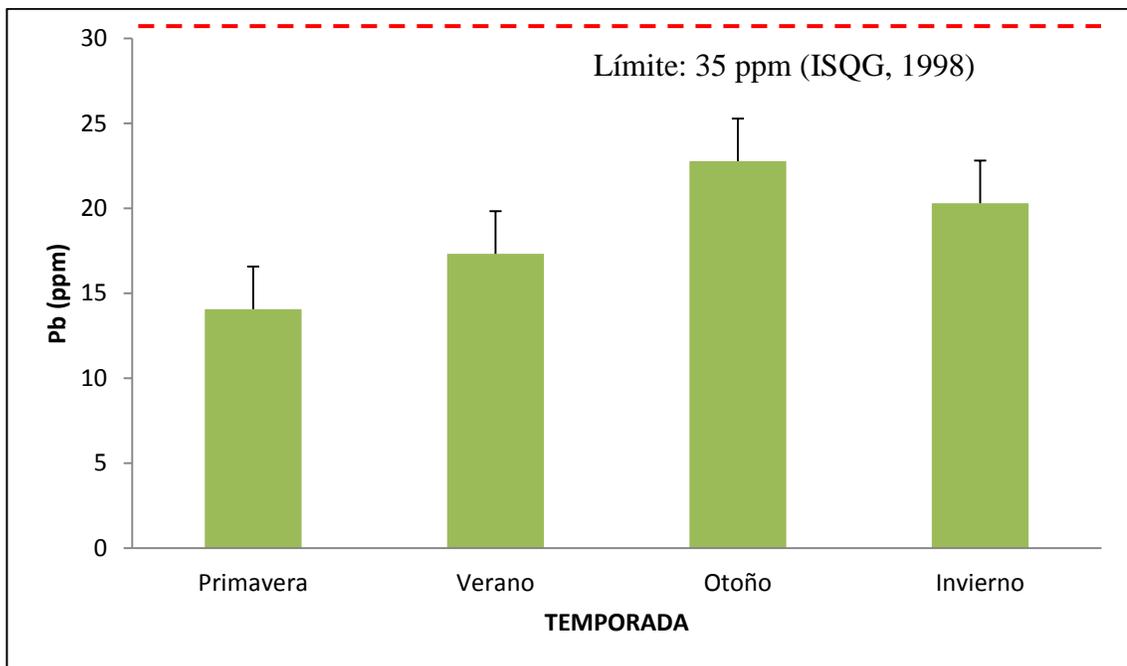


Figura 3. Concentraciones significativas de Pb en sedimentos según la temporada.

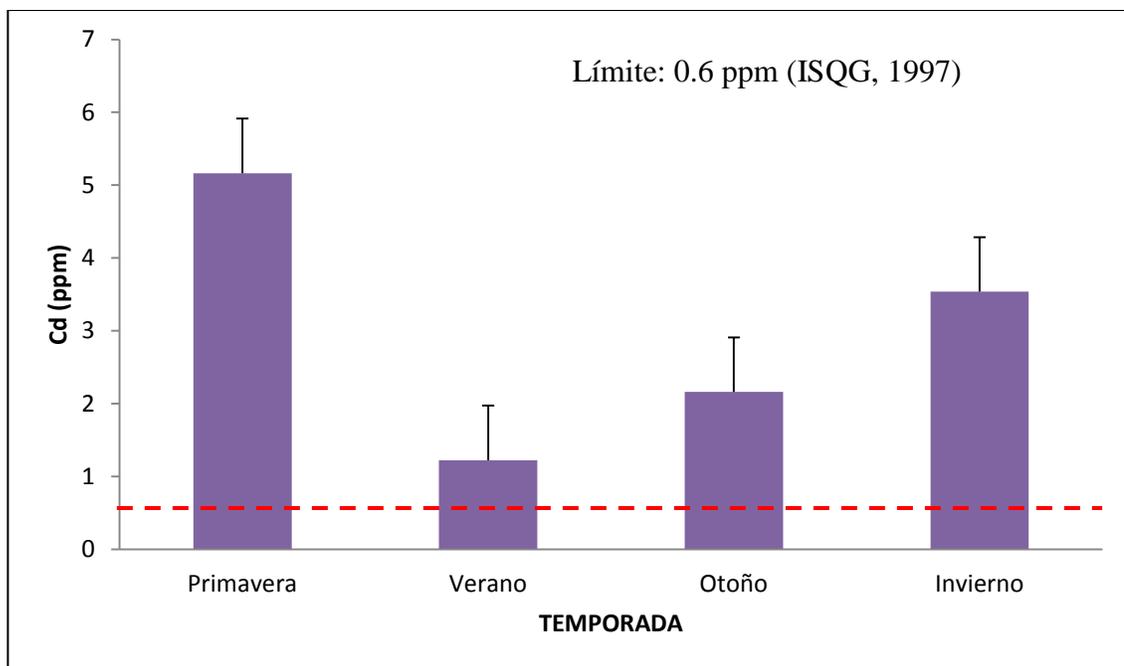


Figura 4. Concentraciones significativas de Cd en sedimentos según la temporada.

### Efecto Uso de Suelo

El factor de uso de suelo, tuvo efecto en las concentraciones de Cu, Zn y Cd en los sedimentos. Para el caso del Cu, la concentración más alta se presentó en uso de suelo Agrícola con  $28.720 \pm 3.1925$  ppm y la concentración más baja en el uso de suelo Ganadero con  $15.191 \pm 3.1925$  ppm. Para el Zn, la concentración más alta se presentó en el uso de suelo Agrícola con  $130.043 \pm 9.8629$  ppm y la más baja en el uso de suelo Tanque Tenorio con  $86.682 \pm 12.0795$  ppm. En cuanto al Cd, la concentración más alta se presentó en el uso de suelo Agrícola con  $4.513 \pm 0.7147$  ppm y la más baja en el uso de suelo Tanque Tenorio con  $0.468 \pm 0.8753$  ppm, estos resultados se muestran en las Figuras 5, 6 y 7.

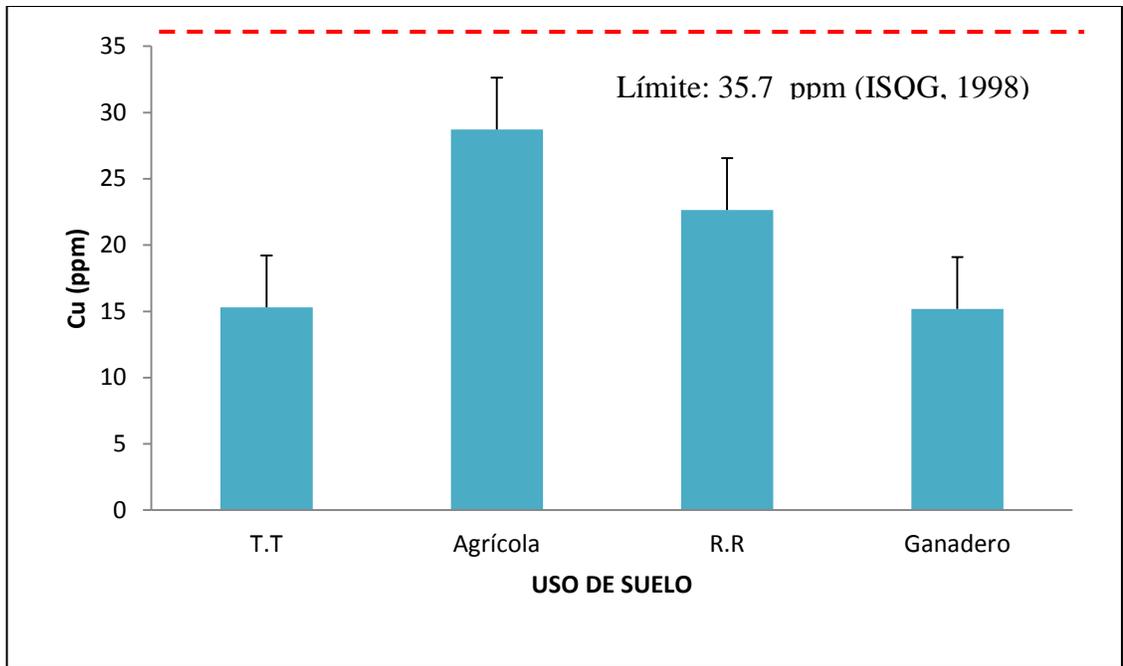


Figura 5. Concentraciones significativas de Cu en sedimentos de acuerdo al uso del suelo.

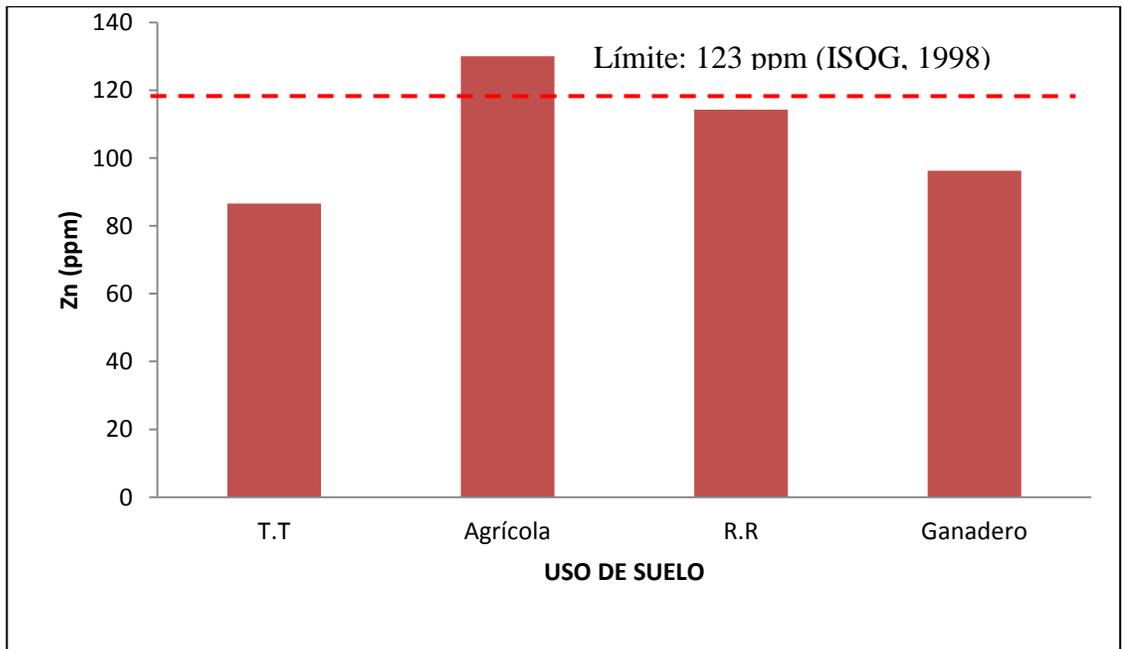


Figura 6. Concentraciones significativas de Zn en sedimentos de acuerdo al uso del suelo.

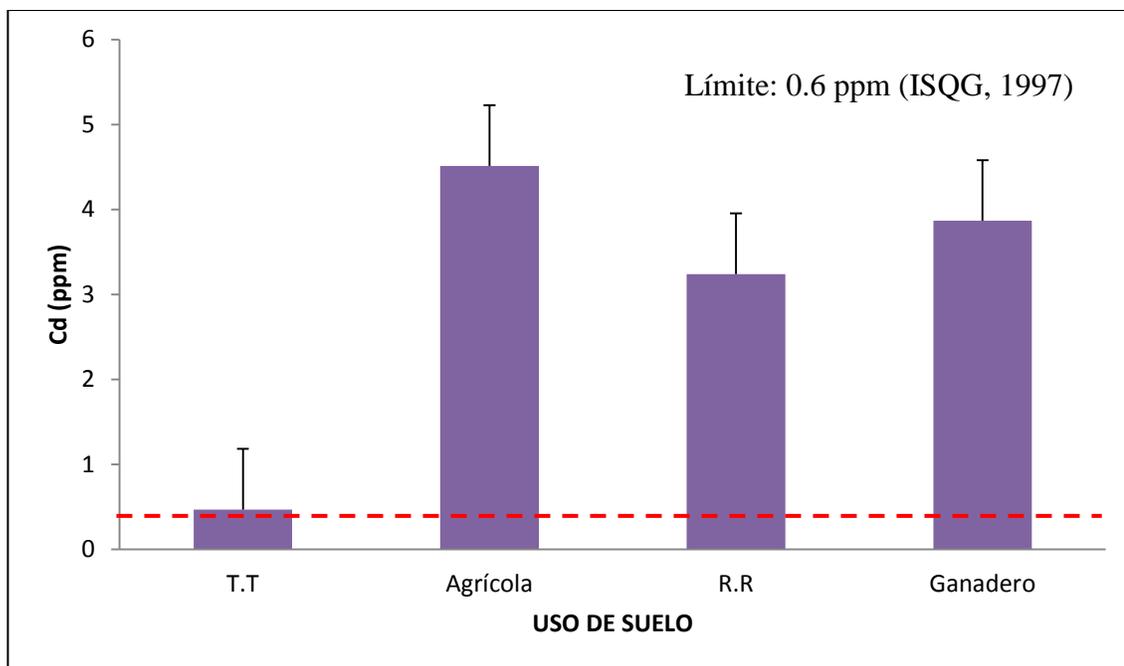


Figura 7. Concentraciones significativas de Cd en sedimentos de acuerdo al uso del suelo.

### Efecto Temporada-Uso de Suelo

Aunque fue realizado un análisis de doble interacción en las concentraciones de Pb, Cu, Zn y Cd, se indica que en las concentraciones de Cd y Zn, la relación entre la temporada y el uso de suelo fue significativa, por lo que en los demás metales se presenta la relación estadística descriptiva. Esta descripción se presenta en Cuadro 5.

En el caso del Plomo la concentración más alta se presentó en otoño-uso de suelo agrícola con 27.386 ppm y la más baja en primavera-uso de suelo ganadero con 9.088 ppm. En cuanto al Cu la concentración más alta se presentó en otoño-uso de suelo agrícola con 35.025 ppm y la más baja en verano-uso de suelo ganadero con 6.792 ppm. Con respecto al Zn la más alta concentración fue en primavera-uso de suelo de residencial rural con 163.450 ppm y la más baja en verano-uso de suelo ganadero con 34.073 ppm. Por último el Cd, en este la concentración más alta se encontró en primavera-uso de suelo ganadero con 8.026 ppm y la concentración más baja en invierno-uso de suelo tanque tenorio con 0.339 ppm.

Cuadro 5. Relación de concentración de Plomo, Cobre, Zinc y Cadmio respecto a la temporada y uso de suelo.

	Metal (ppm)			
	Pb	Cu	Zn	Cd
Verano-Tanque Tenorio	17.756	17.306	67.888	0.584
Verano-Agrícola	22.051	22.813	98.227	1.238
Verano-Residencial-Rural	19.957	17.137	81.835	2.784
Verano-Ganadero	9.452	6.792	34.073	0.926
Otoño- Tanque Tenorio	18.472	19.019	82.666	0.520
Otoño- Agrícola	27.386	35.025	109.682	2.705
Otoño- Residencial-Rural	23.177	22.955	112.967	3.694
Otoño- Ganadero	20.420	8.952	67.015	2.027
Invierno- Tanque Tenorio	16.165	11.278	122.265	0.339
Invierno- Agrícola	26.396	29.825	153.294	7.667
Invierno- Residencial-Rural	15.919	21.234	98.986	1.440
Invierno- Ganadero	21.118	18.966	126.293	4.485
Primavera-Tanque Tenorio	24.263	13.571	73.911	0.431
Primavera- Agrícola	13.397	27.218	158.968	6.443
Primavera- Residencial-Rural	12.671	29.246	163.450	5.033
Primavera- Ganadero	9.088	26.053	157.671	8.026

### **Análisis Sin el Efecto de Tanque Tenorio**

De acuerdo al análisis de las muestras, sin considerar el efecto del uso de suelo del T.T. se presentaron relaciones significativas entre la temporada y uso de suelo sobre los metales pesados evaluados en los sedimentos. En este caso, la temporada incidió en las concentraciones de Pb, Zn y Cd. Con respecto al uso de suelo incidió significativamente en las concentraciones de Cu y Zn (Cuadro 6).

Cuadro 6. Relación significativa de las concentraciones de metales pesados sin considerar Tanque Tenorio.

Metal	Factor			Valor de P
	Temporada	Uso de suelo	Temporada	
Cu		X		.022
Zn	X	X	.000	.063
Pb	X		.015	
Cd	X		.001	

Nota. El factor temporada se refiere a Primavera-Verano-Otoño 2010 e Invierno 2011. El factor uso de suelo corresponde a Ganadero, Agrícola y Residencial-rural.

### **Efecto Temporada Sin Considerar Tanque Tenorio**

Para este efecto se encontraron concentraciones significativas en Pb, Zn y Cd. Para el caso del Pb la concentración más alta se encontró en la temporada de otoño con  $23.661 \pm 2.7258$  ppm y la más baja en primavera con  $11.719 \pm 2.7258$  ppm. Respecto al Zn la concentración más alta se encontró en la temporada de primavera  $160.030 \pm 11.5747$  ppm y la más baja en verano con  $71.378 \pm 11.5747$  ppm. En el caso de Cd la concentración más alta se encontró en primavera con  $6.501 \pm 0.8994$  ppm y la más baja en verano con  $1.650 \pm 0.8994$  ppm. Estos resultados se muestran en las Figuras 8, 9 y 10.

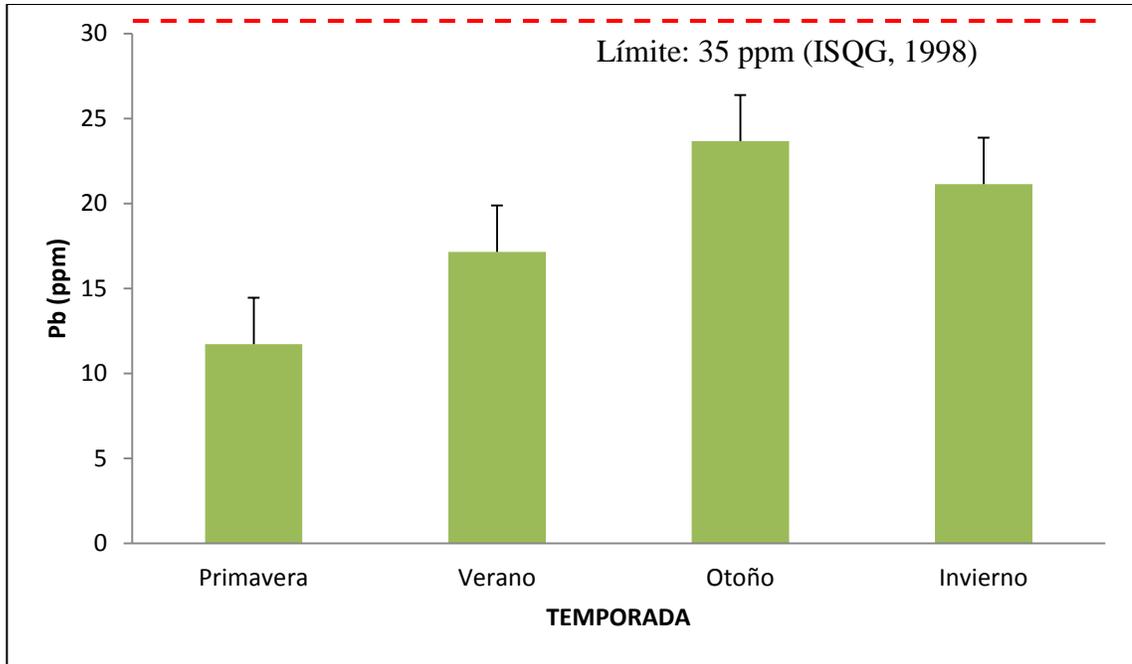


Figura 8. Concentraciones significativas de Pb en sedimentos según la temporada sin considerar Tanque Tenorio.

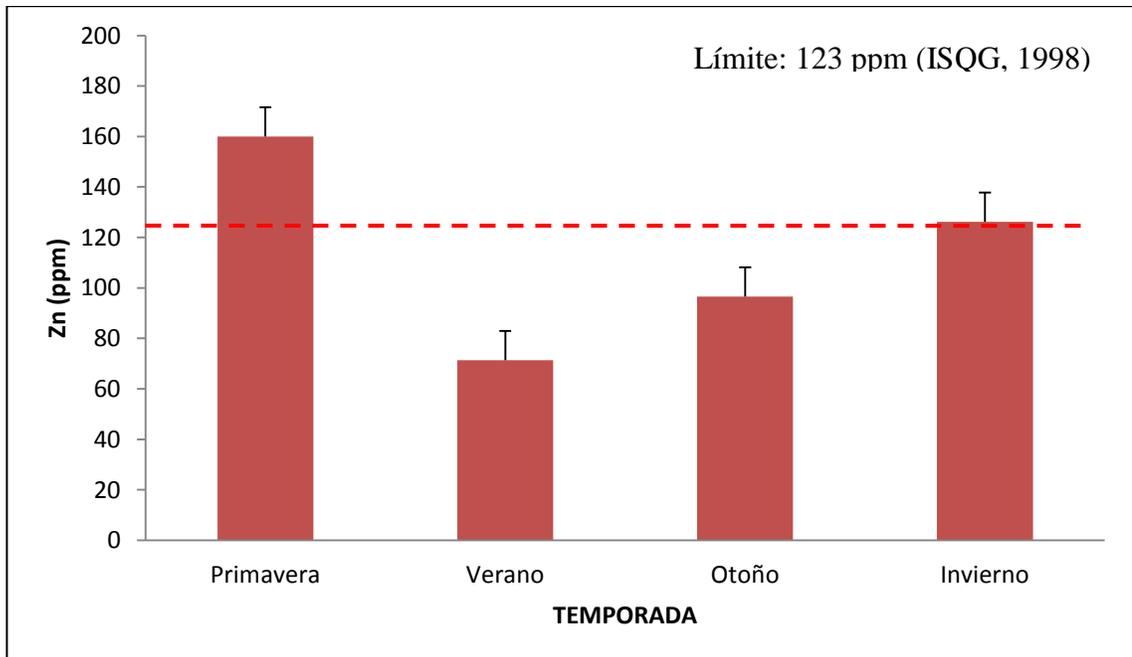


Figura 9. Concentraciones significativas de Zn en sedimentos según la temporada sin considerar Tanque Tenorio.

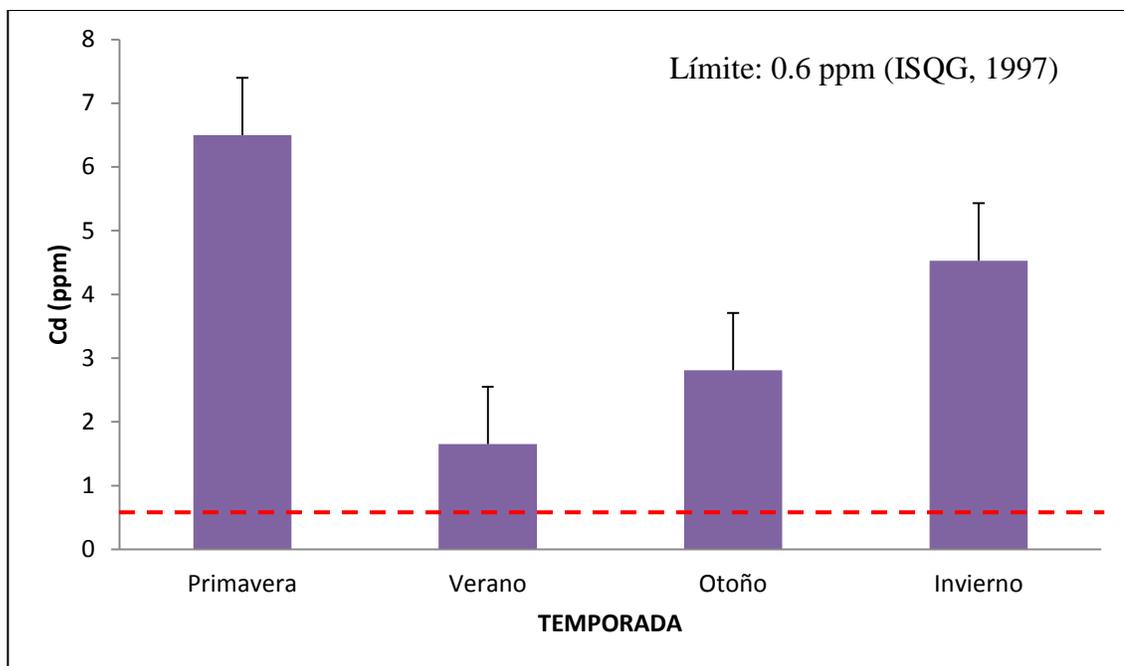


Figura 10. Concentraciones significativas de Cd en sedimentos según la temporada sin considerar Tanque Tenorio.

### Efecto Uso de Suelo Sin Considerar Tanque Tenorio

Este solo hizo efecto en las concentraciones de Cu y Zn. En el caso de Cu la mayor concentración se presentó en el uso de suelo Agrícola  $28.720 \pm 3.4020$  ppm y la menor en el uso de suelo Ganadero con  $15.191 \pm 3.4020$  ppm. En cuanto al Zn la mayor concentración se presentó en el uso del suelo Agrícola con  $130.043 \pm 10.0240$  ppm y la concentración menor fue en el uso de suelo Ganadero con  $96.263 \pm 10.0240$  ppm. Estos resultados se muestran en las Figuras 11 y 12.

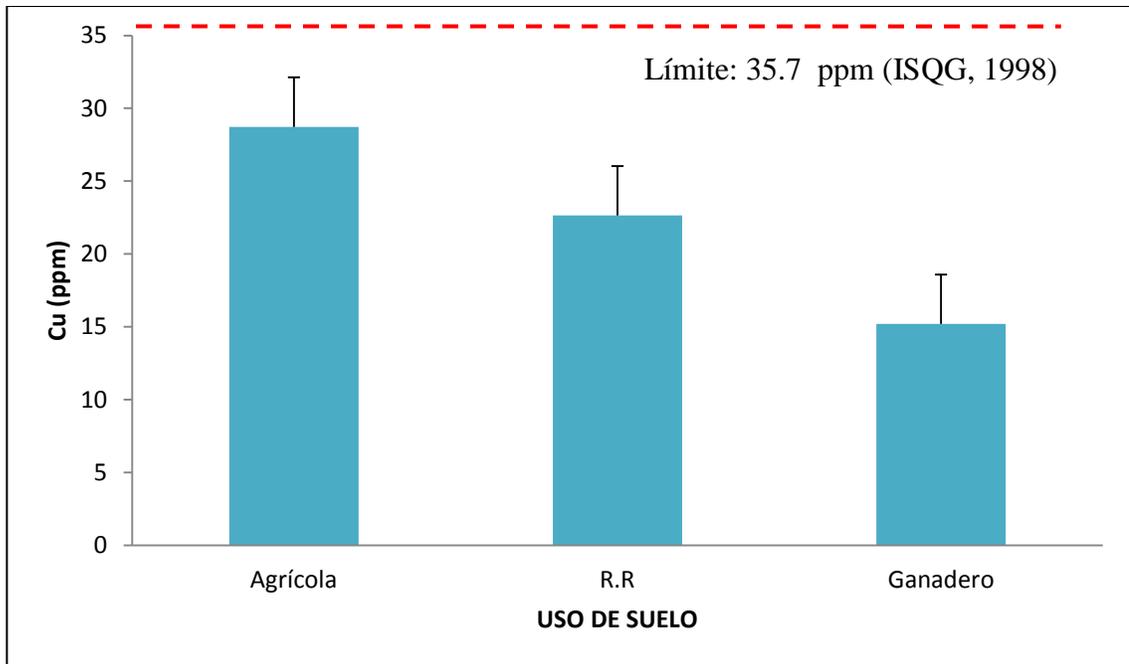


Figura 11. Concentraciones significativas de Cu en sedimentos de acuerdo al uso del suelo sin considerar Tanque Tenorio.

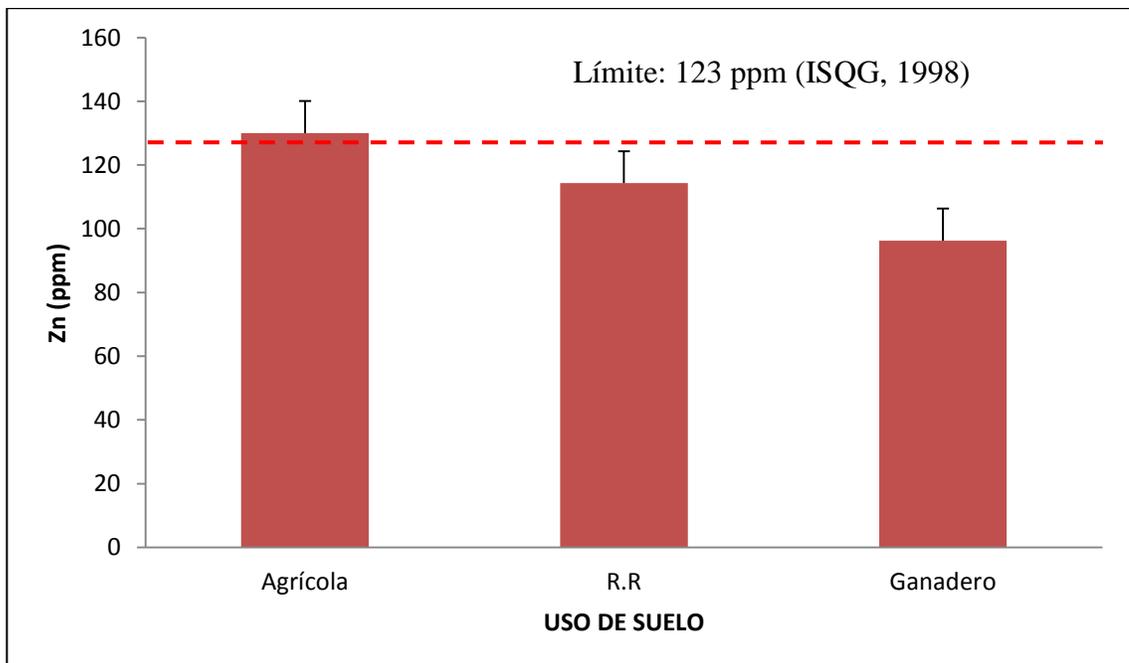


Figura 12. Concentraciones significativas de Cu en sedimentos de acuerdo al uso del suelo sin considerar Tanque Tenorio.

### Pruebas de toxicidad

Al realizar las pruebas de toxicidad en semillas de frijol y maíz usando los sedimentos con mayor y menor concentración de Cd (primavera – verano) no se obtuvieron el número suficiente de emergencias para poder hacer un análisis estadístico. Sin embargo se presenta los resultados descriptivos de estas pruebas.

De las pruebas de toxicidad realizadas se observo que tanto en las repeticiones 1 y 2 hubo incidencias en cuanto al crecimiento de las plantas en las dos temporadas (primavera y verano) así como en los usos de suelo, Tanque Tenorio, agrícola, ganadero y residencial rural, lo que nos indica que en los cuatro usos de suelo seleccionados para esta investigación hubo crecimiento, de las cuales se tomaron tamaño de tallo y raíz (Cuadro 7 y 8).

Cuadro 7. Longitud de tallo de frijol y maíz sobresalientes así como uso de suelo en el que se presento, correspondiente a la repetición 1 y 2, en las temporadas primavera y verano.

	Repetición	Temporada	Planta	Longitud (cm)	Uso de suelo
Tallo	1	Primavera	Frijol	6	Ganadero
		Primavera	Maíz	3.5	Ganadero
		Verano	Frijol	7.3	Tanque tenorio
		Verano	Maíz	6.5	Agrícola
	2	Primavera	Frijol	5.1	Ganadero
		Primavera	Maíz	4.3	Agri/Gan/R-r
		Verano	Frijol	4	T.t - Rr
		verano	Maíz	5	T.t - Gan

Cuadro 8. Longitud de raíz de frijol y maíz sobresalientes así como uso de suelo en el que se presento, correspondiente a la repetición 1 y 2, en las temporadas primavera y verano.

	Repetición	Temporada	Planta	Longitud (cm)	Uso de suelo
Raíz	1	Primavera	Frijol	6.5	Agri/Gan/R-r
		Primavera	Maíz	27	Tanque tenorio
		Verano	Frijol	13.5	Residencial rural
	2	Verano	Maíz	16	Residencial rural
		Primavera	Frijol	12	Ganadero
		Primavera	Maíz	24	Agri/Gan/R-r
		Verano	Frijol	13	Residencial rural
		verano	Maíz	30	Agri/Gan/R-r

En lo que respecta a la repetición uno, en la temporada primera solo hubo tres emergencias de frijol y seis de maíz, destaca que el en el uso de suelo ganadero la planta de frijol tuvo un tamaño de tallo de 6 cm y la más baja fue en uso de suelo ganadero con 2.5 cm. En cuanto al maíz el mayor crecimiento de tallo fue en el uso de suelo ganadero en donde la planta alcanzo 3.5 cm y las más baja fue en el usos de suelo tanque tenorio con 1.5 cm. (Figura 13). En la temporada verano, hubo cuatro emergencias de frijol y seis de maíz. Con respecto a la planta de frijol en el uso de suelo tanque tenorio tuvo el mayor tamaño con 7.3 cm y la más baja en el uso de suelo residencial rural con 3.6 cm. La planta de maíz destaco en el uso de suelo agrícola con 6.5 cm y la más baja en el uso de suelo ganadero con 2 cm (Figura 14).

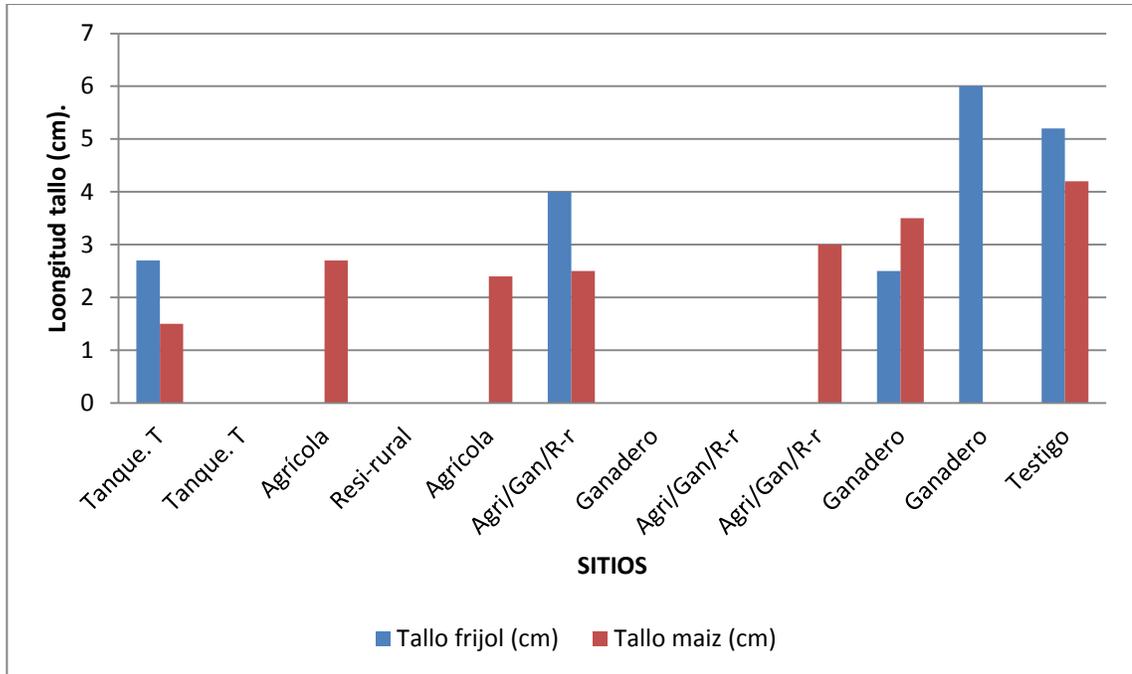


Figura 13. Relación de crecimiento de tallo de maíz y frijol correspondiente a la repetición uno en la temporada primavera.

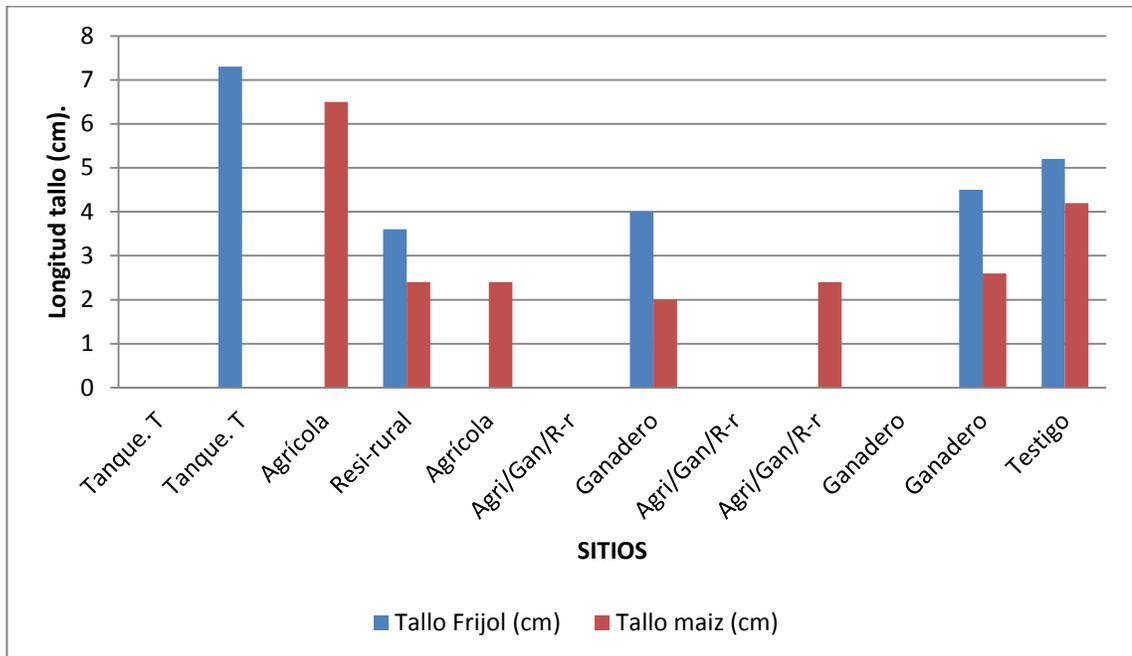


Figura 14. Relación de crecimiento de tallo de maíz y frijol correspondiente a la repetición uno en la temporada verano.

Respecto al crecimiento de raíz, en la temporada primavera correspondiente a la repetición uno, la raíz de frijol tuvo mayor crecimiento en el uso de suelo agrícola/ganadero/residencial rural con 6.5 cm y el crecimiento más bajo fue en el uso de suelo ganadero con 3 cm. La raíz de maíz, tuvo mayor crecimiento en el uso de suelo tanque tenorio con 27 cm y el más bajo en el uso de suelo agrícola/ganadero/residencial rural con 4 cm (Figura 15). En el caso de la temporada verano, la raíz de frijol tuvo mayor tamaño en el uso de suelo residencial rural con 13.5 cm y el más bajo en el uso de suelo ganadero con 6.5 cm. Para la raíz de maíz destaca el uso de suelo residencial rural con 16 cm y el más bajo con 3.5 cm en el uso de suelo agrícola (Figura 16).

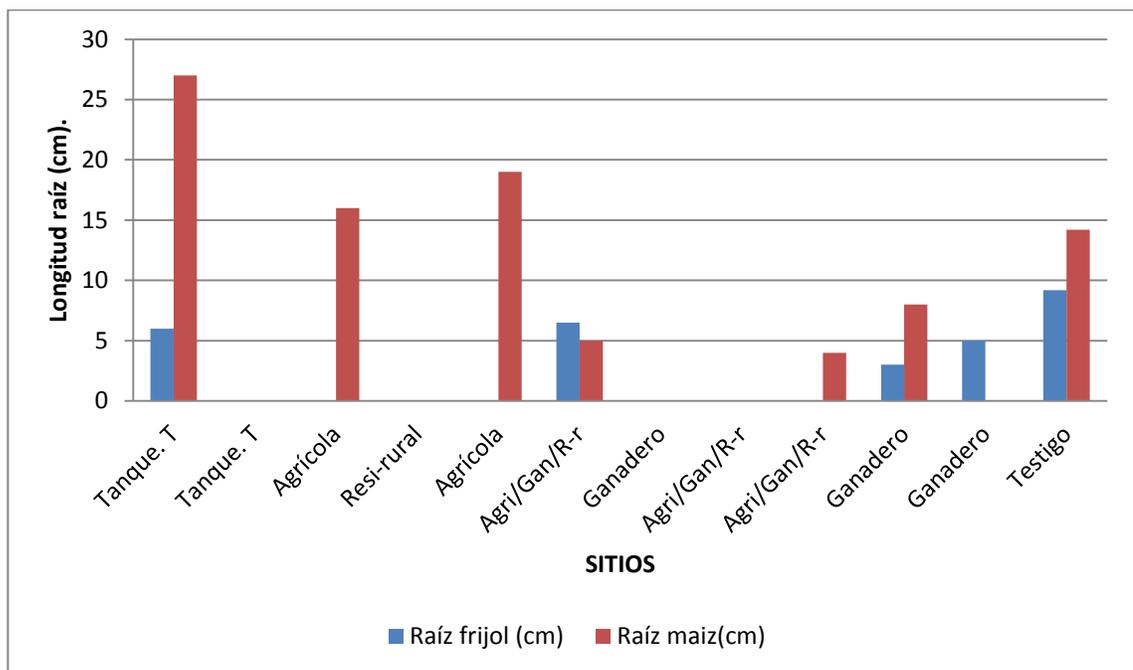


Figura 15. Relación de crecimiento de raíz de maíz y frijol correspondiente a la repetición uno en la temporada primavera.

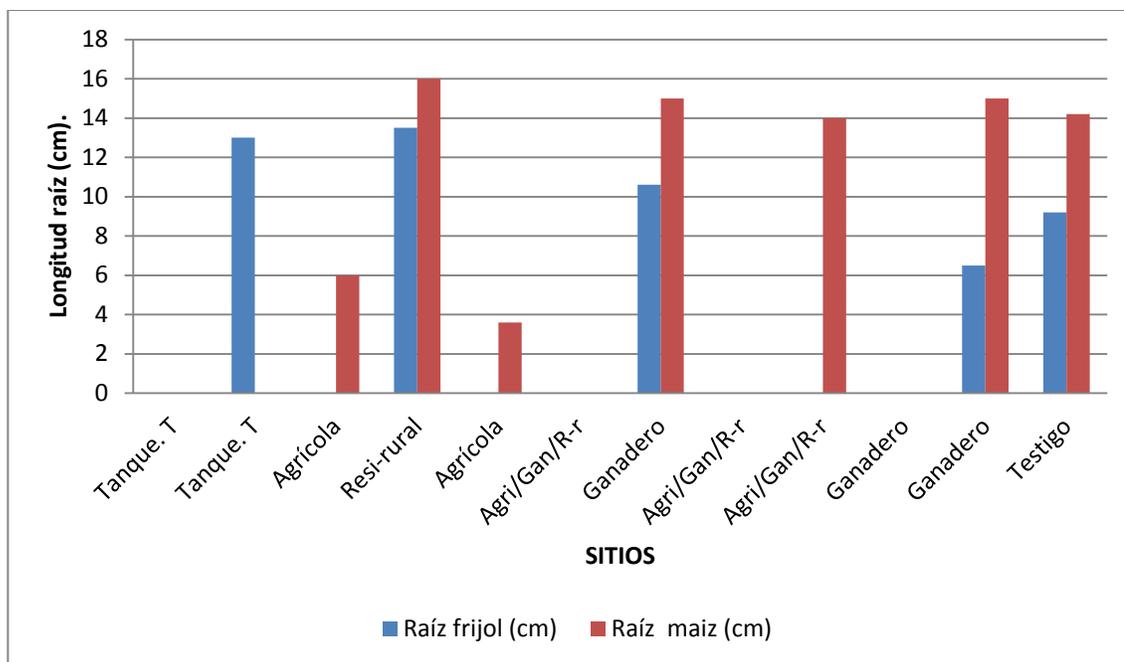


Figura 16. Relación de crecimiento de raíz de maíz y frijol correspondiente a la repetición uno en la temporada verano.

En cuanto a la repetición dos, en la temporada primavera solo hubo una emergencia de frijol y ocho de maíz. En cuanto a la de frijol, tuvo una medida de tallo de 5.1 cm en el uso de suelo ganadero, con respecto a las de maíz destaco el uso de suelo agrícola/ganadero/residencial rural con 4.3 cm y la medida de tallo más baja fue de 1.9 cm en el uso de suelo tanque tenorio (Figura 17). En la temporada verano, hubo seis de maíz y cinco de frijol. El tallo de frijol, tuvo mayor crecimiento en el uso de suelo tanque tenorio y residencial rural con 4 cm y menor en el uso de agrícola con 3.2 cm respectivamente, y en el caso del maíz, los usos de suelo tanque tenorio y ganadero destacaron con 5 cm de tallo respectivamente y el más bajo en el uso de suelo ganadero con 2.7 cm (Figura 18).

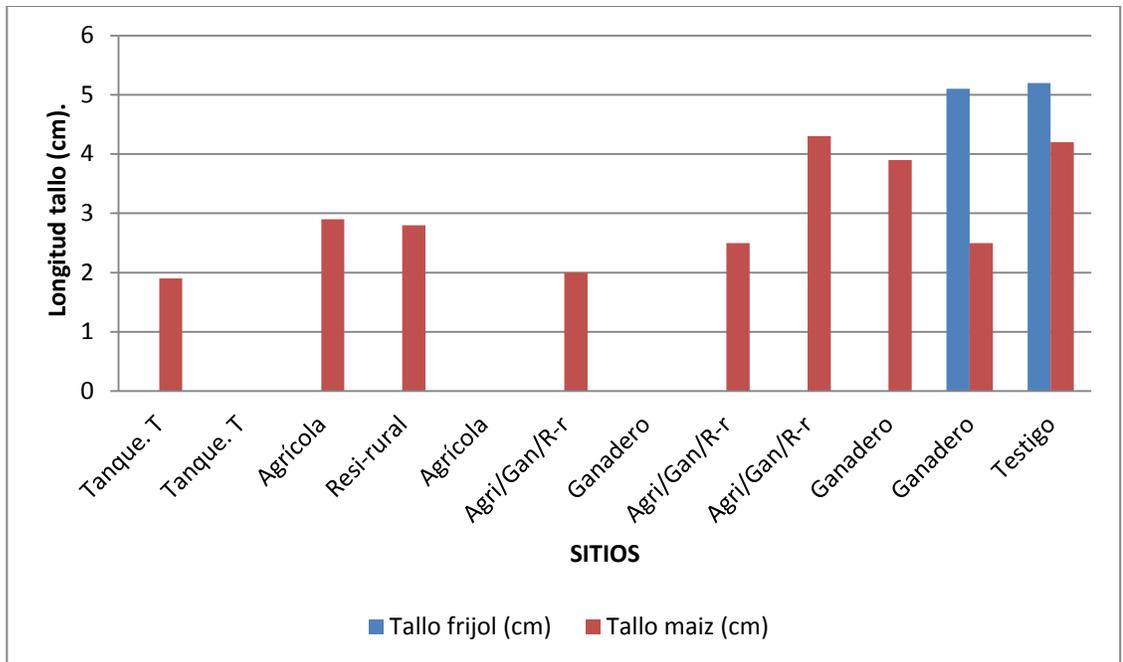


Figura 17. Relación de crecimiento de tallo de maíz y frijol correspondiente a la repetición dos en la temporada primavera.

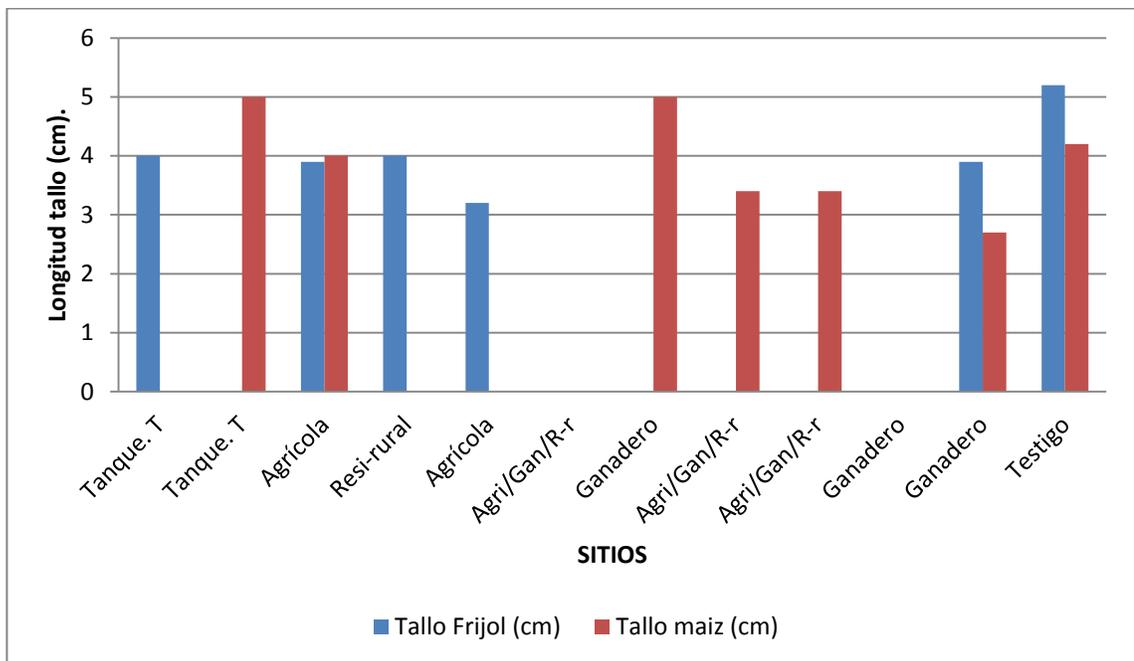


Figura 18. Relación de crecimiento de tallo de maíz y frijol correspondiente a la repetición dos en la temporada verano.

Respecto al crecimiento de raíz en la temporada primavera correspondiente a la repetición dos, la raíz del frijol tuvo mayor crecimiento en el uso de suelo ganadero con 12 cm. La raíz del maíz, tuvo mayor crecimiento en el uso de suelo agrícola/ganadero/residencial rural con 24 cm y la raíz más pequeña correspondió al uso de suelo tanque tenorio con 4 cm (Figura 19). En el caso de la temporada verano, la raíz de frijol tuvo un mayor tamaño en el uso de suelo residencial rural con 13 cm y la más bajo en el uso de suelo agrícola con 4 cm. En cuanto al maíz la raíz de mayor tamaño fue la del uso de agrícola/ganadero/residencial rural con una medida de 30 cm y la más corta fue del uso de suelo agrícola/ganadero/residencial rural con 13.2 cm (Figura 20).

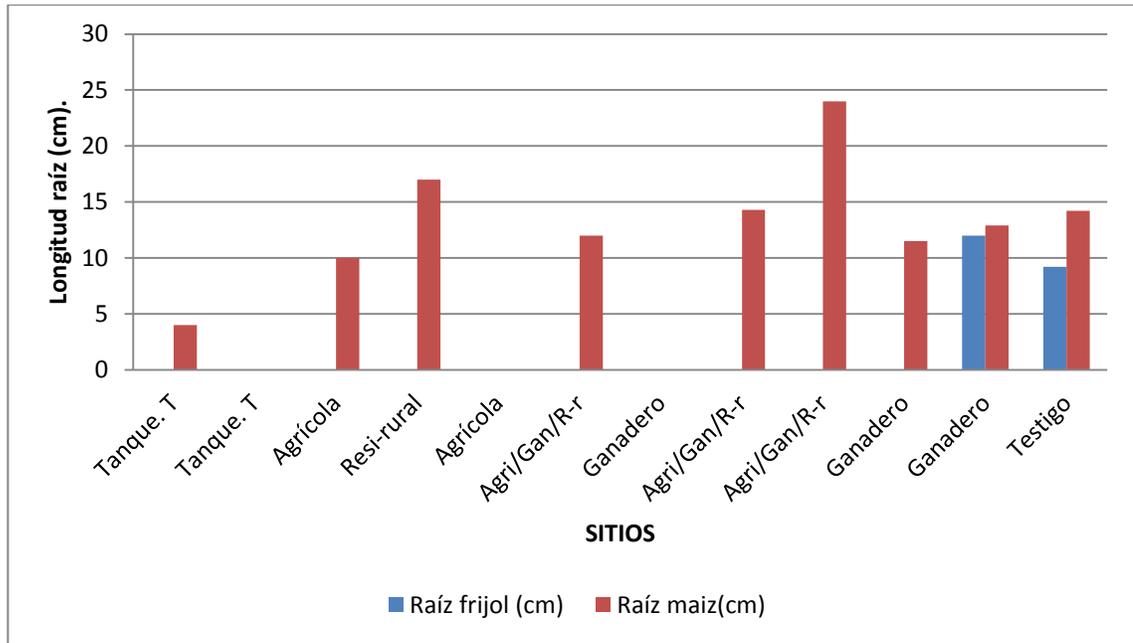


Figura 19. Relación de crecimiento de raíz de maíz y frijol correspondiente a la repetición dos en la temporada primavera.

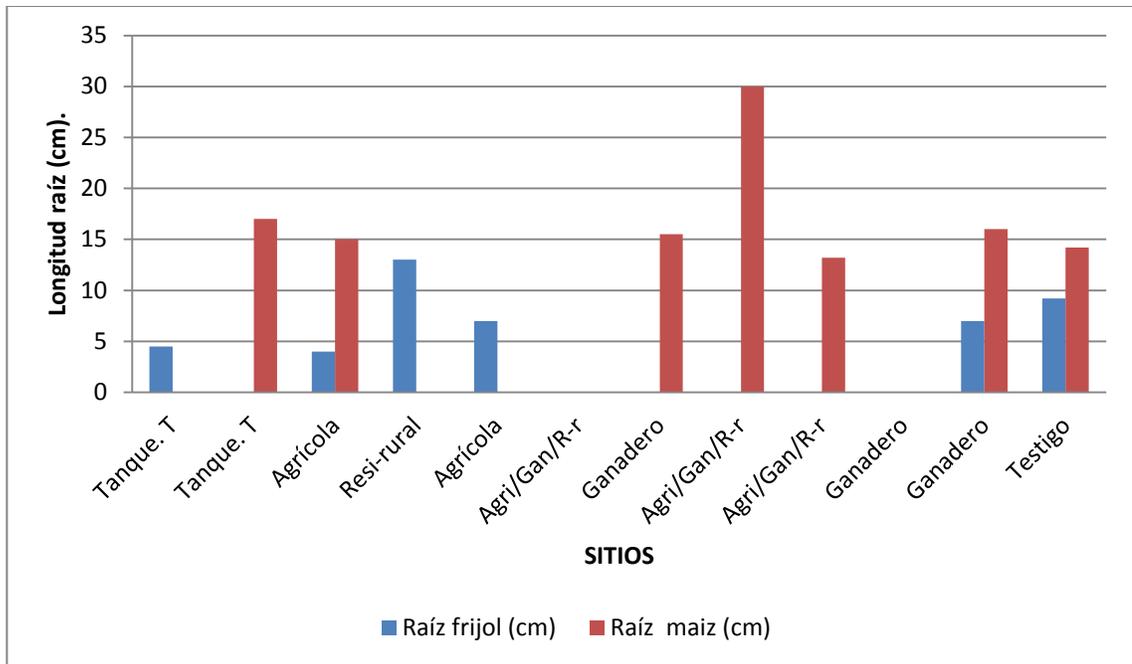


Figura 20. Relación de crecimiento de raíz de maíz y frijol correspondiente a la repetición dos en la temporada verano.

## DISCUSIÓN

### **Efecto Temporada**

De acuerdo a la Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline) (1998, 1997) el límite permisible de Zn y Cd en sedimentos es de 123 ppm y 0.6 ppm respectivamente. Según ATSDR (1997) las aguas residuales con Cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos y puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo el cual es rico en Cadmio y puede contaminar las aguas superficiales y los suelos.

El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos, lagos y arroyos cuando partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia. El plomo puede permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años.

### **Efecto Uso de Suelo**

En relación a lo establecido por Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline) (1998, 1997) el promedio en sedimentos de la concentración del metal Zn es de 123 ppm y del metal Cd es de .6 ppm

Reigosa *et al.*, (2003) nos refiere que el incremento de metales pesados en los suelos agrícolas es debido a la utilización de fangos de depuración de aguas residuales, compost de basura, determinadas sustancias agroquímicas, purines de cerdos ricos en metales pesados, entre otros.

### **Pruebas de Toxicidad**

De acuerdo a Sobrero y Ronco (2004), los efectos cuantificados sobre la elongación de la radícula o del hipocótilo son efectos subletales. La inhibición en la germinación podría considerarse como un efecto letal, siempre y cuando podamos corroborar que

finalizada la exposición a una muestra las semillas no germinaron por muerte del embrión, y que no existe simplemente un retraso en el proceso de germinación, manteniéndose la viabilidad de la semilla. No obstante a esto, la inhibición en la germinación registrada al finalizar la prueba, se considera fitotoxicidad, aunque el efecto en la germinación sea reversible. Otro aspecto a considerar es el mayor desarrollo en la elongación de la radícula en algunas muestras, esto no debe ser interpretado como un efecto favorable o estimulante. Si bien es posible que muchos compuestos (ej.: Cu, Zn) a bajas concentraciones produzcan exaltación por ser micronutrientes vegetales.

## CONCLUSIONES

En el sistema ribereño evaluado, se determinó la presencia de metales pesados como el Pb, Cd, Cu y Zn en sedimentos. Esta presencia se deriva de la incidencia que puede tener la temporada del año (primavera, verano, otoño e invierno) y el uso de suelo (Agrícola, Residencial-rural y Ganadero). En el caso de la temporada, los metales que fueron afectados significativamente fueron el Zn, Pb y Cd. En el caso del uso de suelo, tuvo incidencia significativa en las concentraciones de Cu, Zn y Cd. Asimismo, se comprobó que la relación entre la temporada y el uso de suelo fueron factores condicionantes para la concentración de Zn y Cd. Considerando lo que indica la Canadian Environmental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline) la concentración de metales pesados en sedimentos que rebasaron los límites marcados fueron el Cd y Zn.

Se comprueba que la dinámica de los usos de suelo inmersos en el sistema ribereño Tanque Tenorio- Rio Santiago incide en la presencia de metales pesados, aunque los niveles no fueron alarmantes su presencia es indicativa de la calidad ambiental. Esto puede estar asociado a las descargas de aguas residuales que se acumulan y que algunos contaminantes se sedimentan a través del trayecto del área ribereña variando sus concentraciones.

Al realizar las pruebas toxicidad en semillas de frijol y maíz usando sedimentos con mayor y menor concentración de Cd (primavera – verano), se encontró que no se obtuvieron el número suficiente de crecimientos para poder hacer un análisis estadístico que permitiera evaluar con mayor precisión tal efecto, por lo tanto, se recomienda tener un seguimiento de este tipo de estudios

## LITERATURA CITADA

- Alcalá, J., Sosa M., Moreno M., Quintana C., Quintana G., Miranda S. y Rubio A.. (2008). Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de calidad ambiental urbana: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina* 17: 39-54
- ATSDR. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 1999, 2007, 2004. Resumen de Salud Publica Cadmio (en ingles). Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. [Online]. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_ph5.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph5.html). [2011, Junio].
- ATSDR. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2007. Resumen de Salud Publica Plomo (en ingles). Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. [Online]. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_ph13.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph13.html) [2011, Junio].
- ATSDR. Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.. 2004. Resumen de Salud Publica Cobre (en ingles). Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. [Online]. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_ph132.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph132.pdf) [2011, Junio].
- (ATSDR). Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.. 2005. Resumen de Salud Pública Zinc (en ingles). Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. [Online]. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_ph60.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph60.html). [2011, Junio].
- Acción Ecológica. 2004. Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre. Red por una América latina libre de transgénicos Quito-Ecuador. [Online].<http://www.rallt.org/PUBLICACIONES/libro%20maiz.pdf>. [2011, Noviembre].
- Acosta, V y Lodeiros, 2009. Interciencia: Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. [Online]. p.p.686-690.

- Aguado, A.J. 2008. Los Metales Pesados en aguas residuales. Grupo de fisicoquímica de Procesos Industriales y Medioambientales. España.
- Anónimo. 1991. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.
- Bautista, C.A., Etcheuers, B.L., Castillo, R.F y Gutiérrez, C. 2008. La calidad del suelo y sus indicadores. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. México.
- Bryan, G.W y Langston, W.J. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries. [Online]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/026974919290099V>. [2011, Julio].
- Buol, S. W. 1995. Sustainability of soil use. Annual Review of Ecology and Systematic. [Online].<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.es.26.110195.000325?journalCode=ecolsys>. [2011, Junio].
- Cabrera, F., Cordon, R y Arambarri, P. 1987. Metales Pesados en las aguas y sedimentos de los estuarios de los ríos Guadalquivir y Barbate. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.
- Canadian Enviromental Quality Guidelines (ISQG-Interim Sediment Quality Guideline). 1997,1998. [Online].[http://www.ccme.ca/publications/ceqg\\_rcqe.html](http://www.ccme.ca/publications/ceqg_rcqe.html). [2012, Febrero].
- Carballo, O., Arencibia G., Concepción, J e Isla M. 2003. Los Bioensayos de Toxicidad en Sedimentos Marinos. Centro de Investigaciones Pesqueras. Cuba.
- Cervantes, C y Moreno, S.R. 1999. Contaminación Ambiental por Metales Pesados, impacto en los Seres Vivos. Ed. AGT S.A.
- Contreras, P., Mendoza, C y Gómez, A. 2004. Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del rio Haina. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Republica Dominicana.
- CITME. Circulo de Innovación en tecnologías Medioambientales y Energía. 2007.. Informe de Vigilancia Tecnológica. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Universidad de Alcalá. Madrid.

- CONABIO. 2009. *Phaseolus vulgaris* ficha informativa. [Online] <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/phaseolusvulgaris/fichas/ficha.htm> [2011, Diciembre].
- CONAGUA. 2002. Análisis de la condición de los sistemas ribereños del río Conchos y su impacto sobre la biodiversidad en el estado de Chihuahua.
- Díaz, V., Elizalde, E., Quiroz, H., Rodríguez, J y Molina, I. 2005. Caracterización de algunos parámetros físico químicos del agua en sedimentos del lago Zempoala, Morelos, México. Universidad de Guanajuato.
- Dyer, K. R y Orth, R.J. 1992. Changes in fluxes in estuaries. Dinamarca. [Online]. <http://books.google.com.mx/books>. [2011, Julio].
- Ferré-huget, N y Domingo, L. 2007. Metales Pesados y Salud. Fundación Mapfre. España. [Online] <http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/prev-ma/revista-seguridad/n108-programa-hra-metales-pesados.pdf>.
- Galán, H.A y Romero, B.A. 2008. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química .Facultad de Química Universidad de Sevilla.
- Garbísu, C., Becerril, J.M., Epelde, L. y Alkorta, I. 2007. Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica de la eficacia de un proceso fitorremediador, Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. España.[ Online]. [http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7667/1/ECO\\_16%282%29\\_05.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7667/1/ECO_16%282%29_05.pdf). [2011, Mayo].
- Gobierno Federal, Gobierno Estatal de San Luis Potosí y Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Plan de Desarrollo Urbano del Estado de San Luis Potosí 2001 2020. pp.28-32.
- Granado. S.D., Hernández, G.A y López, R.F. 2006. Ecología de zonas ribereñas. División de Ciencias Forestales. Chapingo. México. [Online]. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/629/62912107.pdf>. [ 2011, Agosto].

- H. Ayuntamiento de San Luis Potosí. 2003. Plan del Centro de Población Estratégico San Luis Potosí Soledad de Graciano Sánchez. [Online]. [http://seduvopslp.gob.mx/plan/modificacion/modificacion\\_del\\_pdu\\_cp\\_slp\\_sgs/1\\_modificacion\\_pduce\\_slp\\_sgs\\_2010.pdf](http://seduvopslp.gob.mx/plan/modificacion/modificacion_del_pdu_cp_slp_sgs/1_modificacion_pduce_slp_sgs_2010.pdf) [2012, Enero].
- INEGI. 2002. Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III. México. [Online]. [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen/02\\_vegetacion/cap2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/02_vegetacion/cap2.html). [2011, Septiembre].
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Luis Potosí, San Luis Potosí. Clave geoestadística 24028. 2009.
- Instituto de Investigaciones Legislativas.2000. Ley del desarrollo urbano del Estado de San Luis Potosí. [Online]. <http://docs.mexico.justia.com.s3.amazonaws.com/estatales/san-luis-potosi/ley-de-desarrollo-urbano-del-estado-de-san-luis-potosi.pdf>. [2011, Agosto].
- Kato, Y. T., Mapes, S. C., Mera, O. L., Serratos, H. J y Bye, B. R. 2009. Origen y Diversificación del maíz. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.México.[Online].<http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Origen%20del%20MaizUv.pdf>. [2012, Enero].
- Llobet, J.M. y Schuhmacher, M. 2007. Metales Pesados y Salud. Unidad de Toxicología, Universidad de Barcelona. [Online]. <http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/prev-ma/revista-seguridad/n108-programa-hra-metales-pesados.pdf>. [2011, Mayo].
- MARN (Ministerio de Recursos Naturales de Guatemala). 2003. Sistema de Información Ambiental. Manual de Indicadores del Ambiente y Recursos Naturales. Guatemala. [Online].<http://www.uvg.edu.gt/instituto/centros/cea/MANUA%20INDICADORES%20MARN.pdf>. [2011, Febrero].
- Medellín, M.P. 2003. Uso de Suelo. Agenda Ambiental. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. [Online]. <http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP021114.pdf>. [2011, Junio].

- Naiman, R.J., H. Décamps, J. Pastor y C.A. Johnston. 1988. The potencial importance of boundaries to fluvial ecosystems.USA. [Online]. <http://www.jstor.org/pss/1467295>. [2011, Agosto].
- Navarro, G. G. 2003. Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. pp 15.
- Nrighu, J.O y Pacyna, J. M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. [Online]. <http://www.nature.com/nature/journal/v333/n6169/pdf/333134a0.pdf>. [ 2011, Julio].
- Olivo, C y S, Martínez, L.J. 2000. Saneamiento Integral de las Aguas Residuales de la zona conurbana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. [Online]. [http://www.igeograf.unam.mx/web/sigg/docs/pdfs/instituto/inf\\_act/dr\\_jose\\_palencio/inf\\_jlp\\_98-00.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/web/sigg/docs/pdfs/instituto/inf_act/dr_jose_palencio/inf_jlp_98-00.pdf). [2011, Mayo].
- Pérez, F. L. 2005. Teoría de la Sedimentación. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Paraguay.
- Porta, C.J., López-Acevedo, R.M y Poch, C.R.2008. Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. pp 20.
- Ramos, A., Legorburu, I y Millan, E. 1990. Impacto Ambiental por metales pesados en sedimentos superficiales de los estuarios exteriores de Guipuzcoa. Facultad de Ciencias Químicas. España.
- Reigosa, M. J., Pedrol, N. y Sánchez, A. 2003. La ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis. Ed. Thomson. Madrid. España.
- Reyes, R.E., Padilla, B.L., Pérez, V.O y López, J.P. 2008 Historia, naturaleza y calidad alimentaria del frijol. Revista Investigación Científica. México.
- Ronco, A., Díaz B. y Pica, G. 2004. Elementos básicos requeridos para la implementación de pruebas en análisis rutinarios. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas en estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua. P- 26-37.

- Rosaldo, L.J. 1998. Deficiencia de Zinc y sus implicaciones funcionales. Salud pública de México. [Online]. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=10640210>. [2011. Junio].
- Rosas, R. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Universidad Politécnica de Catalunya. España
- SAGARPA-SIAP. 2004. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON 2004). México. [Online]. [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen/02\\_vegetacion/cap2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/02_vegetacion/cap2.html) [2011, Mayo].
- SEMARNAT. 2001. NOM-059- SEMARNAT-2001. [Online]. [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx). [2011, Febrero].
- Sobrero, M. y Ronco, A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa L*). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas en estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua. p.63
- Valdés, P.F y Cabrera, M.V. 1999. La contaminación por Metales Pesados en Torreón, Coahuila, México. En Defensa del Medio Ambiente A.C. [Online]. <http://www.texascenter.org/publications/torreon.pdf>. [2011, Agosto].
- Vargas, O. M. 1999. Introducción: Especiación de Metales Pesados en Suelos Regados con Aguas Residuales.
- Velia, A.A y Almaguer, V.G. 2008. Competitividad del frijol. Periódico El Cotidiano. [Online]. <http://www.elcotidianoenlinea.com.mx/pdf/14710.pdf> [ 2011, Diciembre].
- Zarazúa, G., Tejeda, S., Ávila-Pérez, P., Carapia, L., Carreño, C., Balcázar, M. 2009. Contenidos de Metales Elementales y composición de las partículas en sedimentos cohesivos del Río Lerma, México. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Gerencia de Ciencias Ambientales. México

# **ANEXOS**



Anexo 1. Toma de muestra.



Anexo 2. Toma de muestra en uso de suelo ganadero.



Anexo 3. Toma de muestra en uso de suelo residencial-rural.



Anexo 4. Toma de muestra en uso de suelo agrícola.



Anexo 5. Toma de muestra en uso de suelo Tanque Tenorio.



Anexo 6. Panorama general del área de estudio.



Anexo 7. Secado de muestras.



Anexo 8. Tamizado de muestras.



Anexo 9. Digestión de muestras.



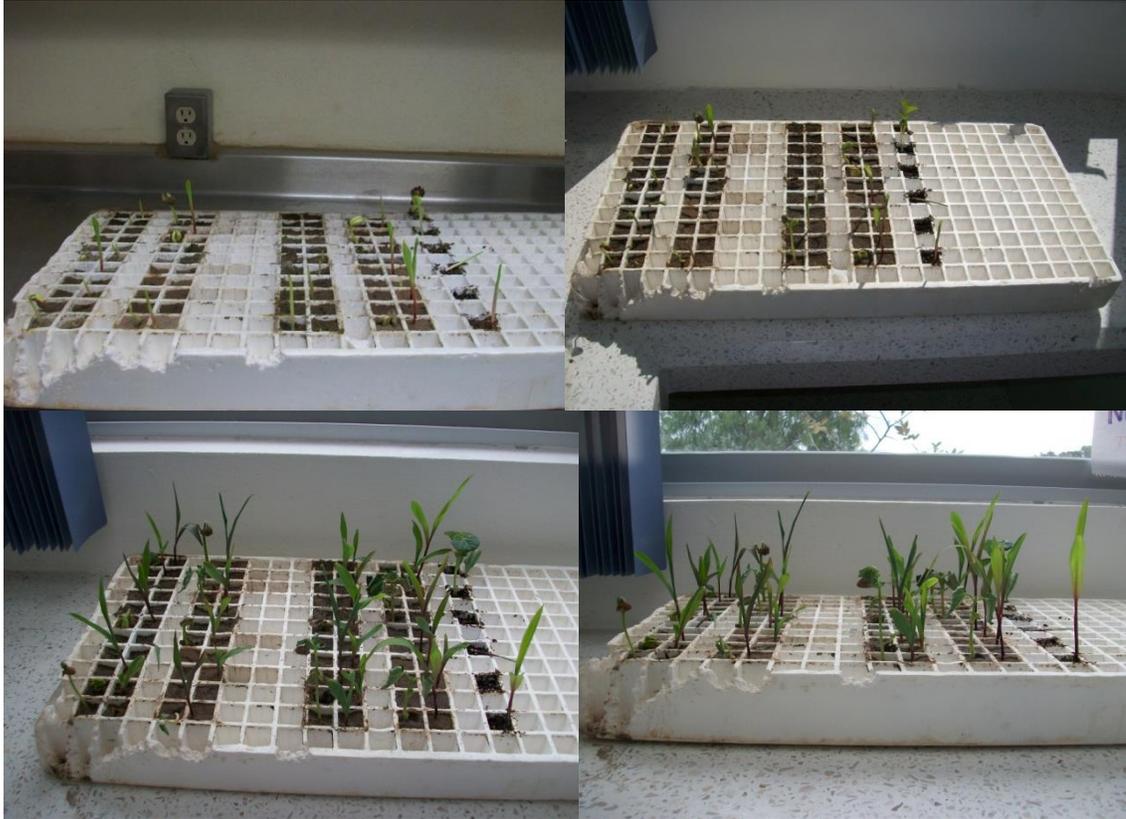
Anexo 10. Aforización de muestras.



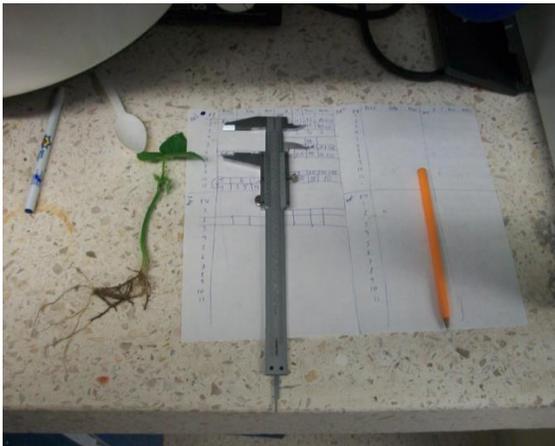
Anexo 11. Preparación de Estándares por MC. Alejandra Hernández Montoya.



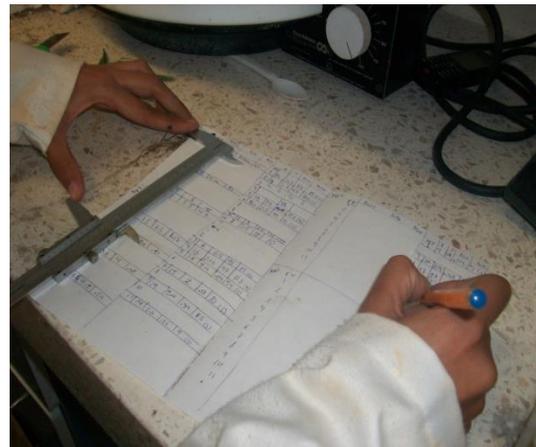
Anexo 12. Espectrofotometría de absorción atómica.



Anexo 13. Emergencias de frijol, y maíz.



Anexo 14. Aparato utilizado para medición de tallo y raíz, Vernier.



Anexo 15. Medida y toma de datos.