

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**“ACUMULACIÓN DE PLOMO EN *Lactuca sativa* EXPUESTA A
DIFERENTES TIEMPOS Y CONCENTRACIONES DE ACETATO DE
PLOMO, EN CONDICIONES DE LABORATORIO**

**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO
DE BIÓLOGO**

AUTORA: Br. MAYRA TATIANA MORENO MENDEZ

ASESORA: Dra. LURDES TUESTA COLLANTES

TRUJILLO – PERU

2013

UTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

QUE OTORGAN EL TÍTULO DE BIÓLOGO

Dr. Orlando Velásquez Benites

RECTOR

Dr. Vilma Julia Méndez Gil

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dr. Flor Marlene Luna Victoria Mori

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Dr. Hermes Mario Escalante Añorga

DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Dr. Segundo Eloy López Medina

DIRECTOR DE LA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS

PRESENTACIÓN

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO DICTAMINADOR

En cumplimiento con las disposiciones vigentes para grados y títulos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo, someto a vuestra consideración la presente tesis titulada “Acumulación de plomo en *Lactuca sativa*, expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de acetato de plomo en condiciones de laboratorio”, con lo cual estoy cumpliendo con uno de los requisitos indispensables para optar el Título Profesional de Biólogo.

Trujillo, Diciembre del 2013

Br. Mayra Tatiana Moreno Mendez

DEL ASESOR

La que suscribe, profesor asesor de la presente tesis titulada: Acumulación de plomo en *Lactuca sativa*, expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de acetato de plomo en condiciones de laboratorio”.

CERTIFICA:

Que la investigación ha sido desarrollada en conformidad con su correspondiente proyecto y las orientaciones pertinentes; por tal razón el informe ha sido redactado bajo mi asesoramiento, acogiendo las observaciones y sugerencias alcanzadas, por lo que autorizo a la Br. Mayra Tatiana Moreno Mendez, continuar con los procedimientos según sus fines.

Dr. Lurdes Tuesta Collantes
ASESOR

JURADO DICTAMINADOR

Dr. Santos Enrique Padilla Sagástegui

PRESIDENTE

Dr. Gina Zavaleta Espejo

SECRETARIO

Dr. Lurdes Tuesta Collantes

VOCAL

APROBACIÓN

Los profesores que suscriben, miembros del jurado dictaminador, declaran que la presente tesis ha cumplido con los requerimientos formales y fundamentales, siendo aprobada por UNANIMIDAD

Dr. Santos Enrique Padilla Sagástegui

PRESIDENTE

Dr. Gina Zavaleta Espejo

SECRETARIO

Dr. Lurdes Tuesta Collantes

VOCAL

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por darme salud y fuerzas en todo momento a fin de poder cumplir con mis objetivos trazados y no desmayar en el intento de conseguirlos, a él, quien me quitó algunas cosas pero me entregó otras.

A mi hermano Andrey por sus consejos en aquellos momentos difíciles, por esas lágrimas que hemos derramado juntos de tristeza y alegría, a ti hermano que has convertido muchos días tristes en divertidos, pero sobre todo por quererme tanto como yo a ti.

A mis padres Aleja y Cristian por su inmenso amor, comprensión y apoyo incondicional, porque nunca me soltaron de la mano aún cuando pensaba que el camino terminaba, además por ser ejemplo de perseverancia y sacrificio por lo que se quiere.

A mi hijo Nicolás, quien es el motor más grande de mi vida, mi fortaleza y ganas de salir adelante, a ti mi hijo adorado porque me haces comprender que el amor de madre es infinito y verdadero, porque quiero ser la mejor madre y amiga para ti.

A mis abuelitos José, Rosario, Hualberta y Aloncio que son el claro ejemplo de progreso pues con lo poco que tuvieron, pudieron educar y criar a sus hijos de manera correcta, brindándome los excelentes padres que tengo.

A mis amigos y familiares quienes están en todo momento brindándome su apoyo y disfrutando mis logros como si fueran suyos.

A la Sra. Flor, Miluska y Milagros tres personas tan importantes como de mi propia familia quienes nunca me desampararon y siempre lejos o cerca, están pendientes de mi vida dándome ánimos y la mano ante cualquier caída.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Trujillo, a través de los profesores de la Escuela Académico Profesional de Ciencias Biológicas quienes con sus enseñanzas y consejos, contribuyeron a mi formación profesional.

A mis profesores Lurdes Tuesta Collantes y Enrique Padilla Sagástegui por su invaluable apoyo y orientación para la elaboración y culminación de la presente tesis.

De manera especial a la Ing. Leslie Liñan Herrera por su apoyo incondicional y comprensión en la culminación de este trabajo.

A mis compañeros de estudio y en especial a mis amigos Karen, Wendy, Jaqueline, Edgar, Jorge, Miguel, Daniel, Alberto, Yeimy, María y Anny, quienes me dieron aliento para superar los momentos de tensión y alegría dentro de las aulas de clase.

RESUMEN

Uno de los problemas ambientales en la actualidad y que será preocupante a futuro, es la contaminación del agua, la misma que es afectada por el sector minero, agroindustrial y doméstico, alterando su composición química, física y biológica. Parte de los componentes que llevan las aguas residuales de las diferentes actividades, son los metales pesados, los mismos que ingresan a la cadena alimenticia cuando están contaminadas y sirven de riego para cultivos de consumo diario, lo que motivó a realizar la presente investigación, con el objetivo de determinar la acumulación de plomo por *Lactuca sativa* “lechuga repollada” expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo, en condiciones de laboratorio; para lo cual se instaló un sistema hidropónico constituido por agua destilada, soluciones nutritivas A y B, acetato de plomo trihidratado y *L. sativa*, considerando quince tratamientos, incluyendo un control, con tres repeticiones para cada uno de ellos. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, al finalizar la experiencia las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de la Comunidad e Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo, para realizar el análisis químico por espectrofotometría de absorción atómica, los datos obtenidos fueron analizados utilizando las pruebas estadísticas de análisis de varianza y Mínima Diferencia Significativa Honesta donde los resultados mostraron que existen diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a las concentraciones y tiempo de exposición al plomo, lo cual nos permite concluir que las hojas de *L. sativa* tienen capacidad de acumular plomo.

Palabras Clave: Plomo, *Lactuca sativa*

ABSTRACT

One of the environmental problems today and that will be a future concern is the contamination of water, the same that is affected by the mining, agro-industrial and domestic sectors, altering its chemical, physical and biological composition. Some of the components that carry wastewater from different activities, are heavy metals, the same as entering the food chain when they are contaminated and serve as irrigation for crops for daily consumption, which motivated to do this research, order to determine the accumulation of lead *Lactuca sativa* "Iceberg lettuce" exposed at different times and concentrations of lead, under laboratory conditions, for which a hydroponic system comprising distilled water, nutrient solutions A and B, lead acetate trihydrate and settled *L. sativa*, considering fifteen treatments, including a control, with three replicates for each of them. The experimental design was completely random and end of the experience samples were transported to the laboratory community and research at the National University of Trujillo, for chemical analysis by atomic absorption spectrophotometry, the data obtained were analyzed using tests statistical analysis of variance and Least Significant difference Honest where the results showed significant differences between treatments with respect to the concentrations and time of exposure to lead, which allows us to conclude that the leaves of *L. sativa* are able to accumulate lead.

Keywords: Lead, *Lactuca sativa*

INDICE

PRESENTACIÓN.....	iii
DEL ASESOR.....	iv
JURADO DICTAMINADOR.....	v
APROBACIÓN.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
ÍNDICE.....	xii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
I. INTRODUCCION.....	1
II. MATERIAL Y METODOS.....	6
III. RESULTADOS.....	11
IV. DISCUSIÓN.....	21
V. CONCLUSIÓN.....	25
VI. RECOMENDACIONES.....	26
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	27
VIII. ANEXOS.....	30

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1	12
Coloración de hojas y raíz de <i>L. sativa</i> expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.	
Cuadro 2	13
Promedios de altura de <i>L. sativa</i> expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.	
Cuadro 3	15
Promedios de plomo en hojas de <i>L. sativa</i> expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.	
Cuadro 4	17
Análisis de varianza para los promedios de plomo en hojas de <i>L. sativa</i> expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo	
Cuadro 5	17
Análisis de varianza para los promedios de altura de <i>L. sativa</i> expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo	
Cuadro 6	18
Diferencia de medias para plomo en hojas de <i>L. sativa</i> , según el análisis de Mínima Diferencia Significativa Honesta. $D=0,00593$	
Cuadro 7	19
Diferencia de medias para altura de <i>L. sativa</i> , según el análisis de Mínima Diferencia Significativa Honesta. $D=1,19$	

INDICE DE FIGURAS

	Página	
Figura 1	Esquema del diseño experimental que se utilizó para la investigación.	7
Figura 2	Promedios de altura en <i>L. sativa</i> expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.	14
Figura 3	Promedios de plomo en hojas de <i>L. sativa</i> expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.	16

DIRECCION DE SISTEMAS DE INFORMÁTICA Y COMUNICACIÓN

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es causada por diferentes actividades que desarrolla el ser humano con la finalidad de satisfacer sus necesidades; sin embargo en años recientes se le ha prestado mayor atención al aumento, frecuencia y gravedad de los incidentes de contaminación en el mundo, donde existen cada vez más pruebas de los efectos adversos contra el ambiente y la salud, ya que la entrada de sustancias tóxicas alteran su estado tradicional, como se ha demostrado desde el siglo XVIII, pero se agravaron considerablemente después de la segunda guerra mundial, cuando aumentó el consumo de energía; así como la extracción, producción y/o uso de diversas sustancias que rebasaron la capacidad de los ecosistemas ocasionando dificultades para asimilarlas o degradarlas; por lo cual los mecanismos naturales de asimilación o degradación desaparecieron (Albert, 2004).

En la actualidad, la modernización de técnicas de explotación de los recursos conllevan a una mayor cantidad de desechos que en el medio ambiente no pueden ser procesadas con la misma velocidad con la que se producen, ocasionando la contaminación del aire, agua y suelo; asimismo, perturban el bienestar del ser humano y los demás seres vivos que habitan en los diferentes ecosistemas, trayendo consigo la destrucción de los mismos (Gómez, 1995); sin embargo, los de mayor riesgo son los elementos químicos, destacando entre ellos, los metales pesados, debido al mayor impacto negativo que generan en el medio y su característica común de elevada densidad, con connotaciones de toxicidad. Se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma

de minerales, sales u otros compuestos; aunque la concentración natural se modifica, incrementándose, por diversas actividades humanas, entre las que destacan la minería, fundición, producción energética, actividad industrial, producción y uso de plaguicidas, el tratamiento y depósito/vertido de residuos, que en muchos casos no pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica, ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos, por ello tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. Los metales pesados, producen alteraciones en las características físico-químicas propias del agua, así mismo sobre la flora y fauna que habita en ella, ocasionando daños severos y en ocasiones ausentes de síntomas, pudiendo producir la muerte; lo que se ha convertido en un tema de investigación tanto en el campo ambiental como en la salud pública (Prieto, y col. 2009; Peris, 2006; Valdés, 1999).

En este contexto, existen metales pesados (cobre, fierro, manganeso, zinc, níquel, cobalto y cromo) esenciales para las plantas superiores, animales y seres humanos; sin embargo, la presencia de otros (cadmio o Plomo), no esenciales, pueden llegar a limitar el crecimiento vegetal y/o ser tóxicos, incluso a mínimas concentraciones, causando efectos negativos sobre los seres vivos (Peris, 2006).

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada en la cadena alimentaria, cuyo proceso y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento desde la solución en el suelo a la raíz de la planta; aunque pueden quedar retenidos en el mismo, pero en muchos casos quedan movilizados en la

solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Rubio, y col. 2004).

Existen investigaciones con metales pesados, siendo el plomo, el más utilizado desde la antigüedad, debido a su facilidad de uso para elaborar adornos, cerámicas, pinturas, baterías y municiones; aunque por sus condiciones tóxicas, no es esencial para las plantas, animales y nutrición de los seres humanos, a pesar de que existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos; sin embargo, cuando es ingerido, inhalado o absorbido a través de la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos, particularmente en mamíferos, porque afecta al sistema endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, gastrointestinal, la piel y riñones (Lujan, 2007; Valdés, 1999).

En los seres vivos y en condiciones naturales, el plomo es un contaminante ambiental altamente tóxico, que llega a distribuirse y acumularse en las plantas por medio de la absorción y el intercambio de cationes, llegando a causar muchos de los problemas de salud, debido a que su ingreso al ser humano por consumo a través de los productos agrícolas le permite acumularse en órganos vitales produciendo efectos tóxicos progresivos (Isea, y col. 2000).

Los vegetales, tales como las hortalizas de hoja ancha, son parte importante de nuestra dieta diaria por las vitaminas y minerales proveen, además de la fibra; la cual ayuda a la digestión. Del mismo modo, debemos destacar el uso frecuente de *L. sativa* en las mesas familiares de la región La Libertad, las cuales proceden de cultivos de la cuenca

media y baja del Río Moche, que son regados con aguas provenientes del río del mismo nombre, cuya calidad viene siendo menguada por los vertimientos de aguas residuales de las diferentes actividades antropogénicas (Prieto, y *col.* 2009).

Hoy en día, conscientes de la creciente demanda de agua para diferentes actividades, y la falta de tratamientos para las aguas residuales de zonas residenciales e industriales, se realizan investigaciones a nivel mundial, nacional y departamental, sobre el impacto en las plantas, animales y el hombre; así lo refieren Isea, y *col.* (2000) en la investigación realizada en acumulación y lixiviación de metales macronutrientes en suelos irrigados con aguas residuales tratadas, y concluye que los suelos sometidos a riego con aguas residuales tratadas, ofrecen una adecuada movilidad de los metales pesados, lixiviando los elementos que podrían ser nocivos para las plantas o para el ser humano.

Asimismo, Prieto, y *col.* (2009) refieren que los incrementos de concentraciones de metales en los suelos por prácticas inapropiadas y el aumento de la biodisponibilidad de los mismos para los múltiples cultivos vegetales está causando fitotoxicidad, provocando un riesgo latente para la salud de animales y humanos, complementando los reportes de Miranda, y *col.*

(2008), quienes concluyen que el plomo supera la concentración máxima permitida en alimentos para lactantes y niños de corta edad, establecida por la Unión Europea (2006), cuando incluyen en su dieta vegetales contaminados.

En la Región Lima, se realizó una investigación sobre la calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras y se concluyó que, por lo menos en dicho sector, tiene alto porcentaje de minerales

ferromagnesianos, lo cual se evidencia en la coloración rojizoviolácea de las rocas, que está relacionado con la presencia de pirita y los sulfuros masivos volcanogénicos de plomo, zinc y cobre, en el área, pertenecientes al cretácico superior paleoceno que conforman la provincia de Huarochirí (Calla, 2010).

Investigaciones realizadas en la Región La Libertad, sobre los impactos ambientales, por efecto minero, en la cuenca del Río Moche, han determinado que el 60% de la contaminación de aguas superficiales es causada por los líquidos emitidos por la cancha de relave, principalmente de Motil (Fuentes, y col. 2010).

En este contexto y dada a la importancia de los antecedentes, la presente investigación tiene como objetivo determinar la capacidad de acumulación de plomo en *Lactuca sativa* “lechuga” expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de acetato de plomo, en condiciones de laboratorio, así como evaluar los cambios morfológicos producidos durante el crecimiento de esta especie vegetal.

II. MATERIAL Y METODOS

1. Obtención del material biológico

Las plántulas de *L. sativa* var, Sharp Shooter “lechuga repollada” fueron comprados en el Vivero Génesis de Trujillo, a los 25 días de haber germinado, para luego ser trasladadas en una bandeja hasta el Laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional de Trujillo, donde se llevó a cabo la elección de la población como materia de investigación, teniendo en cuenta una altura entre 8 – 9 cm (Anexo 3).

2. Instalación del sistema hidropónico

Se instaló un pequeño invernadero, con malla Rashell, constituido por 15 recipientes, correspondientes a los tratamientos a aplicar, los primeros quince días fueron de aclimatación de los plantines, por ello el contenido de cada recipiente fue solo de 496,5 ml de agua destilada; 2,5 ml de solución nutritiva A y un mililitro de solución nutritiva B (Anexo 4), al momento de iniciar la experiencia, se prepararon nuevas soluciones las cuales adicionalmente contenían acetato de plomo, (Anexo 5). El sistema fue acondicionado con aireadores desde el inicio de la instalación del sistema hasta el final de los tratamientos, los mismos que se encargaban de ventilarlo y hacer que la solución se encuentre fluyendo constantemente.

3. Preparado de las Soluciones

En base a los estándares de calidad de agua (ECA) según el Decreto Supremo N° 002-2008 del Ministerio Nacional del Ambiente (MINAM), las concentraciones de plomo a

utilizar en los tratamientos fueron de: 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 y 4,0 ppm, a partir del acetato de plomo tri hidratado. Costilla, (2011), muestra una fórmula con la cual se pudo calcular la cantidad de acetato a utilizar para obtener las concentraciones de plomo a aplicar:

$$W_{\text{acetato Pb}} = \frac{[\text{Pb}] \times \text{Vol, H}_2\text{O} \times \text{PM}(\text{acetato de Pb trihidratado})}{\text{PM}(\text{Pb})}$$

Cada tratamiento estuvo conformado por 496,6 ml de agua destilada; 2,5 ml de solución nutritiva A, un mililitro de solución nutritiva B y las concentraciones de plomo.

4. Aplicación de los tratamientos

Se llevó a cabo utilizando el diseño experimental completamente al azar, teniendo en cuenta las concentraciones de plomo y los tiempos de exposición de 10, 20 y 30 días, siguiendo el esquema:

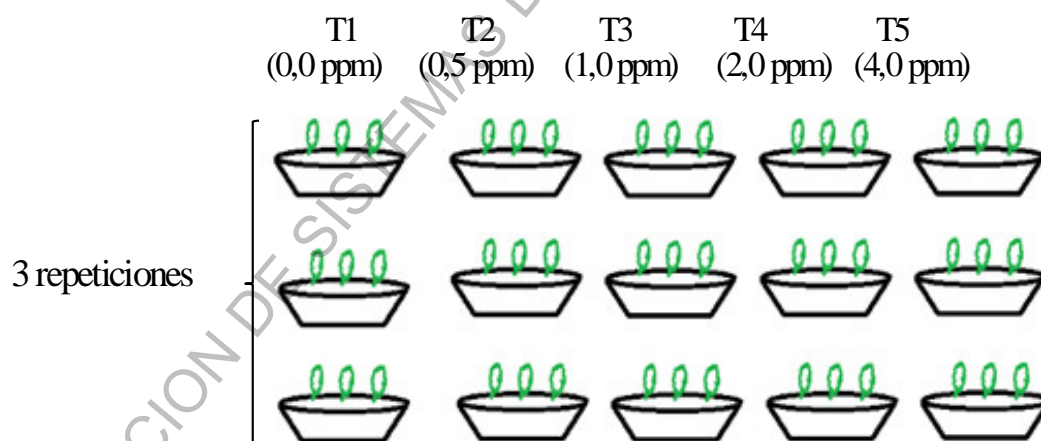


Figura 1: Esquema del diseño experimental que se utilizó para la investigación.

5. Recolección de las muestras

Al culminar la aplicación de los tratamientos, se colectaron las hojas de *L. sativa* y se dejaron secar a temperatura ambiente durante 20 días (Anexo 7, 8 Y 9) para ser colocadas en bolsas de papel bond, debidamente rotuladas, para posteriormente ser llevadas al Laboratorio de la Comunidad e Investigación (LASACI) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo, y realizar los análisis para determinación de plomo en hojas, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer.

6. Análisis químico,

Colocamos las hojas de *L. sativa* en una estufa durante una hora, a temperatura de 120°C, se extrajo aproximadamente 0,2 g de muestra triturada, a la cual se agrega 0,5 ml de ácido sulfúrico agitando suavemente por cinco minutos hasta que se disuelva totalmente la muestra, la misma que fue llevada a baño maría, hasta la aparición de un burbujeo para agregar unas gotas de peróxido, como catalizador, hasta que pierda el color y se torne transparente, para finalmente ser colocada en una fiola de 50 ml y aforada con agua destilada (Anexo 11).

Culminado el proceso de extracción de la muestra a analizar, se llevó a cabo la lectura por espectrofotometría de absorción atómica, donde se obtuvo la concentración de plomo absorbida por *L. sativa* en cada uno de los tratamientos y repeticiones.

7. Obtención de datos morfológicos

Se realizaron de forma cualitativa, estimando el crecimiento de la planta dentro de su periodo vegetativo, para ello consideramos las características morfológicas de altura

de la planta (medida tomada con una regla de 30 cm), coloración de raíz y coloración de hojas de *L. sativa*,

8. Análisis estadístico

Los datos de altura y concentración de plomo en hojas de *L. sativa*, fueron procesados con el software Excel 2010, realizando un análisis de varianza para determinar la diferencia entre los tratamientos y el método de Mínima Diferencia Significativa Honesta, cuyo índice, se calcula con la fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{2CM \text{ error} \times 2 \text{ gl error}}{N}}$$

Dónde:

2gl error = el valor tabulado en la tabla “t”, multiplicado por dos.

CMerror = cuadrados medios del error.

N= total de tratamientos.

Para el análisis de varianza se siguió el modelo sugerido por Sokal y Rolf (1987):

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = posible variación en la “i” concentración de plomo en el “j” día de exposición y “k” repetición.

μ = valor constante similar a la media de la población.

A_i = efecto de la i-ésimo concentración de plomo, variando los tratamientos de 0 a 4 ppm.

B_j = efecto del j-ésimo día de exposición, variando de 1 a 3.

C_k = efecto de la k-ésima repetición, durante la exposición de 1 a 3.

E_{ijk} = error experimental entre unidades experimentales, en las concentraciones de plomo, variación de tiempos y repeticiones.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan de forma ordenada y agrupados en cuadros, gráficas e imágenes. El cuadro 1 muestra la coloración de hoja y raíz de *L. sativa*, expuesta a los diferentes tratamientos, donde se observa que la coloración de hojas a los diez y veinte días de exposición fue de color verde claro y a los treinta días oscila entre verde claro y verde oscuro; para el caso de las raíces se observa que la coloración varía entre blanco y marrón oscuro. El cuadro 2 muestra los promedios de altura de *L. sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo; así mismo en la Figura 2, se observa que a los 20 y 30 días de exposición no existe mucha uniformidad entre las alturas de los tratamientos, lo cual no sucede al día 10 donde se observa que las alturas oscilaron entre 19,7 a 12,0 cm.

El Cuadro 3, muestra valores promedio de plomo en hojas de *L. sativa* sometida a diferentes tratamientos, seguida de su representación en la Figura 3, donde se observa que la mayor concentración de plomo en hojas, se alcanzó en el tratamiento a 4,0 ppm con 30 días de exposición.

En el Cuadro 4, muestra el análisis de varianza para los promedios de plomo en hojas de *L. sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo, del mismo modo el Cuadro 5 muestra el análisis de varianza para los promedios de altura de *L. sativa* expuesta diferentes tiempos y concentraciones de plomo.

En los cuadros 6 y 7 se observa la formación de grupos en base a la diferencia de medias para plomo en hojas de *L. sativa*, según el análisis de Mínima Diferencia Significativa Honesta, Con un índice de Tukey $D=0,00593$ y la diferencia de medias para altura de *L. sativa*, con un índice $D=1,19$; lo cual nos permite establecer entre que tratamientos se dan las diferencias significativas halladas en el análisis de varianza.

DIRECCION DE SISTEMAS DE INFORMÁTICA Y COMUNICACIÓN

Cuadro 1: Coloración de hojas y raíz de *Lactuca sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.

Tratamientos		Coloración de hojas			Coloración de raíces		
Tiempos de exposición (días)	Concentración de plomo (ppm)	R1	R2	R3	R1	R2	R3
10	0,0	verde claro	verde claro	verde claro	blanco	blanco	blanco
	0,5	verde claro	verde claro	verde claro	crema oscura	crema	crema
	1,0	verde claro	verde claro	verde claro	crema	crema	crema
	2,0	verde claro	verde claro	verde claro	crema	crema	crema oscura
	4,0	verde claro	verde claro	verde claro	crema oscura	crema	crema oscura
20	0,0	verde claro	verde claro	verde claro	blanco	blanco	blanco
	0,5	verde claro	verde claro	verde claro	crema oscura	crema oscura	crema oscura
	1,0	verde claro	verde claro	verde claro	crema oscura	crema oscura	crema oscura
	2,0	verde claro	verde claro	verde claro	crema oscura	crema oscura	crema oscura
	4,0	verde claro	verde claro	verde claro	crema oscura	crema oscura	crema oscura
30	0,0	verde claro	verde claro	verde claro	blanco	blanco	blanco
	0,5	verde oscura	verde oscura	verde claro	marrón oscura	marrón oscura	marrón oscura
	1,0	verde oscura	verde claro	verde claro	marrón oscura	marrón oscura	marrón oscura
	2,0	verde claro	verde claro	verde oscura	marrón oscura	marrón oscura	marrón oscura
	4,0	verde claro	verde claro	verde claro	marrón oscura	marrón oscura	marrón oscura

R = repeticiones

Cuadro 2: Promedios de altura de *Lactuca sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.

Tratamientos		Promedio de altura de planta (cm)
Tiempo de exposición (días)	Concentración de plomo (ppm)	
10	0,0	19,7
	0,5	15,6
	1,0	15,0
	2,0	14,9
	4,0	12,9
20	0,0	17,5
	0,5	12,7
	1,0	11,8
	2,0	18,7
	4,0	12,4
30	0,0	10,5
	0,5	15,6
	1,0	12,6
	2,0	13,7
	4,0	10,7

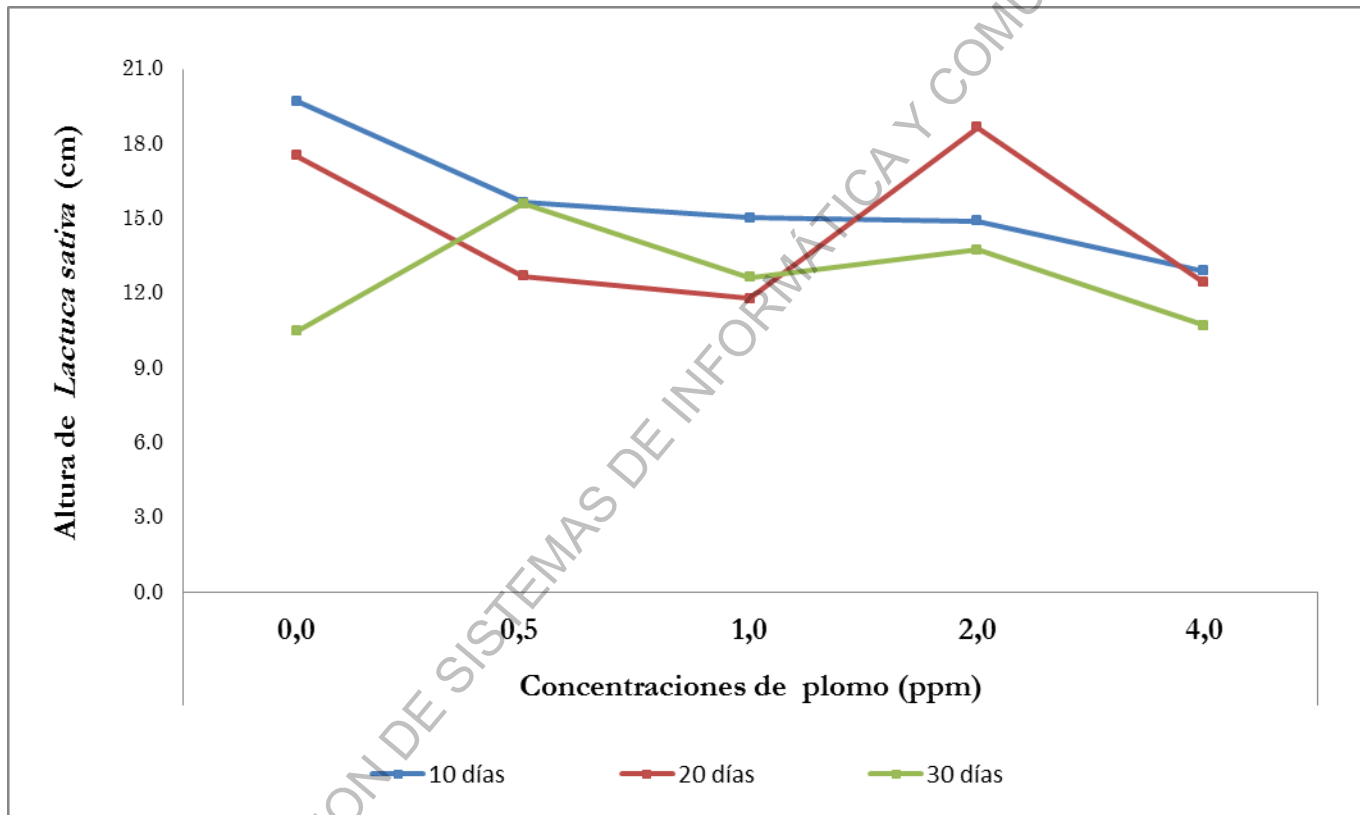


Figura 2: Promedios de altura en *Lactuca sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo

Cuadro 3: Promedios de plomo en hojas de *Lactuca sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.

Tratamientos		Promedio de plomo en hojas (ppm)
Tiempo de exposición (días)	Concentración de Plomo (ppm)	
10	0,0	0,000
	0,5	0,081
	1,0	0,085
	2,0	0,087
	4,0	0,107
20	0,0	0,000
	0,5	0,082
	1,0	0,099
	2,0	0,099
	4,0	0,107
30	0,0	0,000
	0,5	0,096
	1,0	0,112
	2,0	0,131
	4,0	0,144

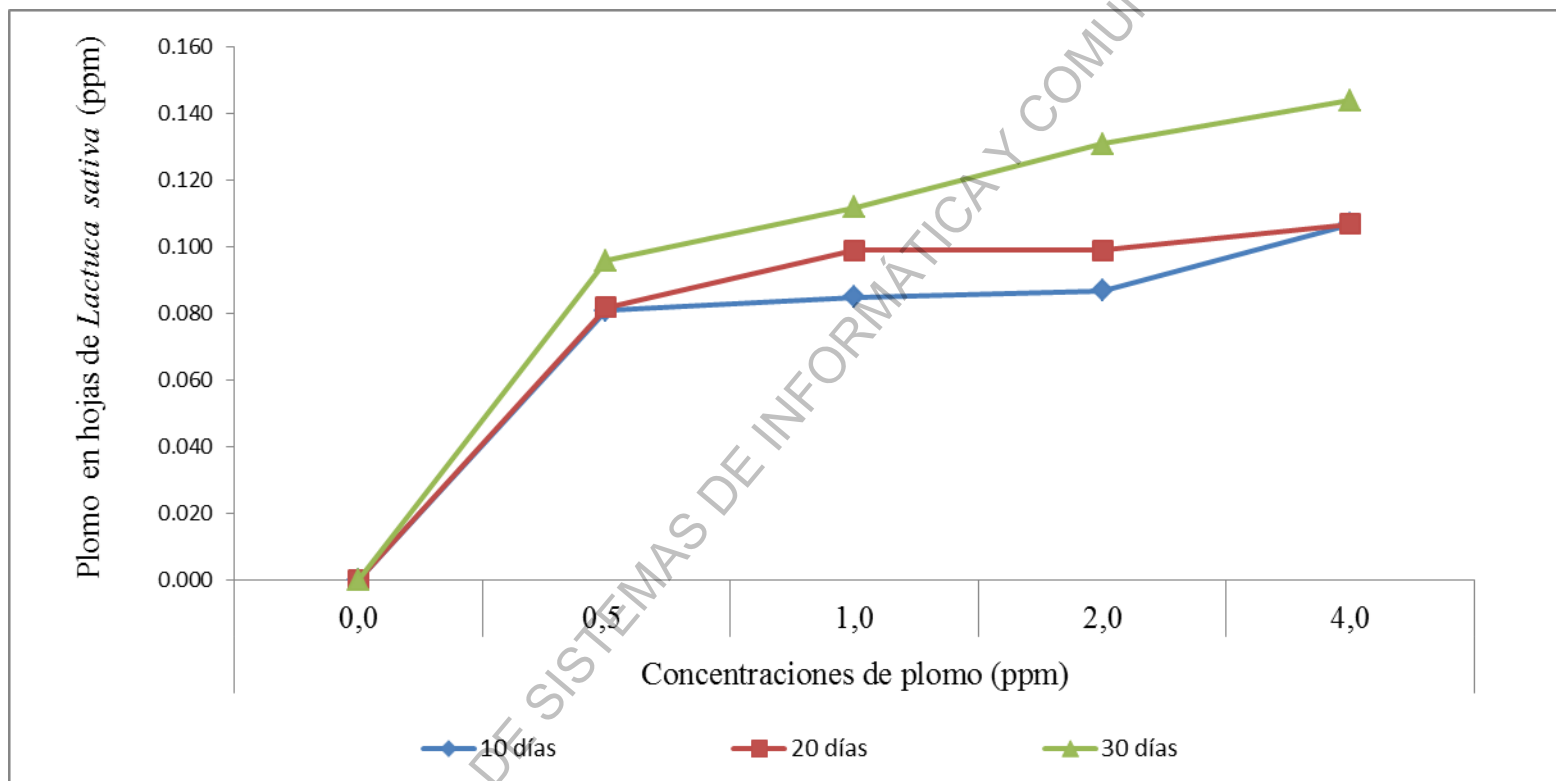


Figura 3: Promedios de plomo en hojas de *Lactuca sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.

Cuadro 4: Análisis de varianza para los promedios de plomo en hojas de *Lactuca sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F _{cal}	F _{tab}
Concentraciones de plomo	4	0,0809	0,0202	115,5674*	2,6335
Tiempos de exposición	2	0,0051	0,0025	14,4634*	3,2594
Repeticiones	2	0,0001	0,0000	0,2228	3,2594
Error	36	0,0063	0,0002		
Total	44	0,0924			

* Indica diferencia significativa.

Cuadro 5: Análisis de varianza para los promedios de altura de *Lactuca sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F _{cal}	F _{tab}
Concentraciones de plomo	4	102,4057	25,60143	3,2623*	2,6420
Tiempos de exposición	2	70,267	35,1335	4,4769*	3,2660
Repeticiones	2	20,4351	10,21755	1,3020	3,2660
Error experimental	36	386,5969	10,7388	1,3684	
Total	44	477,299	10,8477		

* Indica diferencia significativa.

Cuadro 6: Diferencia de medias para plomo en hojas de *L. sativa*, según el análisis de Mínima Diferencia Significativa Honesta, $D=0,00593$.

Tratamientos		Media	Grupos
Tiempos de exposición (días)	10	0,0721	A
	20	0,0773	A
	30	0,0967	B
Concentración de plomo (ppm)	0,0	0,0000	A
	0,5	0,0864	B
	1,0	0,0984	C
	2,0	0,1058	D
	4,0	0,1196	E

Cuadro 7: Diferencia de medias para altura de *L. sativa*, según el análisis de Mínima Diferencia Significativa Honesta, $D=1,19$

Tratamientos		Media	Grupos
Tiempos de exposición (días)	30	12,63	A
	20	14,63	B
	10	15,63	B
Concentración de plomo (ppm)	4,0	12,01	A
	1,0	13,16	A
	0,5	14,64	B
	2,0	15,77	B
	0,0	15,90	B

IV. DISCUSIÓN

Una de las características a evaluar en investigaciones desarrolladas en plantas, es el color de la raíz, como lo proponen Premuzic, y *col.* (1995) quienes reportan que estas estructuras tienen el color blanco desde que nacen hasta que mueren, siempre y cuando estén en condiciones óptimas de desarrollo y crecimiento; sin embargo en los resultados obtenidos en la presente investigación y presentados en el cuadro 1, se observa que a medida que se incrementan las concentraciones y el tiempo de exposición al plomo, las raíces cambian de color blanco hasta marrón oscuro, lo cual puede deberse que *L. sativa* al recibir como estímulo dicho elemento, permite que la raíz lo incorpore por adsorción o absorción a través de la membrana celular, cuya apreciación coincide con la de Cordero y Guridi (2009), quienes al estudiar el “Uso del ácido etilendiaminotetracético para evaluar la biodisponibilidad de metales pesados en lechuga”, llegaron a concluir que el primer órgano en desarrollarse es el sistema radicular; porque es allí, donde se da la acumulación primaria de los metales y su posterior traslocación hacia el tejido foliar, concordante con la apreciación de Posada y Arroyave (2006), en sus estudios del “Efecto del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales”.

En las mismas unidades experimentales, los colores son similares en los diferentes tratamientos a excepción de los que son estimulados con 0,5; 1,0 y 2,0 ppm a 30 días de exposición, que presentan hojas de color verde oscuro, cuyas variaciones se deben a que las plantas reaccionan progresivamente al estímulo del plomo en su tejido foliar, como lo sostiene, Lerda (1992), quien refiere que el plomo reduce el crecimiento radicular por disminución de la frecuencia de células mitóticas y el incremento de células aberrantes en

Allium cepa, y se complementa con las afirmaciones de Prieto, y col. (2009), quienes refieren que las diferentes respuestas de las plantas vasculares a metales pesados está atribuida a factores genéticos y fisiológicos.

En el cuadro 2, se muestran los promedios de altura de *L. sativa*, cuyos valores van disminuyendo a medida que aumenta la concentración de plomo y el tiempo de exposición, lo cual evidencia que la planta reacciona ante la presencia del metal, como se demuestra en la figura 2, donde observamos que las plantas a los 10 días alcanzan una altura de 19,7 cm (control), a diferencia que en el mismo tiempo, tiende a disminuir con el estímulo de plomo, a la concentración de 0,5 ppm, posteriormente se mantiene una altura similar en los demás concentraciones del medio, esto podría deberse a que las plantas al enfrentar a un primer estímulo reaccionan inhibiendo su crecimiento y se adaptan a esa hasta los 30 días, con alturas más o menos similares; sin embargo a los 20 días, cuando la planta está expuesta a concentraciones de plomo mayores 1,0 ppm, se observa un ligero incremento de altura, que podría deberse a la adaptación y metabolización del metal; sin embargo cuando superan las 2,0 ppm, la planta inhibe su respuesta con la ducción celular de tipo mitótica; lo que se confirma con las unidades experimentales expuestas hasta los 30 días, situaciones que no concuerdan con Carranza, y col. (2009), quienes mencionan que valores que sobrepasen los 0,3 ppm, reducen drásticamente el crecimiento de la planta y a la vez no coincide con Miranda, y col. (2008) quienes sostienen que los contenidos de plomo encontrados en *L. sativa*, variaron entre 4,2 y 6 ppm, durante los tratamientos, sin embargo no afecta el crecimiento.

En las mismas condiciones se presentan los promedios de las concentraciones de plomo encontrado en las hojas (Cuadro 3), lo cual evidencia el incremento del promedio

proporcional, en relación a las concentraciones aplicadas a los 10, 20 y 30 días de exposición, demostrando que la planta tiene capacidad de asimilar y acumular el elemento químico en sus tejidos, apreciación concordante con los reportes de Marschner (2002), quien afirma que la “lechuga” es una planta capaz de absorber grandes cantidades de plomo desde suelos, y se representa en la figura 3, mostrando un esquema ascendente y con la misma tendencia en los tres tiempos, lo que significa que la planta tiene capacidad para soportar estímulo de plomo a concentraciones mayores de 4 ppm; sin embargo no concuerda con las sugerencias propuestas por la Unión Europea (2006), que sugiere 0,3 ppm para las hojas de hortalizas.

Los datos obtenidos para la concentración de plomo en hojas y altura de planta, se presentan con los cuadros 4 y 5 respectivamente, procesados independientemente, para ambos casos, se observa que el cuadrado medio del error experimental, es menor que el de las fuentes de variación (concentración de plomo, días de exposición y repeticiones); lo que significa que los desvíos de observación han sido mínimos, por tanto nuestros datos observados tienen confiabilidad y según prueba de hipótesis al comparar el F_{cal} con el F_{tab} ; se demuestra que hay diferencia significativa entre las concentraciones de plomo encontrado en las hojas y altura de la planta expuesta a diferentes tratamientos, sin embargo el valor que corresponde a las repeticiones el F_{cal} es menor que el F_{tab} , lo que nos lleva a deducir que cada uno de las unidades experimentales están dispuestas en el diseño experimental bajo las mismas condiciones; cuya significación es similar a Castillo, y *col.* (2004) quienes reportan que mucho tiene que ver la disponibilidad de plomo en el medio, para que éste afecte el crecimiento y desarrollo de las plantas, mostrando así cambios visibles, en algunas de ellas.

En el mismo análisis de varianza se demuestra que los grupos de datos que corresponden a la variable concentración de plomo en el medio y la variable tiempos de exposición, presentan grupos de datos diferentes, por lo que es pertinente procesar la comparación de promedios con la finalidad de identificar en cuál de los tratamientos se da esta diferencia, como se demuestra en los cuadros 6 y 7, procesado por la Mínima Diferencia Significativa Honesta, y se demuestra que para el caso de las concentraciones de plomo aplicados, cada uno tiene un estímulo diferente; pero el crecimiento a los 20 días, tiene el mismo efecto, permitiendo que *L. sativa* sufra un estado de stress, lo cual se refleja en la disminución de su longitud en altura, y si se tiene en cuenta cada una de las concentraciones, se confirma, que su efecto es independiente, tal como se corrobora en el cuadro 7, lo cual está relacionado con las apreciaciones de Prieto, (2009) quien hace mención a que cada individuo, las plantas, pueden adoptar estrategias frente a la presencia de metales en su entorno, unas basan su resistencia con una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea, otras acumulan el metal en la parte aérea en una forma no toxica para la planta, pero la exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, y la acumulación es más común en especies que aparecen siempre en lugares contaminados, sin embargo el plomo puede causar diversos daños en las plantas y en diferentes grados de acumulación (Rodríguez, y col. 2006).

V. CONCLUSIONES

- *Lactuca sativa* tiene la capacidad de acumular plomo en sus hojas cuando es expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.
- *Lactuca sativa* presentan cambios morfológicos durante su crecimiento cuando son expuestas a diferentes tiempos y concentraciones de plomo.

VI. RECOMENDACIONES

- Continuar con las investigaciones con *Lactuca sativa*, aumentando las concentraciones de plomo y tiempos de exposición.
- Realizar análisis del tallo y raíces de *Lactuca sativa* para definir en cuál de las estructuras se acumula mayor cantidad de plomo.
- Realizar estudios considerando los factores físico-químicos y temperatura en el medio de investigación debido a que estas características pueden influir en la especiación química del metal en la solución, incrementando o minimizando las concentraciones del metal en *Lactuca sativa*.
- Tener en cuenta la homogeneidad genética de la semilla, al seleccionar la población de estudio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Albert L, 2004. Contaminación ambiental. Origen clases, fuentes y efectos. Sociedad Mexicana de Toxicología. México. Pg. 37-38.
2. Calla H. 2010. Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. Universidad Nacional de San Marcos, Perú, Pg. 3-254
3. Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D. y Chaves B. 2009. Análisis de crecimiento de lechuga (*L. sativa L.*) "Batavia" cultivada en el suelo salino de la Sabana de Bogotá. Agronomía Colombiana Vol. 14. Colombia. Pg. 41-43
4. Castillo, G., Sobreno, 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, estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. Pg. 71-79
5. Cordero Y. y Guridi F. 2009. Uso del ácido etilendiaminotetraacético para evaluar la biodisponibilidad de metales pesados en lechuga. Avances en Investigación Agropecuaria. Vol. 13. México. Pg. 44 y 45.
6. Costilla, N. 2011. Manual de prácticas de química analítica. Universidad Nacional de Trujillo. Perú. Pg. 52
7. Decreto Supremo N° 002-2008 MINAM. 2008. Diario El Peruano. Disponible: http://www.minam.gob.pe/dmdocuments/ds_002_2008_eca_agua.pdf. 15-09-2012.

8. Fuentes A., Medina L., y Rojas J. 2010, Principales impactos ambientales por efecto minero en la cuenca del río Moche (Trabajo de investigación), Universidad Nacional del Callao. Perú. Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/47440095/PRINCIPALES-IMPACTOS-AMBIENTALES-POR-EFECTO-MINERO-EN-LA-CUENCA-DEL-RIO-MOCHE>
9. Gómez R. 1995. Diagnóstico sobre la contaminación ambiental en la Amazonía peruana. Instituto de investigaciones de la Amazonía peruana, Perú. Pg. 3
10. Isea D., Vargas L., Bello N, y Delgado J. 2000. Lixiviación de metales no nutrientes en suelos sometidos a riego con aguas residuales tratadas. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería sanitaria y Ambiental. Pg. 34-38
11. Lerda, D. 1992. El efecto del plomo en *Allium cepa* L. Investigación de mutaciones. México. Pg. 89-92.
12. Lujan J. 2007. Informe quincenal de la SNMPE. Sociedad nacional de minería, petróleo y energía. Pg. 1-3
13. Marschener, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. Londres. Pg. 72-75
14. Miranda D., Carranza C., Rojas C.A., Jerez C.M., Fisher G. y Zurita J. 2008. Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua de río Bogotá. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 2. Pg. 180-191.
15. Organización Mundial de la Salud. 2004. Documentos básicos. 44 Edición. Constitución de la Organización Mundial de la Salud. Disponible en:
<http://www.who.int/about/es>

16. Peris M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Universidad de Valencia. España. Pg. 3-27
17. Posada, M. y Arroyave, M. 2006. Efecto del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. Revista EIA. N° 6. Colombia. Pg. 59-71
18. Prieto J., González C., Román A. y Prieto F. 2009. Contaminación y Fitotoxicidad en plantas por Metales Pesados provenientes de Suelos y Agua. Redalyc. Vol. 10. Mexico. Pg. 29-44.
19. Premuzic, Z., De los Ríos, A., Clozza, M., Miniñi, H., Vilella, F. y Yorio, A. 1995. Absorción y distribución de macronutrientes en lechuga. Horticultura Argentina. Vol. 14. Argentina. Pg. 70-71
20. Rodríguez O, Rodríguez F., Lira R., De la Cerda J, y Lara M. 2006. Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados, Revista Fitotecnia Mexicana. México. Vol. 29. Pg. 239-245.
21. Rubio C., Gutiérrez A., Martín Izquierdo R., Revert C., Lozano G. y Hardison A. 2004. El plomo como contaminante alimentario, Revista de Toxicología. Vol. 21. España. Pg. 72-80.
22. Unión Europea, 2006, Contenido máximo de contaminantes en los productos alimenticios, CE 1881/2006 De La Comisión. Diario oficial de la Unión Europea. 20-11-2012.
23. Valdés F. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila. Ciudadanía Lagunera por los Derechos Humanos. Asociación Civil (CILADHAC) Primera edición. México. Pg. 1-2.

ANEXOS

DIRECCION DE SISTEMAS DE INFORMÁTICA Y COMUNICACIÓN

1. Valores de Concentración de plomo en hojas de *Lactuca sativa*, obtenidos luego del análisis por Espectrofotometría de Absorción atómica,

Tiempos de exposición (días)	Concentración de plomo (ppm)	Repetición	Concentración de plomo en hojas (ppm)
10	0,0	1	0,000
		2	0,000
		3	0,000
	0,5	1	0,083
		2	0,073
		3	0,087
	1,0	1	0,079
		2	0,092
		3	0,083
	2,0	1	0,089
		2	0,097
		3	0,076
	4,0	1	0,123
		2	0,105
		3	0,094
20	0,0	1	0,000
		2	0,000
		3	0,000
	0,5	1	0,074
		2	0,092
		3	0,081
	1,0	1	0,099
		2	0,102
		3	0,095
	2,0	1	0,115
		2	0,096
		3	0,085
	4,0	1	0,099
		2	0,104
		3	0,118
30	0,0	1	0,000
		2	0,000
		3	0,000
	0,5	1	0,105
		2	0,089
		3	0,094
	1,0	1	0,096
		2	0,108
		3	0,132
	2,0	1	0,127
		2	0,130
		3	0,137
	4,0	1	0,114
		2	0,153
		3	0,166

2. Datos de altura de *Lactuca sativa* expuesta a diferentes tiempos y concentraciones de plomo,

TRATAMIENTOS		ALTURA DE LA PLANTA			
Tiempos de exposición (días)	Concentración de plomo (ppm)	R1	R2	R3	Promedio
10	0,0	19,8	20,2	19,1	19,7
	0,5	15,2	16,1	15,6	15,6
	1,0	14,7	14,9	15,5	15,0
	2,0	19,4	13,1	12,2	14,9
	4,0	13,5	12,7	12,5	12,9
20	0,0	16,9	18,4	17,3	17,5
	0,5	12,3	12,5	13,3	12,7
	1,0	13,5	13,8	8,1	11,8
	2,0	17,8	20,7	17,5	18,7
	4,0	12,9	12,5	11,9	12,4
30	0,0	10,6	10,9	9,9	10,5
	0,5	16,5	19,8	10,5	15,6
	1,0	16,8	10,7	10,4	12,6
	2,0	11,1	15,8	14,3	13,7
	4,0	11,7	8,3	12,1	10,7



3. Selección de la población de *Lactuca sativa* con una altura de 8-9 cm.



4. Preparación de las soluciones para el sistema hidropónico.



5. Soluciones con las concentraciones de plomo a las que fue expuesta *Lactuca sativa*.



6. Sistema Hidropónico instalado para los tratamientos.



7. Plantas de *Lactuca sativa* a los 10 días de exposición a las concentraciones de plomo.



8. Plantas de *Lactuca sativa* a los 20 días de exposición a las concentraciones de plomo.



9. Plantas de *Lactuca sativa* a los 30 días de exposición a las concentraciones de plomo.



10. Equipo de destilación del Laboratorio de Ecología de la escuela de Ciencias Biológicas.



11. Preparación de la muestra de *Lactuca sativa* antes de realizar la lectura en el espectrofotómetro.