

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Efecto de Microelementos Quelantes en la Síntesis de Clorofilas y Producción de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Por:

**EVARISTO CAMPOS BRICEÑO**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Marzo del 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Microelementos Quelantes en la Síntesis de Clorofilas y Producción de  
Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Por

**EVARISTO CAMPOS BRICEÑO**

Tesis

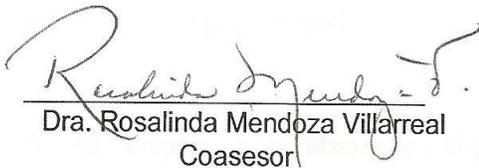
Presentada como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

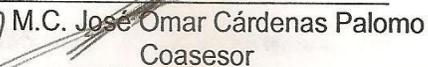
Aprobada



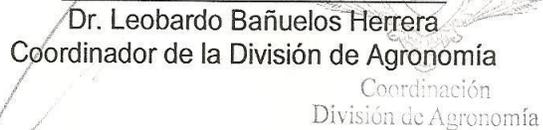
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Asesor Principal



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Coasesor



M.C. José Omar Cárdenas Palomo  
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía  
Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Marzo del 2013

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios, a la Virgen de Guadalupe y al Niñito de la Salud**, por llenarme de bendiciones, alegrías en mi vida, darme salud y por tener el privilegio de terminar mi carrera, por darme fortaleza para seguir adelante y por darme la hermosa familia que tengo gracias.

**A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.**, por haberme brindado la oportunidad de superarme y darme herramientas y conocimientos que me harán salir adelante toda una vida.

### A MIS ASESORES

**Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente**

**Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal**

**M.C. José Omar Cárdenas Palomo**

Por el tiempo, comprensión y amabilidad en la revisión de este trabajo, así como sus valiosas sugerencias para culminar esta tesis, no solo como maestros sino también como amigos; gracias.

A mis compañeros: **Agustín Ramírez (el gute), José Miguel García (malborin), Deysi Vázquez (dey), Fidel Ismael Solís (el fide), Claudia Borjas (clau), Gerardo Sánchez (el parras), Claudio Iván Balbuena (el Morelos), Martín Tucuch (Tucuch), Beatriz Contreras (Betty), Pablo Romero (el pablo), Salvador Paredes (el chavita), Francisco Martínez (el paco) Carlos Habrán Ramos (el Carlos) Rebeca Gonzáles (Rebe)Ulises Solís.** Por los buenos y malos momentos que pasamos juntos y por brindarme su apoyo incondicional.

A mis amigos: **Julio Manzano, Miguel Manzano, Erick Rodríguez, Juan Pablo Vargas, Hugo Luna, Oscar Beltrán, Martín Molinero, Noé Orduña, Ing. Alejandro Beltrán Antonio Gallegos.** Por su apoyo brindado y que de una u otra manera colaboraron durante mis estudios.

## DEDICATORIAS

El siguiente trabajo se lo dedico con todo mi amor y cariño a mi papá **Vicente Campos Camarillo**, que ya no está aquí conmigo y donde quiera que se encuentre, lo llevo en mi corazón, a mi mamá, **Lidia Briceño Quintero**, por todo su amor, su apoyo incondicional que me ha brindado durante todo este tiempo, para concluir con mi carrera gracias; Los amo.

A mis hermanos(as): **Carmen Campos, Juan Campos, Miguel Campos, Vicente Campos, David Campos, Dolores Campos, Cecilia Campos, Lidia Campos, Lupe Campos, Reyna Campos, Regina Campos, Johana Campos, Yenni Campos**. Por todo su cariño, apoyo moral y económico que me brindaron incondicionalmente para lograr mis sueños, por los valores que me han inculcado a lo largo de mi vida, y que siempre estuvieron a mi lado dándome motivación y alegrías en momentos buenos y malos, que hacían de mi vida un sueño hecho realidad, gracias.

A mis cuñados(as): **Rigoberto Ramírez, Carolina Lozano, Roció Zúñiga Iván Luna, Juan Martínez**, por formar parte de mi familia, que me apoyaron y motivaron en momentos difíciles de mi carrera.

Con mucho cariño para mis sobrinos(as): **Óscar Ramírez, Luis David Campos, Juan Vicente Campos, Santiago Campos, Lupita Ramírez, Miriam Ramírez, Mariana Ramírez, Rocío Ramírez, Joselyn Campos, Lesly Ibón Luna**. Por todos los momentos tan lindos que me hicieron pasar y cambiar mis días de tristezas en alegrías.

A mis tíos: **Irma Briceño, Fidel Sánchez**, y su familia **Sánchez Briceño** por su apoyo moral y económico incondicional que me brindaron para el logro de mi carrera profesional.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIAS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE APÉNDICE</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Hipótesis.....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1. Descripción del cultivo de la lechuga.....	3
2.1.1. Taxonomía.....	3
2.1.2. Características botánicas.....	3
2.1.3. Requerimientos edafoclimaticos.....	3
2.2. Importancia de la lechuga.....	4
2.3. Importancia de las clorofilas en la lechuga.....	5
2.3.1. Degradación de las clorofilas en la lechuga.....	5
2.4. Función de los nitratos en los cultivos.....	5
2.4.1. Acumulación de los nitratos en la lechuga.....	6
2.4.2. Rangos de los nitratos para el consumo humano.....	6
2.4.3. Función de los nitratos en la lechuga.....	7
2.5. Descripción de los quelatos.....	7
2.5.1. Función de los quelatos en la lechuga.....	7
2.5.2. Uso de fertilizantes quelantes en el cultivo.....	8
2.6. El hierro en la planta.....	9
2.6.1. Formas de absorción de hierro por la plantas.....	9
2.6.2. Funciones metabólicas del hierro en las plantas.....	10
2.6.3. Deficiencia del hierro en las plantas.....	10
2.6.4. Exceso del hierro en las plantas.....	10
2.6.5. Sinergismo y antagonismo del hierro.....	11
2.7. El cobre en las plantas.....	11

2.7.1.	Formas de absorción del cobre en las plantas.....	12
2.7.2.	Funciones metabólicas del cobre en las plantas.....	12
2.7.3.	Deficiencia del cobre en las plantas.....	12
2.7.4.	Exceso del cobre en las plantas.....	13
2.7.5.	Sinergismo y antagonismo del cobre.....	13
2.8.	El zinc en las plantas.....	14
2.8.1.	Formas de absorción del zinc por las plantas.....	14
2.8.2.	Funciones metabólicas del zinc en las plantas.....	15
2.8.3.	Deficiencia del zinc por las plantas.....	15
2.8.4.	Exceso del zinc en las plantas.....	16
2.8.5.	Sinergismo y antagonismo del zinc.....	16
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1.	Ubicación del experimento.....	17
3.2.	Material vegetativo.....	17
3.3.	Siembra.....	17
3.4.	Establecimiento del experimento.....	17
3.4.1	Preparación del terreno.....	17
3.4.2.	Trasplante.....	18
3.4.3.	Riego.....	18
3.5.	Descripción de los tratamientos.....	18
3.6.	Aplicación de los tratamientos.....	18
3.7.	Descripción de los tratamientos estudiados.....	19
3.8.	Programa de nutrición.....	20
3.9.	Cosecha.....	21
3.10.	Diseño experimental.....	21
3.11.	Variables a evaluar.....	22
3.11.1.	Clorofilas.....	22
3.11.2.	Nitratos.....	22
3.11.3.	Peso fresco total de la planta.....	22
3.11.4.	Diámetro de tallo.....	22
3.11.5.	Altura de la planta.....	23
3.11.6.	Numero de hojas.....	23

3.11.7.	Longitud de la raíz.....	23
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>24</b>
4.1.	Contenido de clorofilas.....	24
4.2.	Contenido de nitratos.....	25
4.3.	Peso fresco total de la planta.....	26
4.4.	Diámetro del tallo.....	27
4.5.	Altura de la planta.....	28
4.6.	Numero de hojas.....	29
4.7.	Longitud de la raíz.....	30
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>VI.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>32</b>
<b>VII.</b>	<b>APÉNDICE.....</b>	<b>39</b>
7.1.	pruebas de comparación de medias entre tratamientos.....	42

## ÍNDICE DE CUADROS DE APÉNDICE

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Constante de disociación de los quelatos.....	8
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos estudiados en el experimento.....	18
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza de clorofilas en el cultivo de la lechuga.....	39
<b>Tabla 4.</b> Análisis de varianza de nitratos en el cultivo de la lechuga.....	39
<b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza de peso fresco total de planta de lechuga.....	39
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza de diámetro de tallo de la planta de lechuga.....	40
<b>Tabla 7.</b> Análisis de varianza de altura de la planta de lechuga.....	40
<b>Tabla 8.</b> Análisis de varianza de número de hojas en la planta de lechuga.....	40
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza de longitud de la raíz en la planta de lechuga.....	41
<b>Tabla 10.</b> Comparación de medias mediante la prueba tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable clorofilas en la planta de lechuga.....	42
<b>Tabla 11.</b> Comparación de medias mediante la prueba tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable nitratos en la planta de lechuga.....	42
<b>Tabla 12.</b> Comparación de medias mediante la prueba tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable peso fresco total en la planta de lechuga .....	42
<b>Tabla 13.</b> Comparación de medias mediante la prueba tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable diámetro de tallo en la planta de lechuga.....	43
<b>Tabla 14.</b> Comparación de medias mediante la prueba tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable altura de planta en la planta de lechuga.....	43
<b>Tabla 15.</b> Comparación de medias mediante la prueba tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable número de hojas en la planta de lechuga.....	43
<b>Tabla .16</b> Comparación de medias mediante la prueba tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable longitud de la raíz en la planta de lechuga.....	44

## ÍNDICES DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Contenido de clorofilas en la planta de lechuga (SPAD).....	24
<b>Figura 2.</b> Contenido de nitratos en la planta de lechuga ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	25
<b>Figura 3.</b> Peso fresco total de la planta de lechuga (kg).....	26
<b>Figura 4.</b> Diámetro del tallo en la planta de lechuga (mm).....	27
<b>Figura 5.</b> Altura de la planta de lechuga (cm).....	28
<b>Figura 6.</b> Número de hojas en la planta de lechuga (unidades).....	29
<b>Figura 7.</b> Longitud de la raíz en la planta de lechuga (cm).....	30

## RESUMEN

En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se realizó el establecimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*L.), con el fin de determinar la concentración de nitratos, clorofilas y la producción de lechuga mediante la aplicación de diferentes fertilizantes quelatados. Se hizo la evaluación en 5 tratamientos más un testigo, con 10 repeticiones cada uno, siendo los tratamientos los siguientes: el Tratamiento 1 (Testigo), Tratamiento 2 (Tradecorp Az), Tratamiento 3 (Tradecorp Az Jaguar), Tratamiento 4 (Tradecorp Fe), Tratamiento 5 (Tradecorp Cu), Tratamiento 6 (Tradecorp Zn).

Las variables evaluadas fueron, contenido de clorofilas (SPAD), contenidos de nitratos ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), peso fresco total de la planta (kg), diámetro del tallo (mm), altura de planta (cm), número de hojas (unidades), longitud de la raíz (mm). Se utilizó un diseño estadístico que fue completamente al azar, los datos obtenidos se analizaron en el programa estadístico SAS V. 9.0, y la comparación de medias se realizó mediante la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

En el presente trabajo se encontró que el contenido de clorofilas, nitratos y peso del órgano de interés comercial se comportaron estadísticamente diferentes entre los tratamientos estudiados. Para el caso del contenido de clorofilas, las plantas que obtuvieron los contenidos más altos con 50.56 unidades SPAD, fueron las plantas provenientes del tratamiento 3 Tradecorp Az jaguar (Fe 7.5%), con respecto a la variable contenido de nitratos, las plantas que fueron sometidas al tratamiento 6 Tradecorp Zinc (Zn 14%), demostró el contenido más alto de esta variable, con  $1900 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Las variables que no mostraron diferencia significativa fueron: peso total de la planta, diámetro del tallo, altura de la planta, número de hojas, longitud de la raíz.

**Palabras clave:** lechuga, clorofilas, nitratos y quelatos SPAD.

## I. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es ampliamente conocida y cultivada en todo el mundo, a través de numerosos tipos y variedades, siendo la planta más importante entre las hortalizas de hojas que se consumen crudas (Giacconi, *et al.*, 1995). Su importancia está determinada por algunas de sus características biológicas y por su contenido de vitaminas y sustancias nutritivas, el valor alimenticio de la lechuga como alimento, radica en el contenido de vitaminas y sales minerales. Es nativa de Asia, Europa y África se encuentra dentro del grupo más importante de las hortalizas de hoja, siendo de gran interés en México ya que la producción de hortalizas se caracteriza por una concentración en pocas regiones, esto se debió a la gran facilidad para cultivarse y a la diversidad de climas que cuenta nuestro país las tecnologías empleadas y la mentalidad empresarial de nuestros productos (Matoro, *et al.*, 1989). La principal problemática es el bajo rendimiento debido a la poca o deficiente fertilización, las principales experiencias en campo son las bases para comprobar la eficacia de los diferentes métodos utilizados para obtener las dosis de fertilizantes, con el análisis previo de suelo y/o de plantas. Los altos rendimientos y la calidad de los cultivos resultan principalmente de un balance nutricional de micronutrientes, debido a su funciones que no pueden ser remplazadas por otros elementos minerales, es decir, están involucrados directamente en el metabolismo de la planta y una carencia de ellos podría causar una baja de producción y calidad muy considerable (Ronen, *et al.*, 2008).

En la actualidad, los quelatos atraen la atención debido a que son una excelente alternativa para adicionar metales de manera edáfica y foliar a las plantas, los quelatos metálicos están ampliamente distribuidos en la naturaleza y juegan un papel crucial en la toma de nutrientes y en el metabolismo de todos los sistemas vivos, las interacciones que involucran elementos nutritivos afectan todas las principales vías metabólicas tanto en plantas como en animales. Los quelatos juegan un papel vital en la bioquímica de las plantas (Nowack, *et al.*, 2002). A lo largo del tiempo se ha demostrado que el uso de fertilizantes quelantes es la mejor solución para corregir deficiencias ya que su eficacia es directamente proporcional a su capacidad para mantener los nutrientes minerales disponibles para la planta (Ronen, *et al.*, 2008).

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento de la lechuga romana y su contenido de clorofilas y nitratos mediante el uso de microelementos quelantes aplicados al suelo.

### **1.2. Objetivos específicos**

Cuantificar el contenido de clorofilas en las hojas de la lechuga en respuesta a los fertilizantes quelantes.

Determinar el efecto del contenido de nitratos en el tejido foliar sobre la producción de lechuga.

Identificar el mayor rendimiento de la lechuga mediante la adición de microelementos quelantes.

### **1.3. Hipótesis**

Las plantas de lechuga tendrán un comportamiento metabólico diferente en base a la aplicación de los micronutrientes quelantes.

## II. LITERATURA REVISADA

### 2.1. Descripción del cultivo de la lechuga romana

#### 2.1.1. Origen

El origen de la lechuga no parece estar muy en claro, aunque algunos botánicos mencionaban que el origen de la lechuga se situaba en el centro oriente, hoy en día no existe un acuerdo al respecto del origen debido a la aparición de un segundo antecesor de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas, siendo las variedades actualmente cultivadas y resultado de las hibridaciones entre las distintas especies (Mills, *et al.*, 1996).

#### 2.1.2. Taxonomía

La lechuga es una planta anual y autógama, que pertenece a la familia de las *Compositae*, perteneciente al género *Lactuca*, donde este género incluye aproximadamente 1000 especies, cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L. (Valdez, *et al.*, 1990).

#### 2.1.3. Características botánicas

La lechuga es una planta anual cuya raíz es pivotante, llegando a medir hasta 30 cm, de la que parte una cabellera de raíces secundarias. La lechuga es una planta herbácea cuyo ciclo vegetativo es de 3 a 4 meses en general, alcanza una altura entre los 10 a 20 centímetros. Las flores de lechugas son amarillas y los granos son alargados con una fisura longitudinal blanca, negra o rojiza el tallo floral termina en numerosos capítulos con 5 a 7 flores liguladas de color amarillo el conjunto de capítulos forman una inflorescencia en panícula carimbosa (Internet 1).

#### **2.1.4. Requerimientos edafoclimáticos**

La lechuga se adapta a una altitud de 1800 a 2800 msnm, prefiere climas templados y fríos, con una precipitación de 1200 a 1500 mm, una temperatura óptima de 15 a 18°C, mínima 13°C y máxima 27°C. La humedad relativa es del 90 al 95%, en tanto que los requerimientos de fotoperiodo necesarios son de 12 horas (Suquilanda, *et al.*, 2003). La lechuga necesita una profundidad de suelo de 1 m, con textura franco-arenoso, franco, arcilloso-limoso y un pH óptimo entre 5.5 a 6.8, aunque tolera rangos de 5.2 a 5.8 en suelos orgánicos y en suelos de origen mineral pH 5.5 a 6.7; los suelos deben de ser fértiles, con alto contenido de materia orgánica y nitrógeno, además de un buen drenaje, la salinidad inferior a 1.2 milimhos y una pendiente inferior a 10% (Internet 2). La lechuga debe de evitarse sembrar en sectores muy expuestos a la acción del viento, pues nubes de polvo se pueden levantar en determinadas épocas del año y van a introducirse entre las hojas averiando la calidad de las lechugas, por ese motivo se debe de escoger valle, donde no hay fuertes corrientes del aire o en su defecto, la protección de barreras vegetales o artificiales (Rivera, *et al.*, 1987).

#### **2.2. Importancia de la lechuga**

La lechuga es exportada principalmente a Estados Unidos de Norteamérica, donde tiene mayor valor en la compra de dólares. El estado de Guanajuato cuenta con una gran cantidad de productores que tienen situado un mercado de venta en la costa este en los estados unidos de Norteamérica a través de ventas de oportunidad, es decir, siempre y cuando no ocurra un fenómeno que afecte la situación de ese mercado, mientras que en el estado de Puebla, la producción es utilizada principalmente para abastecer el mercado nacional, donde la mayoría se vende en el Estado de México (ASERCA, 2011). En el 2011 se reportan en México una superficie sembrada de 11, 564 ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego repartidas en 22 estados de la república Mexicana, donde sobresalen los estados de Guanajuato con 3, 646 ha<sup>-1</sup>, Puebla con 2, 286 ha<sup>-1</sup>, Baja California con 1, 945 ha<sup>-1</sup>, y Zacatecas con 1, 074 ha<sup>-1</sup> con un rendimiento promedio de 18.54 ton·ha<sup>-1</sup>, y solo 200 ha<sup>-1</sup> en condiciones de temporal en los estados

del centro del país como son Estado de México y Michoacán con una superficie sembrada de 100 ha, y rendimientos promedio de 13.3 ton·ha<sup>-1</sup> (Internet 3).

### **2.3. Importancia de las clorofilas en la lechuga**

Este compuesto tiene una importancia trascendental para la vida ya que es el responsable de la captación de energía lumínica para ser convertida luego en energía química en el proceso de la fotosíntesis. Adicionalmente, la importancia de este compuesto en la tecnología de alimentos derivada de su participación en el color de los vegetales (King, *et al.*, 2001; Heaton, *et al.*, 1996). La pérdida de clorofila provoca un cambio desde verde brillante a un marrón liváceo en los productos y a una variedad de colores (amarillo, marrón, naranja) en los tejidos en senescencia, estos cambios de color representan disminuciones en la calidad de los productos. Por esta razón, la determinación y cuantificación del contenido de clorofila constituye a uno de los índices de calidad más utilizados en hortalizas de hoja verde (Marangoni, *et al.*, 1996). El color es uno de los atributos principales que caracteriza la frescura de la mayoría de las verduras, el color determina en gran medida la apariencia de un producto. Los consumidores consideran el color como criterio primario en la elección del producto para la compra (Rico, *et al.*, 2007).

#### **2.3.1. Degradación de las clorofilas en los cultivos**

La degradación de clorofilas en los tejidos vegetales, causa el desplazamiento de los tonos verdes brillantes al verde oliva pardo, pardos o incoloros por senescencia. La degradación incluye la pérdida del fitol para formar clorofilina (verde-azulado) o del Mg<sup>2+</sup> para formar feofitina (verde oliva), con la acumulación de diferentes derivados, algunos de ellos incoloros. Los procesos de degradación de la clorofila durante la senescencia de vegetales, han sido estudiados por diferentes autores y los mecanismos no son del todo claros. Algunos estudios parecen reflejar que la acción de oxígeno molecular y atómico está involucrada en el proceso (King *et al.*, 2001). Función de los nitratos en los cultivos

Cuando únicamente circulan nitratos se induce en la planta la síntesis de la reductasa la cual provoca la formación de aminos y amoníaco para la formación de aminoácidos y proteínas los cuáles se utilizan para la floración y el crecimiento de la planta. Se debe considerar que la actividad de la reductasa está directamente relacionada con la edad de las hojas y su actividad, se incrementa en proporción directa a la superficie foliar (González,*et al.*, 2004).Asimismo, la acumulación de este ion en las hojas se incrementa cuando la planta es cultivada en condiciones restrictivas de luz (Blom-Zandstra,*et al.*, 1989) con la finalidad de que la planta genere más carbohidratos y iones nitratos como reguladores osmóticos (Streingröver, *et al.*, 1993).

#### **2.4.1. Acumulación de Nitratos en la Lechuga**

Algunos otros investigadores mencionan que la acumulación de nitratos en lechuga es muy frecuente debido a que todo radica en el tipo de fertilización que se aplique durante el ciclo del cultivo (Escalona,*et al.*, 2009). Cuando los nitratos se acumulan, la planta los absorbe del suelo, sin embargo, la concentración de nitratos disponibles en el mismo depende principalmente de la cantidad de agua acumulada, de la cantidad aportada en la fertilización y del manejo del riego que se realiza (Hehr, *et al.*, 1992).

#### **2.4.2. Rangos de Nitratos en Lechugas para Consumo Humano**

El contenido de nitratos aceptable en la ingesta diaria corresponde a  $3,65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de peso fresco (Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 1999). La ingesta de nitratos diaria de una persona con un peso corporal de 70 kg no debería superar los  $259 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Las hortalizas, en particular, de hoja (lechuga y espinaca) acumulan un contenido de nitratos mayores a otros tipos de alimentos contribuyentes con un 75% a la ingesta diaria (Hill, *et al.*, 1990). Cuando la absorción de nitrato se excede en la fertilización, los iones nitratos se pueden acumular en las vacuolas de las células, (El contenido de nitratos varía según la especie, variedad y la parte de la planta (hoja y tallo), Keinik y Groenwold, (1987), encontraron que en ciertas variedades de lechugas, su capacidad de acumulación de nitratos en las hojas, estaba regida por un mecanismo genético, en algún caso dirigido por un solo gen dominante.

### **2.4.3. Función de los nitratos en la lechuga**

Los nitratos se convierten en nitritos según pasa el tiempo, haciendo más tóxico el vegetal, sin embargo al estar envasadas en plástico, el proceso de conversión de nitrato a nitrito se acelera, sin refrigeración, las bacterias que transforman los nitratos en nitritos se multiplican rápidamente, acelerando a un más el proceso (Internet 4).

## **2.5. Descripción de los quelatos**

La palabra quelato (en inglés *chelate*) se deriva de la palabra griega "*chela*" pinza, porque en anillo que se forma entre el quelante o el metal es similar en apariencias a los brazos de un cangrejo con el metal en sus pinzas. Los quelatos metálicos son un complejo de un ion de metal unidos a una molécula orgánica (ligando). Los quelatos más comunes utilizados en la agricultura son EDTA, DTPA y EDDHA. (Álvarez, Y Fernández, *et al.*, 2003). Los iones metálicos son minerales muy importantes para las plantas, y sus deficiencias resultan en color amarillento de las hojas, crecimiento retardado y cultivos de baja calidad. Los quelatos son compuestos de mayor estabilidad y, por lo tanto, están ampliamente utilizados en la agricultura como fertilizantes de micronutrientes para suministrar las plantas con hierro, manganeso, zinc y cobre. La quelación del metal es importante puesto que hace los iones metálicos más disponibles para la absorción por las plantas. Los iones metálicos cargados positivamente, tales como  $Zn^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  y  $Fe^{+2}$ , reaccionan fácilmente con los iones de hidróxido de carga negativa ( $OH^-$ ), y como resultado no están disponibles para las plantas (Álvarez, *et al.*, 2003).

### **2.5.1. Funciones de los quelatos**

Los quelatos atraen poderosamente la atención debido a que son una excelente alternativa para adicionar metales de manera edáfica y foliar a las plantas. Pueden ser aplicados teniendo siempre presentes las siguientes consideraciones: 1) incrementar la solubilización del metal, tales como fierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn); 2) transportarlo hacia la raíz y/o hoja de la planta; 3) una vez ahí, ceder el metal

(Fe, Zn, Mn), y, 4) la parte orgánica del quelato debe volver a solubilizar más metal (Fe, Zn, Mn) (Nowack, *et al.*, 2002).

### 2.5.2. Uso de fertilizantes quelatados en los cultivos

En la actualidad el uso de quelatos es la forma más eficaz de corregir la clorosis o deficiencias, diferente al resto de los fertilizantes, mientras que en cualquier otro tipo de fertilizante el principio activo es el propio elemento que van a aportar (Álvarez y Fernández, *et al.*, 2003). Su eficiencia desde el punto de vista agrícola es directamente proporcional a su capacidad para mantener los nutrientes minerales disponibles para la planta, en cantidad y durante el tiempo necesario para que esta lo tome (Lucena, *et al.*, 2003). Los agentes más utilizados son los derivados de los ácidos policarboxílicos: EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), DTPA (ácido etilentriaminopentaacético), HEEDTA (ácido 2 hidroxietilendiaminotriacético), EDDHA (ácido etilendiamino-di-(o-hidroxifenilacético)), EDDMHA (ácido etilendiamino-di-(o-hidroxipmetilfenilacético)), EDDCHA (ácido etilendiamino-di(2-hidroxi-4-carboxifenilacético) de acuerdo a la tabla 1.

**Tabla.1** Constante de disociación de los quelatos.

QUELATO	Constante de disociación
EDTA	Muy fuerte
DTPA	Muy fuerte
NTA	Fuerte
TPPA	Medio
Ácido gluconico	Medio
Ácido cítrico	Medio
Acido tartárico	Medio
Ácido metálico	Débil
Ácido lacético	Débil
Ácido acético	Débil

(Lucena, *et al.*, 2004).

## 2.4. El hierro en la plantas

Aunque el Fe es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre, la deficiencia de este elemento es un problema de más importancia principalmente en todas las especies de seres vivos. Este elemento se presenta en dos estados de oxidación: el  $\text{Fe}^{3+}$  o férrico y el  $\text{Fe}^{2+}$  o ferroso. En presencia de  $\text{O}_2$  el  $\text{Fe}^{2+}$  es oxidado rápidamente a  $\text{Fe}^{3+}$  el cual es poco soluble en agua y en donde se precipita como óxido de Fe, por lo tanto en nuestra atmósfera rica en  $\text{O}_2$ , la forma termodinámicamente más estable del hierro es también la de más fácil acceso para los organismos (Rincón, *et al.*, 2001). Las plantas tienen dos vías o estrategias por medio de las cuales son capaces de aumentar la disponibilidad de  $\text{Fe}^{3+}$  en la solución de agua del suelo.

**Estrategia I.** Las monocotiledóneas y dicotiledóneas pueden disminuir el pH en la rizosfera, la disminución en el pH solubiliza el  $\text{Fe}^{3+}$  y promueve la reducción del mismo a  $\text{Fe}^{2+}$ , es decir, que incrementa la capacidad de reducción en la raíz. Con esta estrategia las plantas disponen de aminoácidos no proteicos para el transporte interno del hierro (intra e intercelular) (Ling, *et al.*, 1996).

**Estrategia II.** En gramíneas sintetizan y hacen la expulsión de fitosideróforos al medio, los cuales acarrearán también otros cationes como el Zn, Mn y Cu, de esta manera compleja es introducción por la planta (Romheld, *et al.*, 1991).

### 2.4.1. Formas de absorción del hierro

Las plantas pueden absorber el hierro en sus estados de oxidación  $\text{Fe}^{2+}$  (hierro ferroso) y  $\text{Fe}^{3+}$  (hierro férrico), pero aunque la mayoría del hierro en la corteza terrestre está en forma férrica, la forma ferrosa es fisiológicamente más importante para las plantas. Esta forma es relativamente soluble, pero se oxida fácilmente al  $\text{Fe}^{3+}$ , que tiende a precipitarse. El  $\text{Fe}^{3+}$  es insoluble en un pH neutro y en un pH alcalino, y por lo tanto no es disponible para las plantas en los suelos alcalinos y en los suelos calcáreos. Las plantas usan diversos mecanismos para absorber el hierro. Uno de ellos es el mecanismo de quelación la planta excreta compuestos llamados sideróforos, que

forman un complejo con el hierro y aumentan su solubilidad. Este mecanismo también implica bacterias (Hell y Stephan, *et al.*, 2003).

#### **2.4.2. Funciones metabólica del hierro**

La facilidad del hierro para cambiar de estado de oxidación y formar quelatos estables y solubles hace que esté implicado en un gran número de funciones fisiológicas. Este se presenta en los vegetales formando parte de numerosos sistemas enzimáticos (Terry y Zayed, *et al.*, 1995; Menguel y Kirkbi, *et al.*, 2001), que se puede dividir en hemídicos y no hemídicos. Dentro de los sistemas enzimáticos hemídicos se encuentra en: citocromos, complejo proteicos hierro-porfirínicos, que son constituyentes de los sistemas redox de los cloroplastos, las mitocondrias y en la cadena redox de la nitrato reductasa (Marschner, *et al.*, 1995).

#### **2.4.3. Síntomas de deficiencia del hierro**

La deficiencia de hierro se presenta en las hojas, donde estas se amarillean en sus espacios intervenales comenzando desde el pecíolo hasta los ápices de las hojas y pueden volverse hacia arriba. Otro síntoma presentado es la desintegración de cloroplastos, tallos cortos, delgados y curvados, se ha notado en diferentes cultivos el contenido de hierro en las hojas de plantas deficientes pueden ser similar o incluso algo superior al de las hojas verdes, presentando esta deficiencia (Morales, *et al.*, 1998). Este fenómeno es conocido como la paradoja de la clorosis férrica y sugiere que el hierro podría acumularse en alguna zona de la hoja (nervios primarios y secundarios), en una forma no utilizable por la planta. Además, se ha propuesto que los fosfatos y un elevado pH del apoplasto podrían provocar la precipitación del hierro en el exterior de la célula impidiendo su utilización (Jiménez, *et al.*, 2009).

#### **2.4.4. Exceso de hierro**

Un exceso de hierro provoca que las hojas se bronceen y que aparezcan en ellas puntos de color marrón oscuro. La toxicidad del hierro en las plantas suele suceder en raras ocasiones en estos casos de toxicidad por el hierro no suelen producirse, debido

a la conversión del hierro soluble en compuestos insolubles no disponibles en la planta. Los casos en los que se encuentra toxicidad de hierro principalmente son los cultivos que se encuentran sumergidos en agua donde el  $\text{Fe}^{3+}$  se encuentra en grandes cantidades. En cambio en los suelos con contenido total superior al 5% no provoca efectos tóxicos en los cultivos que se desarrollan en ellos (Rincón, *et al.*, 2001).

#### **2.4.5. Sinergismo y antagonismo del hierro**

Un crecimiento óptimo de la planta, los elementos nutritivos deben de ser absorbidos y por lo tanto distribuidos, en proporciones adecuadas, la apertura de este delicado equilibrio nutricional, puede crear o amplificar, los fenómenos de sinergismo y antagonismo entre diversos elementos nutritivos presentes en el suelo. Existe entre los elementos nutricionales, un antagonismo fisiológico genético (cuando a consecuencia del exceso de un elemento se manifiesta la carencia de otro) y un antagonismo fisiológico específico (Piaggese, *et al.*, 2004).

#### **2.5. El cobre**

Las plantas necesitan el Cu para completar su ciclo de vida, es decir para producir semillas viables, es la única forma de aportar energía al mundo viviente. Sin el Cu, no habría fotosíntesis, el cobre se parece al hierro debido a que forma quelatos altamente estables que permiten la transferencia de electrones ( $\text{Cu}^{2+} + e \leftrightarrow \text{Cu}^+$ ). Por, esta razón desempeñan un papel comparable en los procesos redox de la fisiología de la planta (Marschner, *et al.*, 1995). El cobre está presente en diversas enzimas o proteínas relacionadas con los procesos de oxidación y reducción. Estimula la formación del polen viable, por ello su más alta demanda se representa en la floración, actúa conjuntamente con el magnesio y el zinc en la utilización y movilización de otros nutrientes, y ayuda al desarrollo de las raíces y a la formación de proteínas y enzimas. Además el cobre cumple, con las funciones de aumentar el sabor en los frutos, el contenido de azúcares, la capacidad de almacenamiento y la resistencia al transporte.

### **2.5.1. Formas de absorción del cobre**

En el suelo los iones de Cu presentan una alta afinidad para formar complejos con la materia orgánica. De esta forma, es frecuente que la materia orgánica del suelo sea el factor más importante en determinar la biodisponibilidad del Cu. Los mecanismos de absorción de Cu por las plantas aún no están todos claros, ya que se ha observado una probable absorción pasiva de Cu, aun cuando existen numerosas evidencias respecto a su absorción activa (Kabata yPendías *et al.*, 2000). En los tejidos de la raíz, el Cu se encuentra casi completamente en formas complejas, sin embargo, es muy probable que el metal ingrese a las células de las raíces en forma disociadas y a tasas diferentes según la especie del metal. El cobre no se transmite fácilmente en la planta, pero puede ser transferido desde las hojas viejas a las hojas jóvenes. Este movimiento es altamente dependiente del contenido de elemento en la planta, y en aquellos individuos que presentan deficiencias, el cobre es relativamente inmóvil (Rodríguez, *et al.*, 2001). Existen múltiples factores que afectan la disponibilidad del cobre en el suelo: las reservas totales, pH (a mayor pH mayor extracción de cobre).

### **2.5.2. Funciones metabólicas del cobre**

La mayor fracción del contenido total está generalmente presente en las retículas cristalinas de minerales primarios y secundarios. El cobre es un micro nutriente que se encuentra presente en diversas enzimas o proteínas implicadas en los procesos de oxidación y reducción, por ejemplo, la citocromo oxidasa, una enzima respiratoria que se halla en las mitocondrias y la plastocianina, una proteína de los cloroplastos que cataliza la transferencia de electrones entre el citocromo  $b_6f$  y el fotosistema I (Raven *et al.* 1999). El receptor de etileno ETR1, una proteína transmembranal, requiere la unión de cobre para su funcionamiento (Rodríguez *et al.* 1999).

### **2.5.3. Síntomas de deficiencias del cobre**

Las deficiencias del cobre se presentan en suelos fangosos/limosos recién cultivados debidos a la fijación de cobre, por lo tanto a altos niveles de N, P y exceso del Zn en los

suelos promueven deficiencias de este elemento. También se puede presentar deficiencia en suelos calcáreos fuertemente fertilizados con N (Lambert, *et al.*, 1997). Los síntomas de deficiencia de Cu pueden no ser tan fáciles de identificar como los de otros micronutrientes. Las deficiencias más severas producen clorosis y muerte descendente de los crecimientos terminales. El Cu es traslocado dentro de la planta por lo que las diferencias aparecen primero en los brotes más jóvenes, plantas deficientes en Cu desarrollan tallos débiles y parecen marchitarse ligeramente inclusive bajo condiciones de humedad adecuada. (Aguilera, *et al.*, 1992). Las plantas rara vez tienen deficiencia de cobre, en parte porque lo requieren en cantidades muy pequeñas. En ausencia de cobre las hojas jóvenes con frecuencia adquieren un color verde oscuro y están arrugadas o deformes, y muchas veces exhiben manchones necróticos. (Salisbury y Ross 1991).

#### **2.5.4. Exceso de cobre**

La misión del cobre en las plantas es importante, puesto que forman parte de algunas enzimas. Es un elemento que debe mantener en el suelo un equilibrio con el hierro, ya que un exceso de cobre provoca una mayor oxidación del hierro, el cual pasa a forma férrica y es insoluble para la planta. En casos de toxicidad (valores superiores en suelo a  $300 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), las alteraciones se manifiestan en las raíces. También el exceso puede originar deficiencia en hierro (Internet 5).

#### **2.5.5. Antagonismo y sinergismo del cobre**

Altas concentraciones de cobre en la solución del suelo pueden reducir la disponibilidad de zinc (y viceversa) debido a la competencia en los sitios de absorción en la raíz de la planta. Se observa un antagonismo similar con el hierro y manganeso que ante condiciones reductoras (inundaciones o anegamientos) aumentan la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ . Los altos contenidos de niveles N, P y el exceso del Zn en los suelos promueven deficiencias de cobre. También se puede presentar deficiencias de cobre en los suelos calcáreos y a su vez existe un antagonismo entre el cobre y el molibdeno e interacción negativa entre el cobre y el hierro (Rincón, *et al.*, 2001).

## 2.6. El zinc

En las plantas, el zinc se destaca por su función como activador enzimático, principalmente, por su capacidad de formar uniones entre las enzimas y el sustrato y por ser parte estructural de numerosas enzimas (Barack y Helmke, *et al.*, 1993). El zinc se encuentra involucrado en el metabolismo nitrogenado de las plantas, influyendo directamente sobre la síntesis de proteínas. Esto sucede por tres vías de acción, activando la RNA polimerasa, incidiendo en la integridad estructural de los ribosomas y promoviendo la degradación del RNA. En el metabolismo de las auxinas, el zinc es necesario para la producción de triptófano. El triptófano es un aminoácido esencial, precursor del ácido Indol-Butírico (hormona de crecimiento vegetal). Según Rodríguez, (2005), el zinc es clasificado como un micronutriente ya que la planta lo requiere en menor cantidad que otros nutrientes, pero es tan esencial como cualquier otro.

### 2.6.1. Formas de absorción del zinc

El Zn se adquiere del suelo principalmente en su forma catiónica como ión  $Zn^{2+}$  e hidróxidos de zinc a pH alto (Grotz & Guerinot, *et al.*, 2006; Broadle, *et al.*, 2007) y entra al citoplasma de las células radiculares por medio de transportadores pertenecientes a la familia ZIP (Pence, *et al.*, 2000; Assunção, *et al.*, 2001; Palmgren, *et al.*, 2008). Los transportadores ZIP han sido caracterizados en *Arabidopsis thaliana*, *Medicago* y *Truncatula* (Moreau, *et al.*, 2002) y *Oryza Sativa* (Ramesh, *et al.*, 2003) y su expresión se induce en situaciones de deficiencia de Zn. La mayoría del zinc en los suelos se mantiene en formas no disponibles, como los óxidos metálicos y otros complejos minerales. Las plantas obtienen el zinc que está 1) disuelto en la solución del suelo, 2) adsorbido en la superficie de las partículas de arcilla y 3) adsorbido por quelatos y o complejos con moléculas orgánicas en la materia orgánica del suelo. El zinc es absorbido del suelo principalmente en forma de cationes bivalentes ( $Zn^{2+}$ ) o, también como catión monovalente ( $ZnOH^+$ ) (Alloway, *et al.*, 2008).

### **2.6.2. Funciones metabólicas del zinc**

El zinc influye en muchos de los procesos metabólicos de la planta no solo al actuar como un cofactor enzimático en determinadas metaloproteínas activándolas de forma inespecífica (Enolasa/glucólisis) y específica (Anhidrasa carbónica) sino al ser un componente de diferentes enzimas.

- ❖ Es un componente esencial de la enzima RNA polimerasa responsable por el catalizador de la síntesis del RNA influyendo así a la formación de proteínas.
- ❖ Como componente de las enzimas, el zinc cataliza la síntesis de la fructosa-6-fosfato, la cual es responsable en el metabolismo de la glucólisis y por lo tanto en la fotosíntesis.
- ❖ Es esencial para la estabilidad en los ribosomas.
- ❖ Es de gran importancia en la síntesis del ácido-3 acético a partir del triptófano, el cual es importante para regular el crecimiento de la planta.
- ❖ Es un activador específico de la enzima glutámico deshidrogenasa que está relacionada con la asimilación del amonio ( $\text{NH}_4$ ) (Rodríguez, *et al.*, 2005).

### **2.6.3. Síntomas de deficiencia del zinc**

Las deficiencias se denominan foliocolosis y se manifiestan en falta de efectividad de la yema terminal, lo que se traduce en un porte de forma de roseta en los cultivos herbáceos, mientras que en otros cultivos se acortan los entrenudos (ya que se altera el metabolismo de la auxina). Los síntomas e inician siempre en las hojas más jóvenes, que presentan zonas jaspeadas cloróticas, que terminan necrosándose y afectando a todo el parénquima foliar y a los nervios (esta clorosis es debida a que se inhibe la síntesis de ARN, perjudicando así el desarrollo normal de los cloroplastos). El tamaño de las hojas es pequeño, permaneciendo sin desplegarse. En las hojas adultas no se suele apreciar estos síntomas, un hecho a tener en cuenta es que todas las plantas con deficiencia del zinc presentan hojas con elevados contenidos de Fe, Mn, nitrato y fosforo, mientras que los contenidos en almidón son bajos (Loue, *et al.*, 1998).

#### **2.6.4. Exceso de zinc**

La toxicidad de Zn produce síntomas parecidos a las toxicidades de Cd y Pb (Larbi *et al.*, 2002; Fodor *et al.*, 2005). El primer síntoma que presentan la mayoría de las especies es la clorosis de hojas jóvenes y, en casos graves, zonas necróticas. La raíz principal se acorta, aparecen pequeñas raíces laterales y se observa un amarillamiento general. No sólo se reduce el crecimiento y cambia la morfología de hojas y raíces dando lugar a plantas raquílicas, sino que también se ha observado que tienen un menor contenido en agua (Bonnet, *et al.*, 2000; Broadley *et al.*, 2007). No suele haber casos de toxicidad por el zinc en suelos básicos, debido a la inmovilización a pH altos. Por lo tanto la fitotoxicidad es indicada en ocasiones por clorosis por deficiencia de hierro inducida por zinc (Chaney, *et al.*, 1993).

#### **2.6.5. Antagonismo y sinergismo del zinc**

La absorción del zinc por la raíz se ve influenciada por otros elementos, como calcio, magnesio, hierro, manganeso y cobre (antagonismo). Sin embargo, el antagonismo de absorción más documentado es el que presenta en situaciones de exceso de fósforo. La movilidad del zinc dentro de la planta es muy baja. En las hojas viejas, es bastante inmóvil y se transloca con dificultad a los tejidos en crecimiento, sobre todo en plantas con deficiencia. Cuando los aportes de zinc son altos, suele acumularse en los tejidos de la raíz. La relación Zn-P es notable y ha sido reportado por muchos investigadores. Este elemento cuando es absorbido por la raíz se ve influenciado por otros elementos como el calcio, magnesio, hierro, manganeso y cobre tiene un efecto antagonista, sin embargo la absorción más documentada es que presenta en situación de exceso de fósforo (Olvera, *et al.*, 2010). La absorción del zinc por la raíz se ve influenciada por otros elementos, como calcio, magnesio, hierro, manganeso y cobre (Rodríguez, *et al.*, 2005).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación del experimento**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el campo experimental del departamento de horticultura, dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el departamento de horticultura de Saltillo, Coahuila, la cual se encuentra localizada geográficamente a 25° 23' latitud norte y 103° 01' longitud Oeste con una altitud de 1,743 msnm (Internet 6).

#### **3.2. Material vegetal utilizado**

El material utilizado fue semilla de lechuga romana de la variedad "lulú" es una variedad de lechuga que crece con una larga cabeza y que posee unas hojas robustas, alargadas y con un robusto nervio central. Al contrario que otras lechugas es más tolerante al calor (Internet 7).

#### **3.3. Siembra**

La siembra se realizó el día 11 de agosto del 2011 de la lechuga romana variedad lulú en invernaderos productores de plántula del nombre Grupo U J, ubicado en el municipio de Villagrán Guanajuato. Fueron sembradas de forma directa en charolas de polietileno de 200 cavidades.

#### **3.4. Establecimiento del experimento**

##### **3.4.1. Preparación del terreno**

Esta actividad se realizó de forma mecánica con las siguientes labores: barbecho, rastras y nivelación de terreno. El levantamiento de camas y la colocación del acolchado se realizaron de forma manual.

El sistema de riego utilizado fue con cinta Netafin, calibre 6000, con un gasto por gotero de 0.91 L/h.

### 3.4.2. Trasplante

Las plántulas fueron trasplantadas uniformemente y con buen sistema radicular. El trasplante se llevó a cabo el día 22 de septiembre a los 42 días después de la siembra. En camas de 10 m de largo por 30 m de ancho, acolchadas con plástico negro y sistema de riego por goteo, se manejó una densidad de siembra de 41,333 p/ha, en un marco de plantación tresbolillo de 30 cm entre plantas (Sánchez, *et al.*, 2010).

### 3.4.3. Riego

Los riegos se realizaban diariamente con una duración de 1 a 2 horas, hasta llegar a una capacidad de campo, cabe mencionar que se regó un día antes del trasplante para que estuviera la humedad necesaria para el trasplante, el primer riego se aplicó el día siguiente después del trasplante (DDS).

## 3.5. Descripción de los tratamientos

Para este experimento se utilizaron los diferentes tipos de quelatos como lo fue:

**Tabla 2.** Tratamientos estudiados en el experimento.

No. De Tratamientos	Tratamiento
T1(Testigo)	Testigo(sin aplicaciones)
T2	TRADECORP Az 5 gr/L
T3	TRADECORP Jaguar 5 gr/L
T4	TRADECORP Fe 0.8 gr/L
T5	TRADECORP Cu 0.5 gr/L
T6	TRADECORP Zn 0.6 gr/L

## 3.6. Aplicación de los tratamientos

Para la aplicación de los tratamientos Tradecorp Az, Tradecorp Az jaguar, Tradecorp Fe, tradecorp Cu, Tradecorp Zn, se realizó la disolución en agua anteriormente

mencionada, aplicando por planta 50 mL vía suelo, en intervalos de 8 días, iniciando el 8 de octubre, 15 de octubre, 24 de octubre, y 4 de noviembre del 2011.

### 3.7. Descripción de los tratamientos estudiados

**Tradecorp Az:** Mezcla de sólidos de oligoelementos quelatados con EDTA, eficaces, estables e indicadores para prevenir y corregir estados de carencias.

- Hierro (Fe) quelado por EDTA y soluble en agua: 7,5 % p/p.
- Manganeso (Mn) quelado por EDTA y soluble en agua: 3,5 % p/p.
- Zinc (Zn) quelado por EDTA y soluble en agua: 0,7 % p/p.
- Cobre (Cu) quelado por EDTA y soluble en agua: 0,28 % p/p.
- (Mo) soluble en agua: 0,3 % p/p.
- Agente quelante: EDTA.
- Presentación: Microgránulos dispersables (WG).
- Grado de quelación: Máximo.
- Intervalo estable de pH de la fracción quelada: 3 – 9.
- Color: Verde (Internet 8).

**Tradecorp Az Jaguar:** Agente quelante para hierro altamente eficaz e indicado para prevenir y corregir la clorosis férrica en suelos calcáreos y alcalinos, en fertirrigación y en cultivo hidropónico.

- Hierro (Fe) total soluble en agua: 9% p.p.
- Hierro (fe) quelatado por EDDHA y soluble en agua: 3% p.p.
- Hierro (fe) quelatado por EDDHA en posición orto-orto: 2% p.p.
- Hierro (fe) quelatado por EDDHA y soluble en agua: 6% p.p.
- Agente quelante: EDDHA y ADTA.
- Presentación: microgranulos dispersables (WG). (Internet 9)

**Tradecorp Fe:** Quelato EDTA de hierro eficaz, estable e indicado para prevenir y corregir la clorosis férrica en suelos ácidos y cultivos hidropónicos.

- Hierro (Fe) quelado con EDTA y soluble en agua: 13,2 % p/p.
- Agente quelante: EDTA.

- Presentación: Polvos solubles (WP).
- Grado de quelación: Máximo.
- Intervalo estable de pH de la fracción quelada: 4 – 7.
- Color: Marrón. (Internet 10)

**Tradecorp Cu:** Quelato EDTA de cobre eficaz, estable e indicado para prevenir y corregir las carencias de cobre.

- Cobre (Cu) quelado por EDTA y soluble en agua: 14,5 % p/p.
- Agente quelante: EDTA.
- Presentación: Microgránulos dispersables (WG).
- Grado de quelación: Máximo.
- Intervalo estable de pH de la fracción quelada: 4 – 9.
- Color: Azul. (Internet 11)

**Tradecorp Zn: Quelatos** EDTA de zinc eficaz e indicador para prevenir y corregir las carencias de zinc.

- Zinc (Zn) quelado por EDTA y soluble en agua: 14 % p/p.
- Agente quelante: EDTA.
- Presentación: Microgránulos dispersables (WG).
- Grado de quelación: Máximo.
- Intervalo estable de pH de la fracción quelada: 4 – 9.
- Color: Blanco. (Internet 12).

### 3.8. Programa de nutrición

La fertilización se realizaba en cada planta unas horas antes del riego o durante el riego, los tratamientos se aplicaban semanalmente, se realizó una fertilización de fondo en la cual se adicionó el fertilizante comercial Ferti-Dripcon una formula 20-30-10, más microelementos en combinación con calcio, magnesio y azufre, con una dosis recomendada de  $5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , por lo tanto se adicionó  $45\text{-}50\text{g} \cdot 150\text{m}^2$ , esta fertilización se repitió dos veces durante el ciclo del cultivo, antes del trasplante y 15 días antes de la recolección de igual manera con el fertilizante comercial MAP soluble (11-52-00), este

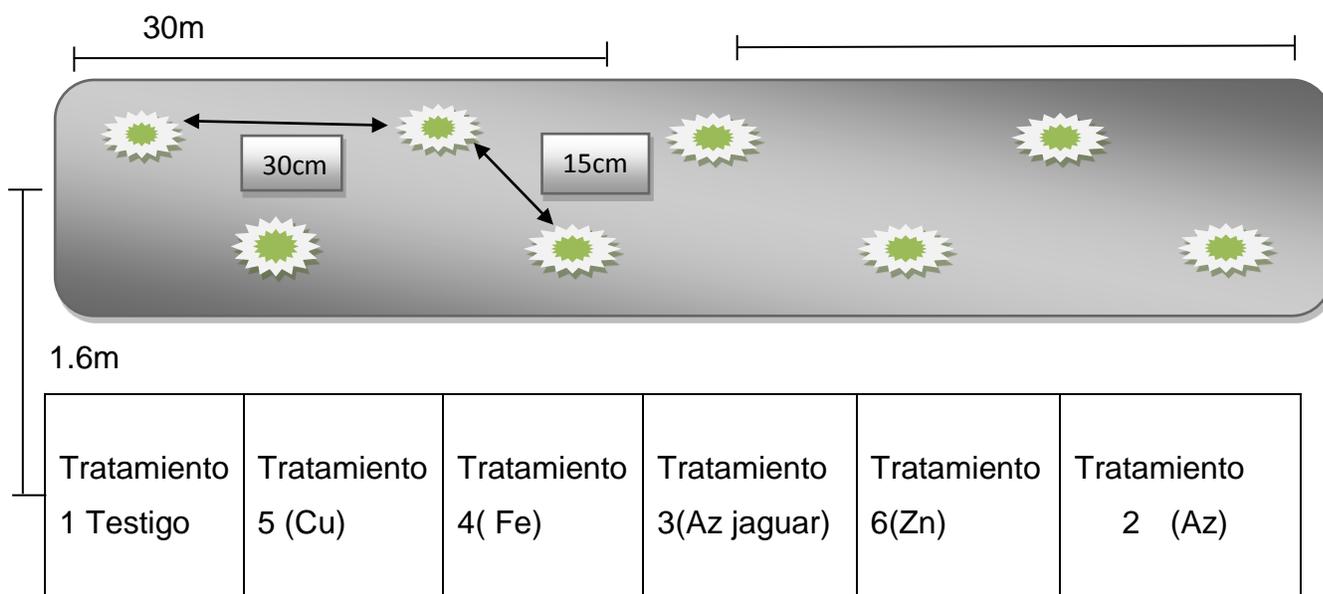
fertilizante se le aplicó al cultivo cuando ya tenía dos semanas de establecido en el campo experimental, con una dosis de  $2.5g \cdot 20L^{-1}$  y adicionando  $50mL^{-1}$  por planta, directamente ala base del tallo. En conjunto con el fertilizante comercial algaenzimas, a base de aminoácidos en una dosis recomendada de  $1.5 L \cdot ha^{-1}$  y de  $50mL^{-1}$  por planta, resaltando que este solo se aplicó una vez durante el ciclo del cultivo, Con la finalidad de estimular el crecimiento de las plantas.

### 3.9. Cosecha

Esta actividad se realizó el día 4 de noviembre a los 86 días transcurridos desde el proceso de la siembra a la cosecha.

### 3.10. Diseño experimental

El análisis de varianza se realizó bajo el diseño completamente al azar, analizando los datos mediante el paquete estadístico SAS versión 9 (SAS, 2009), para detectar diferencia estadística en cuanto a los tratamientos, se empleó la prueba de comparación de medias mediante la metodología de tukey ( $\alpha= 0.05$ ). Los tratamientos fueron seleccionados completamente al azar con 5 tratamientos más el testigo y con 10 repeticiones cada uno, se colocaron el en campo experimental distribuidos de la siguiente manera:



### **3.11. Variables evaluadas**

#### **3.11.1. Clorofilas**

En esta variable se determinó la cantidad de clorofilas en hojas de las más desarrolladas ya que estas tienen mayor capacidad de fotosintetizar (80% de fuente, 20% demanda de fotoasimilados) (Carranza, *et al.*, 2009), se llevó a cabo mediante el aparato SPAD 502 medidor de clorofilas, tomando tres lecturas por tratamiento, después de la toma de lecturas se promediaron las lecturas tomadas. Cabe mencionar que esta variable fue medida *insitu*.

#### **3.11.2. Nitratos**

Para la determinación de esta variable se utilizaron hojas de la planta cuando ya estaba lista para cosecha se tomaron tres hojas de las más desarrolladas, se maceraron en un mortero amano hasta llegar a una cantidad de 5 mL de sabia de la hoja, esto se realizó para cada tratamiento con el fin de comparar en contenido de nitratos en cada variable, después, fue medida con el aparato medidor de nitratos TWIN HORIBA. El resultado se expresó en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Internet 13).

#### **3.11.3. Peso fresco total de la planta**

Para la determinación de esta variable tomamos la planta del lugar donde se estableció, posteriormente se pasó a una báscula digital marca reyo donde se limpió y pesó, Los resultados se reportaron en kilogramos (kg).

#### **3.11.4. Diámetro del tallo**

Para la determinación de esta variable se tomó la planta del lugar de establecimiento se lavó y se separó de la raíz, después se retiraron las hojas del tallo, midiendo

únicamente el tallo utilizando un vernier, los resultados se reportaron en milímetros (mm).

#### **3.11.5. Altura de planta**

Para esta variable tomamos la planta y con un cinta de tres metros se le tomaron las medidas desde la base del tallo hasta la parte más alta de la planta esto se realizó para cada tratamiento los resultados se reportaron en centímetros (cm).

#### **3.11.6. Número de hojas**

Para la variable número de hojas se tomaron 3 plantas del lugar de establecimiento del cultivo donde las hojas se fueron contando una a una, el reporte se expresó en unidades (unidades).

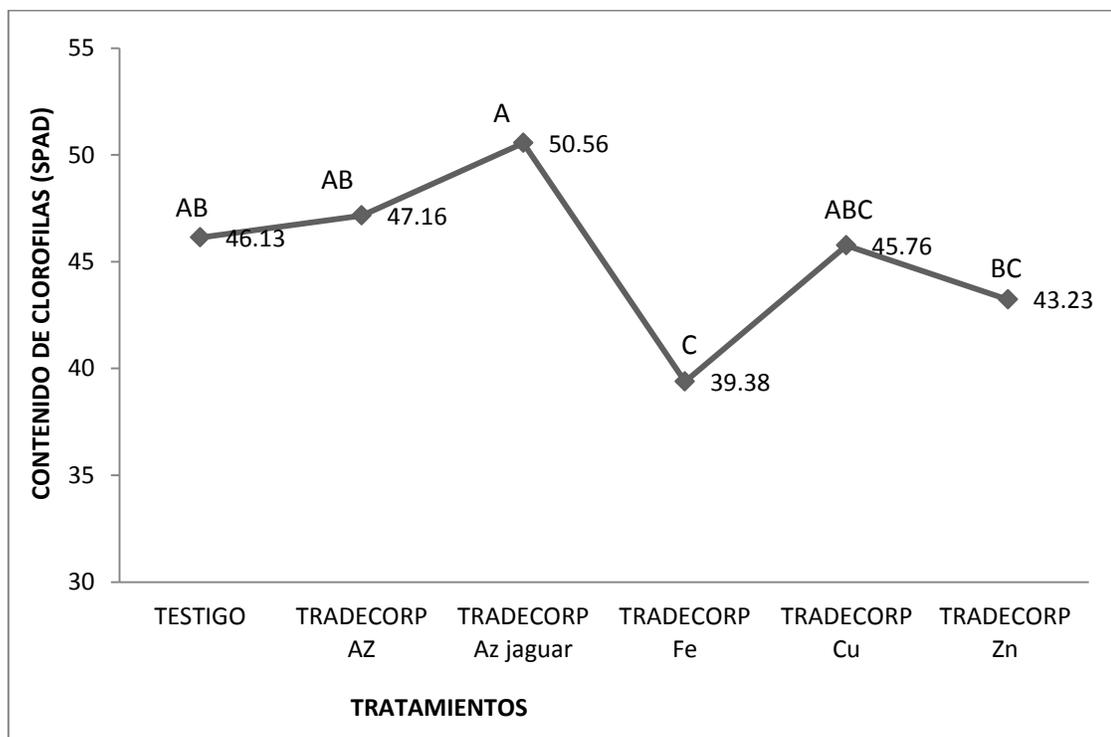
#### **3.11.7. Longitud de la raíz**

Para esta variable tomamos la planta del lugar establecido se lavó la raíz con agua pura una vez limpia la raíz se tomó la medida con un cinta Truper de tres metros, los resultados se expresaron en milímetros (cm).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Contenido de clorofilas en la lechuga

Para la variable de clorofilas en el análisis de varianza se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, en el cual el tratamiento 3 tradecorp Az jaguar (Fe 9%) el de mayor valor con 50.56 SPAD, Marschner (1995), menciona que el hierro juega un papel muy importante en la fotosíntesis por su acción en la síntesis de clorofilas. Otra característica relevante es que el fertilizante utilizado en este tratamiento es de agente quelante de EDDHA, es decir, que se asimila con mayor facilidad en los suelos calcáreos como lo es el caso de este, a comparación de los demás tratamientos que contiene un agente quelante EDTA que se asimilan en suelos ácidos (Espinoza, et al., 2010). Referente al tratamiento 4 tradecorp Fe (Fe 13.2%), con el valor de 39.83 SPAD, las lechugas obtenidas de esta aplicación mostraron un menor contenido de clorofilas, esto a consecuencia de que por tal motivo estos isómeros provenientes de este agente quelante EDDHA, se pueden retener más fácilmente que los quelatos con agente quelante EDTA (López, et al., 2005) (Figura 1).



**Figura 1.** Contenido de clorofilas en la planta de lechuga (SPAD).

## 4.2. Contenido de nitratos en la lechuga

Para la variable Nitratos el análisis de varianza mostró diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha=0.05$ ), siendo el tratamiento 6 el más sobresaliente tratado con tradecorp Zn (Zn 14%), teniendo como resultado con  $1900 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Esto concuerda con lo que dice, Rodríguez (2005), que el zinc es esencial en la activación de diversas enzimas metabólicas e interviene en la asimilación de los nitratos. Referente al tratamiento 1 testigo obteniendo el menor contenido de nitratos en las plantas con  $786.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Figura 2).

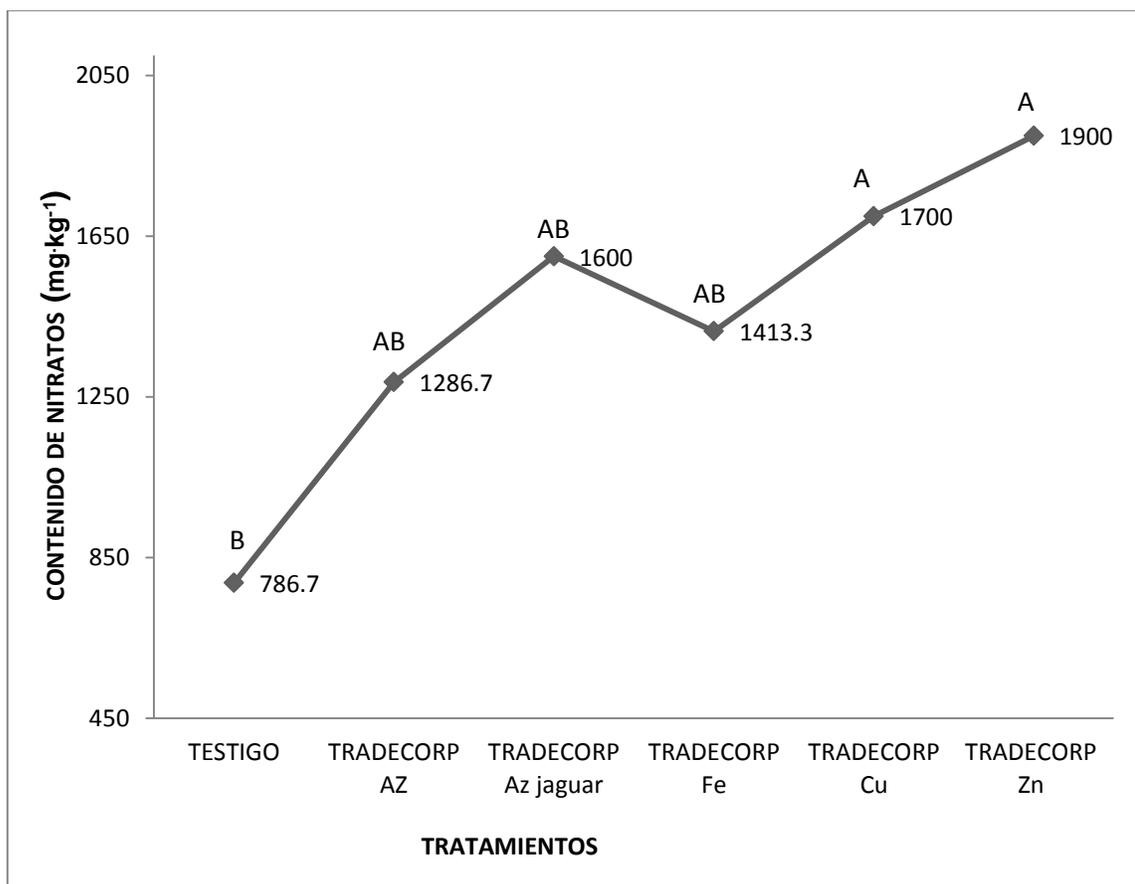
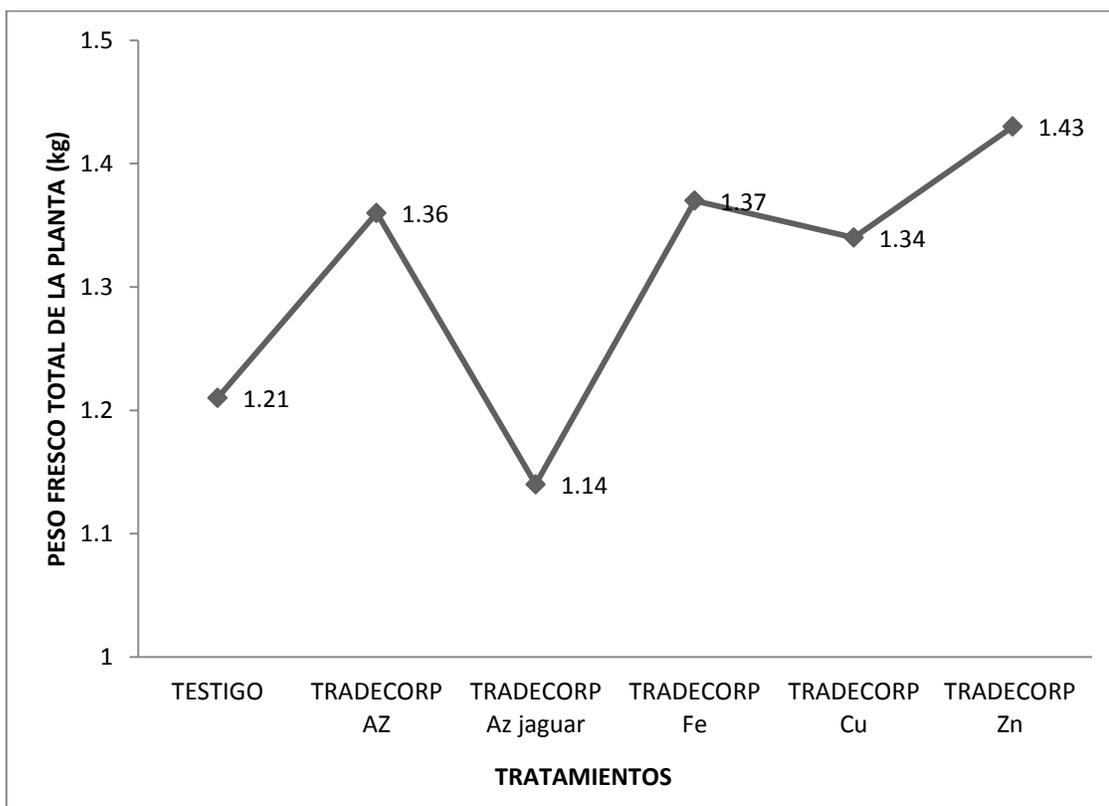


Figura 2. Contenido de nitratos en la planta de lechuga ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

### 4.3. Peso fresco total de la planta de lechuga

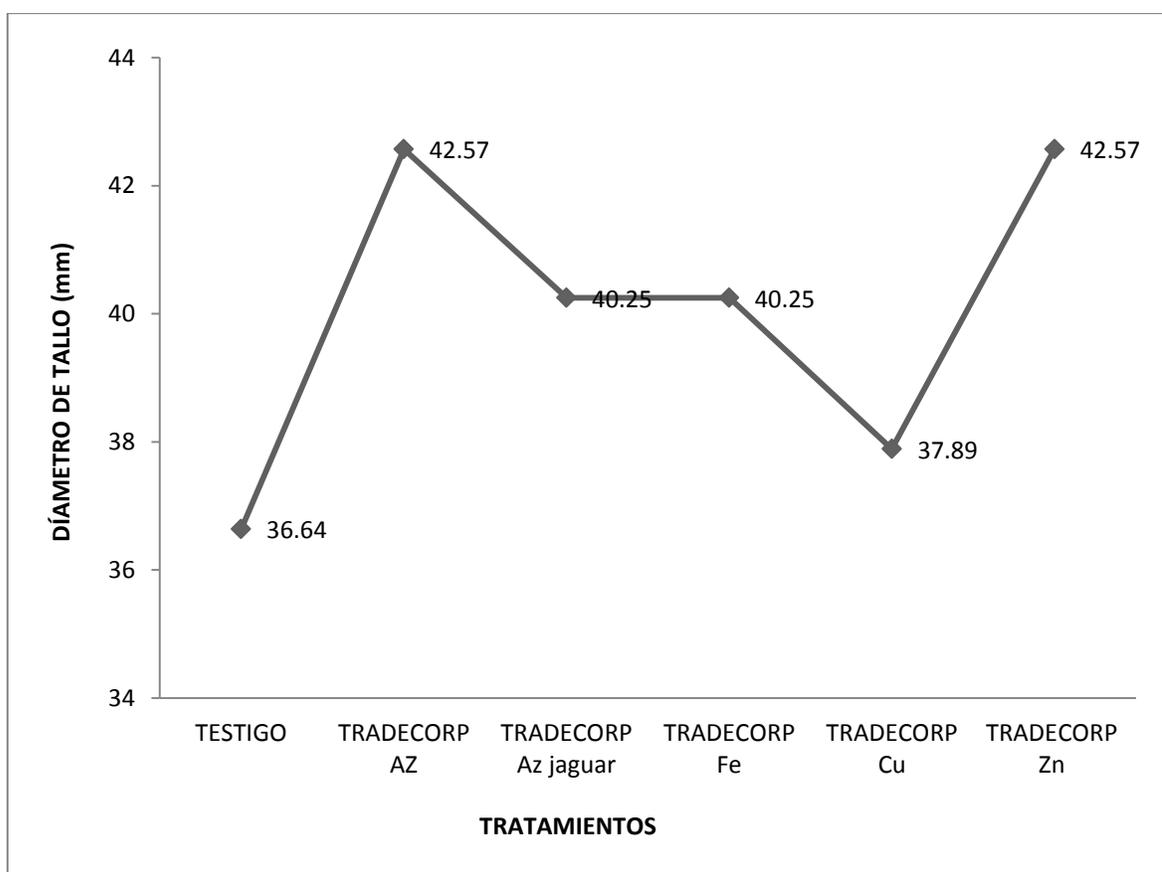
Para la variable peso fresco total de la planta en el análisis de varianza no mostro diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha=0.05$ ), siendo el tratamiento 6 tradecorp Zn (Zn 14%), el de mayor peso alcanzado con 1.43 kg, esto a consecuencia de que el zinc favorece el desarrollo del almidón e interviene en el metabolismo de los carbohidratos para incrementar el peso en la planta y garantiza un aumento en la calidad fotosintética, también una estimulación de crecimiento vegetal y un aumento en el desarrollo de proteínas (Martínez, *et al.*, 1995). Referente al tratamiento 3 tradecorp AZ jaguar) (Fe 9 %) muestra el valor más bajo siendo este de 1.14 kg, esto a consecuencia que el zinc cuando es absorbido por la planta se ve influenciado por el hierro y contiene una forma antagónica (Olvera, *et al.*, 2010) (Figura 3).



**Figura 3.** Peso fresco total de la planta de lechuga (kg).

#### 4.4. Diámetro del tallo en la planta de lechuga

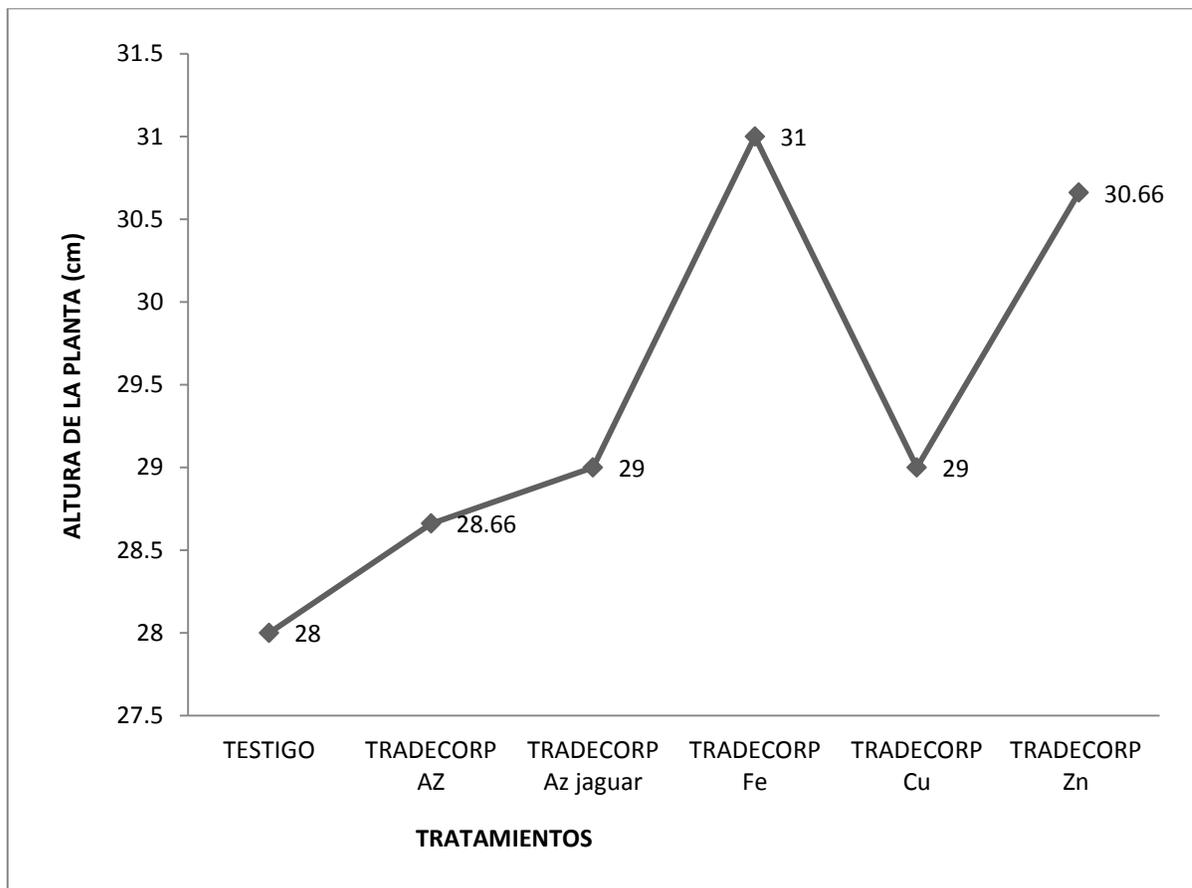
Los resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable diámetro de tallo no mostró diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha=0.05$ ), se puede decir que el tratamiento 6 con tradecorp Zn (Zn 14%) fue el de mayor diámetro alcanzado con un valor de 42.57 mm, semejante a lo reportado por Martínez (1995), quien afirma que el papel del zinc es fundamental en el crecimiento de las plantas, porque ayuda la expansión de la elongación de los tallos, ya que las plantas donde falta el zinc pierden área foliar y la elongación de limbos foliares es pobre. Referente al tratamiento testigo con 36.64 mm, fue el tratamiento que obtuvo el valor más bajo (Figura 4).



**Figura 4.** Diámetro del tallo en la planta de lechuga (mm).

#### 4.5. Altura de la planta de lechuga

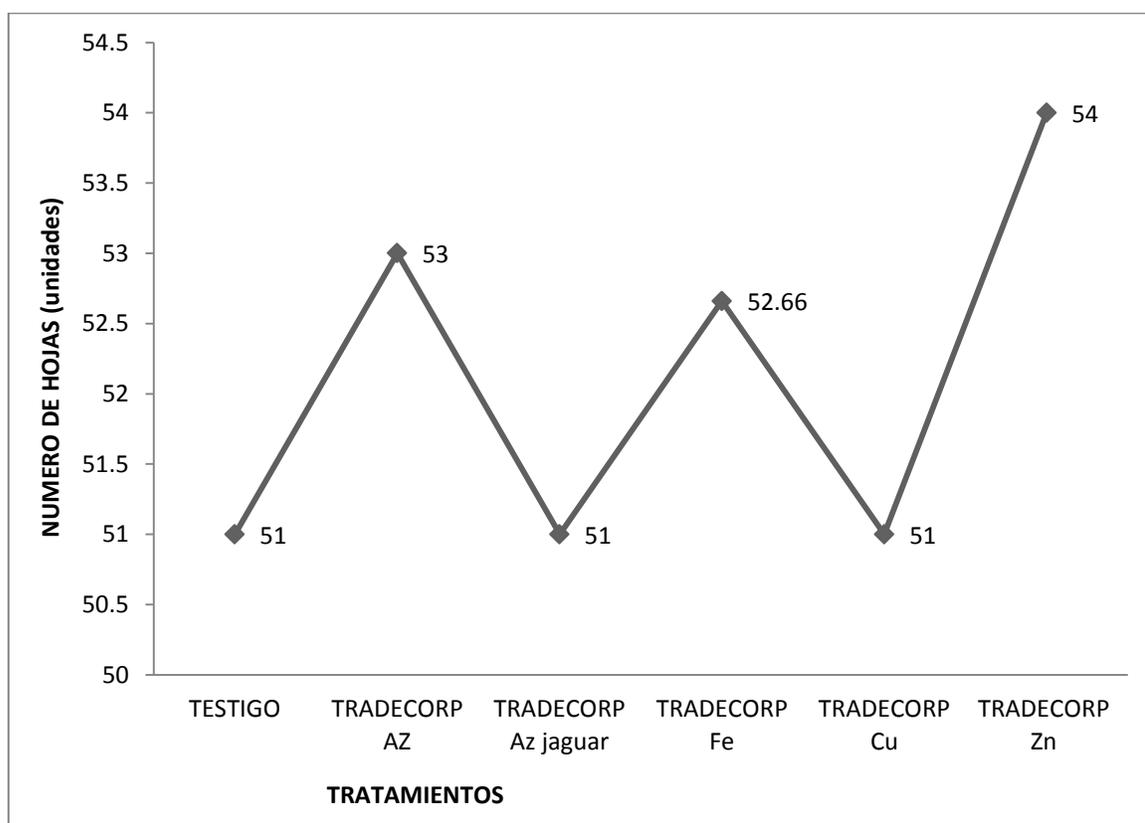
Los resultados obtenidos del análisis de varianza para esta variable no muestran diferencia significativa entre las medidas de los tratamientos ( $\alpha=0.05$ ). En promedio el tratamiento 4 tradecorp Fe (Fe 13.2 %), obtuvo el mayor valor siendo este de 31.00cm esto se atribuye a que el hierro está involucrado en las relaciones de división celular y crecimiento celular, lo cual se ve reflejado en una mayor altura en las plantas (Ronen, *et al.*, 2008). Referente al tratamiento 1 testigo, las plantas tuvieron el valor más bajo siendo este de 28.00cm (Figura 5).



**Figura 5.** Altura de la planta de lechuga (cm).

#### 4.6. Número de hojas en la planta de lechuga

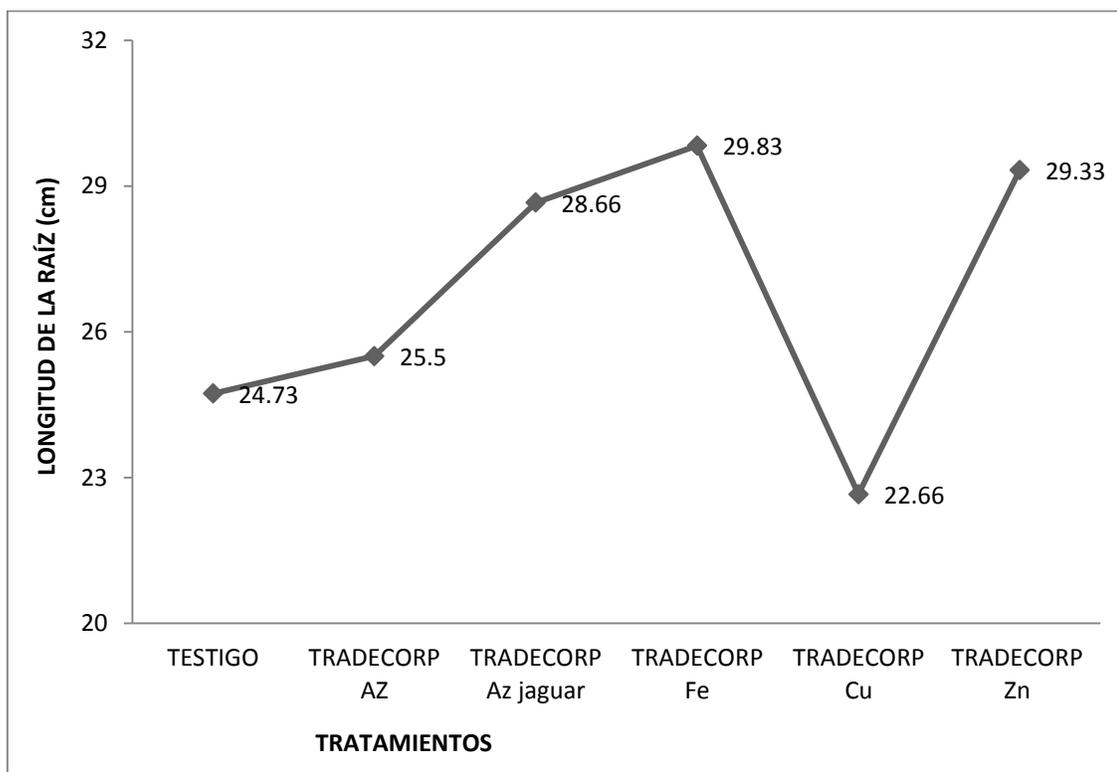
Al evaluar la variable número de hojas tratada con diferente tipos de quelatos aplicados al suelo no se observan diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ) entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento 6 tradecorp Zn (Zn 14%), agente quelante EDTA, mostro el valor más representativo obteniendo el número más alto de 54 hojas, esto concuerda con Rivero (2006), cuando las plantas crecen más allá de la etapa de plántula, la demanda de zinc se hace mayor en la etapa de formación de las hojas, dando como resultado un mayor incremento en la composición de órganos de la planta tales como las hojas. En referente al tratamiento 1 testigo, muestra el número más bajo de 51 hojas (Figura 6).



**Figura 6.** Número de hojas de la planta de lechuga (unidades).

#### 4.7. Longitud de la raíz de la planta de lechuga

Al evaluar la longitud de la raíz, se encontró que las plantas del tratamiento 4 que consisten en la aplicación del tradecorp Fe (Fe 13.2%,) mostraron la mayor longitud en relación con el resto de los tratamientos estudiados, esto coincide con Lopez-Millan (2001), donde indica que el hierro en las plantas da lugar a considerables cambios morfológicos y fisiológicos en la raíz, aumento en el diámetro de la zona radicular, y abundante formación de pelos radiculares. Referente al tratamiento 5 tradecorp Cu (Cu 14.5%), las raíces de las plantas obtenidas para esta aplicación, mostraron una menor longitud de raíz esto a consecuencia de que el cobre afecta de manera negativa en la diferenciación celular y presenta antagonismo con el hierro principalmente en suelos calizos (Espinoza, *et al.*, 2010), (Figura 7).



**Figura 7.** Longitud de raíz de la planta de lechuga (cm).

## V. CONCLUSIONES

La aplicación de Tradecorp Az jaguar (Fe 9%), favorece la síntesis de clorofilas en un 9% con respecto al testigo.

Fertilizaciones de Tradecorp zinc (Zn 14%) proporciona la asimilación de nitratos en el cultivo superando al testigo en un 58.5 %. De igual manera influyó en un aumento en rendimiento de lechuga con respecto al testigo hubo un incremento del 6%.

En la aplicación de tradecorp Fe (Fe 13.2%), favoreció el crecimiento de la zona radicular, y abundante formación de pelos radiculares en la planta de lechuga superando al testigo con un 15.5%. De igual manera influyo en un aumento en altura de planta con respecto al testigo hubo un incremento del 9%.

## VI. LITERATURA CITADA

- ASERCA, 2011. Lechuga. En claridades agropecuarias no. 69 SAGARPA, México
- Aguilera, S. M. L. Pino, U. C. Reyes, de la P. Caiozzi, M. 1992. Efecto de la materia orgánica en la disponibilidad del fósforo, hierro, cobre y cinc en suelo. *Agricultura técnica* (Chile) 52 (4): 422-425.
- Álvarez-Fernández, A. 2000. Calidad y eficacia de quelatos férricos (FeEDDHA, FeEDDHMA, FeEDDHSA y FeEDDCHA) como fertilizantes. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 5738-5844 pp.
- Álvarez-Fernández, A. Paniagua, P. Abadía, J. y Abadía, A. 2003. Effects of Fe deficiency chlorosis on yield and fruit quality in peach (*Prunus pérsica* L.). *J. Agric. Food. Chemi.* 51, 2003, pp. 5738-5844
- Alloway, B. 2008. Zinc in soils and crop nutrition (2nd Ed.). Brussels: International Zinc Association; Paris: International Fertilizer Industry Association.
- Assunção, A. G. Martin, P. De Foster, S. Vooijs, R. Schat H. Arts, M. G. M. 2001. Elevated expression of metal transporter genes in three accessions of the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant, Cell and Environment* 24: 217-226.
- Baardseth, P. and Von Helve, J. 1989. Effect of ethylene, free fatty acid and some enzyme systems on chlorophyll degradation. *Journal of Food Science Nutrition.* 54:1361-1363.
- Bernal, M. García, R. Soto, Z. 2008. Sistemas de producción mixta hortícola acuícola. Facultad de ingeniería. Universidad de Querétaro. México. 117 (3), pp. 241-248.
- Bennett, W. 2000. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS press. St. Paul. Minnesota, USA: 202 pp.
- Blom-zandstra, M. 1989. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Annals of Applied Biology* 115: 553-561.
- Broadley, M. R. White, P. J. Hammond, J. P. Zelko, L. Lux, A. 2007. Zinc in plants. *New Phytology* 173(4): 677-702.
- Brun, L. A. Mallet, J. Humdinger, P. Pepin, M. 2001. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils. *Environmental Pollution* 111, 293-302.

- Calderón, S. F. 1994. Diagnóstico foliar. Fundamento y empleo en algunos cultivos. En: Mojica, S. (ed.) *Fertilidad de suelos y diagnóstico de control*. Bogotá: Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. pp. 305-324.
- Carranza, C. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Cultivada en suelo salino de sabana Bogotá. *De suelos, diagnóstico y control*. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. pp. 305-324.
- Cadahia, C. 2005. Fertirrigación/cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, ediciones. Mundiales-prensa, España, 2005. Pp. 33-46.
- Chaney, R. L. 1993. Zinc phytotoxicity. P. 135-150. In zinc in soils and plants. 51:5391-5399
- Clemens, S. Manceau, A. 2006. Trichomes of tobacco excrete zinc as zinc-substituted calcium carbonate and other zinc-containing compounds. *Plants Physiology* 141: 1021-1034.
- Enciclopedia práctica de la agricultura y ganadería. 2000. Océanos Grupo. Editorial S. A. Barcelona-España. Pág. 147-164.
- Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Sinauer Associates, Inc. p 59-60.
- Escalona, A. Santana, M. Acevedo, L. Rodríguez, V. y Marco, M. 2009. Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas SPAD en el cultivo de lechuga. *Revista. Agronomía tropical* 1(59) 99-105.
- Espinoza, G. R. 2010. El uso de microelementos en la producción de tomates. Simposio Nacional de Horticultura. Producción de tomate en el norte de México. 100-115.
- Fodor, F. Gaspar, L. Morales, F. Gogorcena, Y. Lucena, J. J. Ches, E. Kröpfl, K. Abadía, J. Sárvari, E. 2005. Effects of two iron sources on iron and cadmium allocation in poplar (*Populus Alba*) plants exposed to cadmium. *Tree Physiology* 25: 1173-1180.
- García-Marco, P. A. 2006. La lechuga cultivo y comercialización. 2 ed. Barcelona, España. Oikos-Tav Ediciones. 147-165 pp.
- Giaconi, V. 1995. Cultivo de las hortalizas. Undécima edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 337p.

- González, G. Abderramán, O. Alfredo, L. Manuel, J. 2004. Evaluación de paclobutrazol, ethephon y nitrato de potasio como estimulante de la inducción floral en mango *Mangifera Indica* L. variedad Tommy Atkins en Retalhuleu. 122:337-344 pp.
- Grotz, N. Guerinot, M. L. 2006. Molecular aspects of Cu, Fe, and Zn homeostasis in plants. *Biochemical and Biophysical Act.* 1763: 595-608.
- Heaton, J. Marangoni, A. 1996. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plants tissues. *Trends in food science and technology.* 7; 8-15.
- Hill, Y. 2003. Separating limiting from non-limiting nutrients. *J. plants nutr.* 109: 1381-1390 pp.
- Hehrs, H.A. Jones, B. J. 1992. *Plants analysis. Handbook II.* Micro macro publishing, Inc. Athens, Georgia 30607 USA.
- Honorato, R. H. Silva, 1999. Evaluación de la contaminación del suelo y plantas por el cobre. *Aconex* 62:5-9
- Hunter, J. C. and O. Vergnano. 1953. Trace element toxicities in oat plants. *Ann. Appl. Biol.* 40:761-777
- Internet 1. [http://www.lechugas\\_magpdf2002\\_30/01/](http://www.lechugas_magpdf2002_30/01/) 2013.
- Internet 2. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=347](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=347). 19/01/2013
- Internet 3. <http://www.ecocaja.com/blog/2010/05/17/12/1201:15> a.m.
- Internet 4. [www.uam.es/docencia/museovir/web\(05/02/2013\)19:48pm](http://www.uam.es/docencia/museovir/web(05/02/2013)19:48pm).
- Internet 5. <http://www.acerca.gob.mx/subhomes/sobreAserca.asp>. (06/02/2013) 11:39 pm.
- Internet 6. <http://agricultoresagrupados.com/productos/verduras-y-hortalizas/19/02/2013>
- Internet 7. [http://www.tradecorp.com.es/\\_es/internet/products/product.asp?id\\_product=15](http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_product=15) (04/02/2013) 10:36 am.
- Internet 8. [http://www.tradecorp.com.es/\\_es/internet/products/product.asp?id\\_product=15](http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_product=15) (04/02/2013) 11:40 am.
- Internet 9. [http://www.tradecorp.com.es/es/internet/products/product.asp?id\\_product=9](http://www.tradecorp.com.es/es/internet/products/product.asp?id_product=9) (04/02/2013) 14:58 pm.
- Internet 10. <http://www.tradecorp.com.es/> (04/02/2013) 12:25 pm.
- Internet 11. [http://www.tradecorp.com.es/es/internet/products/product.asp?id\\_product=45](http://www.tradecorp.com.es/es/internet/products/product.asp?id_product=45) (04/02/2013) 15:13 pm.
- Internet 12. <http://www.infoagro.com/hortalizas/2.htm> 16/01/2013

- Internet 13. <http://www.oremor.com/medidor-de-nitratos-cardy-b343.html> 19/02/2012
- Jiménez, S. Morales, F. Abadía, A. Abadía, J. Moreno, M. A. Gojorcena, Y. 2009. Elemental 2-d mapping and changes in leaf iron and chlorophyll in response to iron re-supply in iron-deficient. GF. 677 Peach-almond hybrids. *Plant and soil* 315:93-106 pp.
- Kabata-Pendias, A. Pendias, H. 2000. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, NY: CRC Press.
- King, V.A.E.Luis, y J. 2001. Chlorophyll II stability in spinach dehydrated by freeze-drying and controlled low temperature vacuum dehydration. *Food research International*, 34; 167-175.
- Keinik, H. 1987. Pflanzenökologie und mineralstoffWechsler. UlmerStoff art. p. 5534
- Lambert, M. J. Turner, J. Knott. M. 1997. Boro nutrition of radiate pine plantations in Australia. In: bell. R. W. y B. Reckasem, (Eds.). Boro in soils and plants. Paicesbajos, Kluwer academic publishers. pp. 83-88.
- Larbi, A. Morales, F. Abadía, A. Gojorcena, Y. Lucena, J. J. Abadía, J. 2002. Effects of Cd and Pb in sugar beet plants grown in nutrient solution: Induced Fe deficiency and growth inhibition. *Functional Plant Biology* 29: 1453-1464.
- Ling, H. Pinch, A. Acholz, M. W. Ganai, J. 1996. Genetic analysis of two tomato mutants affected in the regulation of iron metabolism. *Mol. Gen. Genet.* 252:87-92 pp.
- López, C. C. 2005. Fertilización Cultivos Hortícolas, Frutales y ornamentales. Paracuellos de Jarama (Madrid): Aedos. S.A. oikos-tav ediciones. 147-165 pp.
- Loue, A. 1998. Los microelementos en agricultura. Mundi-prensa, Madrás. *Genet.* 252:87-92 pp.
- Lopez-Millan, A. F. Morales, F. Abadía, A. Abadía, J. J. 2001. Iron deficiency-associated changes in the composition of the leaf apoplastic fluid from field-grown pear (*Pyrus Communis* L.) *J. Exp. Biot.* 52:1489-1498.
- Lucena, J. J. 2003. Quelatos de hierro conteniendo EDDHA. Estudios sobre su eficiencia. *Phytoma*, 163:-32 pp.
- Martínez, G.F. 1995. Elementos de la fisiología vegetal. España: Artes gráficas - Ediciones Mundi-Prensa. *Academy of Science* 11-22 pp.

- Marangoni, k.1996. Keneting model for chlorophy degradation in Green tissue. 2. Pheophor biodegradation to colorless compounds. *Journal of agriculture and food chemistry* 44:3735-3740.
- Marchner,H. 1995. Mineral nutrition of higher plants San Diego,Editorial Academic press. 889 p.
- Maroto, J. V. 1989. Horticultura herbácea especial. 3 ed. Editorial mundi-prensa. España. 255-279 pp.
- Mengel, K. Kirkby, E. A. 1982. Principals of plant nutrition. 3 ed. Berna, International potash Institute. 655 pp.
- Mills, H. A. Jones, B. J. 1996. Plant analysis. Handbook II. Micro Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia 30607 USA.
- Ministry of Agriculture, food and fisheries maff. 1999. Nitrate in lettuce and spinach. Food surveillance information sheet 177, 11.
- Morales, F. Grass, R. Abadía, A. Abadía, J. 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees. *Journal of Plant Nutrition* 21: 518-825 pp.
- Moreau, S. Rowena, M. Thomson,R. M. Brent, N. Kaiser,B. N. Trevaskis, B. Guerinot, M. L. Udvardi, M. K. Puppo, A. Day, D. A. 2002. GmZIP1 encodes a symbiosis-specific zinc transporter in soybean. *Journal of Biological Chemistry* 277: 4738-4746.
- Nowack, B. 2002.Environmental chemistry of aminopolycarboxylate chelating agents, *Environs technol.* 36, pp 4009-4016.
- Palmgren, M. G.Clemens, S. Williams, L.E.Kramer, U. Borg, S. Schjørring, J. K. Sanders, D. 2008. Zinc bio fortification of cereals: Problems and solutions. *Trends in Plant Science* 13: 464-473.
- Piaggese, D. A. 2004. Microelementos en la nutrición vegetal. Lanciano Italia: meta srl, corso Trento 28-35 pp.
- Pence, N. S. Larsen, P. B. Ebbs, S. D.Lethem, D. L. D.Last, M. M. Garvin, D. F. Aide, D. Kochian,L. V. 2000. The molecular physiology of heavy metal transport in the Zn/Cd hyper accumulator. *Thlaspi caerulescens*. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 97: 4956-4960.

- Ramesh, S. A. Shin, R. Aide, D. J. Schachtman, D. P. 2003. Differential metal selectivity and gene expression of two zinc transporters from rice. *Plant Physiology* 133: 126-134.
- Rincon, D. Martin-Diana, A.B. Barat, J.M. and Barry-Ryan, C. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in food science and technology*, 18:373-386.
- Rivera, M. 1987. Producción de hortalizas en relación a la fertilidad del suelo en el área de chambo. Tesis Ing. Agr. Riobamba, ESPOCH, FÍA. p 13.
- Rivero, E. Cruzate, G. A. y Turati, R. 2006. Azufre, Boro y Zinc: mapas de disponibilidad y reposición en suelos de la región Pampeana. *Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. 97: 4956-4960.
- Raven, J.A. Evans, M. C. y R. E. Corp. 1999. The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O<sub>2</sub> evolving organisms. *Photosynthesis Research* 60: 111-149.
- Rodríguez, F. Esch, J.J. Hall, A.E. Binder, B.M. Schaller, G.E. y A. Becker, 1999. Copper cofactor for the ethylene receptor ETR1 from *Arabidopsis* *Science* 283: 996-998.
- Rodríguez, G. P. Marchante, J. M. García, J. L. Sanz, M. A. 2005. Isotope dilution analysis for elemental speciation: a tutorial review. *Spectrochemical Acta Part B-Atomic Spectroscopy* 60:151-207 pp.
- Rodríguez, S. Pinochet, T. Matus. B. 2001. Fertilización de los cultivos. Santiago, LOM Ediciones. 117 p.
- Rincón, L. 2001. Necesidades hídricas y absorción de nutrientes y respuestas a la fertilización nitrogenada de la lechuga iceberg. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Romheld, V. 1991. The role of phytosiderophores in acquisition of iron and other micronutrients in graminaceous species: an ecological approach. *Plant Soil* 130:127-134 pp.
- Salisbury, F. y R. Cleon, 1991. *Plant Physiology*. Third edition. John Wiley and Sons. New York NY. 656 pp.
- Sarret, G. Harada, E. Choi, Y. E. Isaure, M. P. Geoffrey, N. Fakra, S. Marcus, M. A. Birschwilks, M. Clemens, S. Manceau, A. 2006. Trichomes of tobacco excrete

- zinc as zinc-substituted calcium carbonate and other zinc-containing compounds. *Plant Physiology* 141: 1021-1034.
- Suquilanda, M. 2003. Producción orgánica de cinco hortalizas en la sierra centro norte del Ecuador. Editorial. Universidad central. Quito-Ecuador. 147 164pp.
- Schmidt, W. 2006. Iron stress responses in roots of strategy I plants. In iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms. (L. L. Barton, J. Abadia (eds)). Springer. ISBN-101-4020-4727-8 (HB). netherlands. 229-250
- Terry, N. Zayed, A. M. 1995. Physiology and biochemistry of leaves under iron deficiency. In iron Nutrition in Soils and Plants. (J. abadia Ed). Kluwer Academic Publisher. Dordrecht. ISBN: 0-7923-2900-7: 283-294.
- Tirador, M. 2011. Características del contenido de nitratos y la composición nutricional en Zanahoria (*Dacus Carota* L.) cultivada con diferentes dosis de fertilización NP. *Trends in food science y technology*, 18:373-386
- Valdez, L. A. 1990. Producción de hortalizas. 1 Reimpresión, Editorial Limusa.128-134 pp.
- Van Assche, F.Culemans, R. Clysters, H. 1980. Zinc mediated effects on leaf CO<sub>2</sub> diffusion conductance and net photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* L. *Photosynthesis Research* 1: 171-180.
- Webb, J.M. 1994. Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere. pp. 183-199. En: A.J. Manthey, E.D. Crowley,G.D. Luster (Eds.). Recent aspects of Mn and Zn absorption and translocation in cereals. CRC Pres, Boca Ratón, FL.

## VII. APÉNDICE

**Tabla 3.** Análisis de varianza de Clorofilas en el cultivo de la lechuga (SPAD)

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Tratamientos	5	198.46	39.69	8.39	0.0024
Repeticiones	2	23.61	11.80	2.50	0.1321
Error	10	47.31	4.73		
Total	17	269.38			

Media 45.45

CV. 4.78

**Tabla 4.** Análisis de varianza de nitratos en el cultivo de la lechuga ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	2266511.11	453302.22	4.59	0.019
Repetición	2	233911.11	116955.55	1.18	0.345
Error	10	987688.88	987688.88		
Total	17	3488111.11			

Media 1447.77

CV. 21.70

**Tabla 5.** Análisis de varianza de peso fresco total de la planta en el cultivo de la lechuga (kg)

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	0.17	0.03	0.66	0.66
Repetición	2	0.05	0.02	0.50	0.62
Error	10	0.54	0.05		
Total	17	0.77			

Media 1.31

CV. 17.73

**Tabla 6.** Análisis de varianza de diámetro del tallo en el cultivo de la lechuga (mm)

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	75.01	15.003	1.44	0.29
Repetición	2	41.47	20.73	1.99	0.18
Error	10	104.40	104.40		
Total	17	220.89			

Media 39.63

CV. 8.15

**Tabla 7.** Análisis de varianza de altura de la planta en el cultivo de la lechuga (cm)

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	20.94	4.18	0.61	0.69
Repetición	2	3.36	1.68	0.25	0.78
Error	10	68.47	6.84		
Total	17	92.77			

Media 29.38

CV. 8.90

**Tabla 8.** Análisis de varianza de número de hojas en el cultivo de la lechuga (unidades)

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	29.77	5.95	0.83	0.55
Repetición	2	11.44	5.72	0.80	0.47
Error	10	71.88	7.18		
Total	17	113.11			

Media 52.22

CV. 5.13

**Tabla 9.** Análisis de varianza de longitud de la raíz en el cultivo de la lechuga (cm)

Fuente	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	5	126.44	25.28	1.27	0.34
Repetición	2	160.87	80.43	4.03	0.05
Error	10	199.42	19.94		
Total	17	486.73			

---

Media 26.78

CV. 16.66

### 7.1. Pruebas de comparación de medias entre tratamientos (Tukey ( $\alpha=0.05$ ))

**Tabla 10.** Comparación de medias mediante la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable clorofilas en plantas de lechuga

Tukey agrupamiento	Promedio (SPAD)	T
BA	46.13	1
AB	47.16	2
A	50.56	3
BC	39.38	4
ABC	45.76	5
BC	43.23	6

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Tabla 11.** Comparación de medias mediante la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable nitratos en plantas de lechuga

Tukey agrupamiento	Promedio ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	T
B	786.7	1
AB	1286.7	2
AB	1600	3
AB	1413.7	4
A	1700	5
A	1900	6

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Tabla 12.** Comparación de medias mediante la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable peso fresco total de la planta en plantas de lechuga

Tukey agrupamiento	Promedio (kg)	T
A	1.2167	1
A	1.3667	2
A	1.1433	3
A	1.3700	4
A	1.3400	5
A	1.4333	6

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Tabla 13.** Comparación de medias mediante la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable diámetro del tallo en plantas de lechuga

Tukey agrupamiento	Promedio (mm)	T
A	36.64	1
A	42.570	2
A	38.923	3
A	40.25	4
A	37.893	5
A	41.507	6

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Tabla 14.** Comparación de medias mediante la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable altura de la planta de lechuga

Tukey agrupamiento	Promedios (cm)	T
A	28.00	1
A	28.667	2
A	29.00	3
A	31.00	4
A	29.	5
A	30.667	6

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Tabla 15.** Comparación de medias mediante la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable número de hojas en plantas de lechuga

Tukey agrupamiento	Promedios (Unidades)	T
A	51.00	1
A	54.00	2
A	51.00	3
A	52.667	4
A	51.00	5
A	53.667	6

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Tabla 16.** Comparación de medias mediante la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de la variable longitud de la raíz en plantas de lechuga

Tukey agrupamiento	Promedios (cm)	T
A	24.733	1
A	25.500	2
A	28.667	3
A	29.833	4
A	22.667	5
A	29.333	6

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.