

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



**Producción y Productividad de Lechuga Mediante la Adición de Agentes
Quelantes de EDTA y EDDHA Comerciales**

Por:

JOSÉ AGUSTÍN RAMÍREZ ZAMUDIO

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero del 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

**Producción y Productividad de Lechuga Mediante la Adición de Agentes
Quelantes de EDTA y EDDHA Comerciales**

Por:

JOSÉ AGUSTÍN RAMÍREZ ZAMUDIO

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada

Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Asesor Principal

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coasesor

Dra. Hortensia Ortega Ortiz
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Febrero del 2013

AGRADECIMIENTOS

A **Dios, a San Judas Tadeo y a la Virgen de Guadalupe**, por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida en compañía de mi familia como lo es terminar una carrera profesional y ser una mejor persona en la vida.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios profesionales en el ámbito agrícola para mi beneficio y el de la sociedad y cumplir uno de mis sueños en la vida que es ser Ing. Agrónomo en Horticultura.

Al **Departamento de Horticultura y sus profesores** que me brindaron sus conocimientos para formarme como un profesionista comprometido con la sociedad.

Al **Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente**, por darme la oportunidad de realizar tesis y por brindarme su apoyo incondicional para la realización de este trabajo, un eterno agradecimiento por su paciencia y apoyo incondicional, como en el estudio de este trabajo y como un buen amigo.

A la **Dra. Hortensia Ortega Ortiz**, por su disponibilidad y valiosa colaboración para el término de este estudio.

Al **Dr. Alberto Sandoval Rangel**, por su valiosa e importante colaboración y apoyo brindado como profesor y ahora como coasesor del presente estudio.

A mis amigos de generación **José Miguel G. J (Marlvorin), Evaristo C. B. (Varo), Gerardo S. Ch (Parras), Deysi V. L (Dey), Claudio I. B.J (Morelos), Fidel S. C (Fide), Martin T. P (Tucuch), Claudia B. B (Clau), Ariel R. A (Foca), Carlos R. S (Carlos) y todos mis compañeros** de generación por haberme brindado su apoyo y amistad en toda la carrera.

A mis amigos **Julio Manzano, Miguel Manzano, Erick Rodríguez y Juan Pablo Vargas**, por el apoyo incondicional en el establecimiento del experimento y su amistad brindada.

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado con todo mi cariño y amor a mis padres **Marina Zamudio Alvarado y Cayetano Ramírez Hernández** por todo su apoyo y amor que me han brindado para terminar esta etapa tan importante en mi vida que es tener una carrera profesional, estoy y estaré eternamente agradecido por la oportunidad que me brindaron para concluir con este proyecto de vida y por todos los valores inculcados para superarse y ser mejor persona cada día.

A mis **Hermanos, Ismael Ramírez Zamudio, Guadalupe Ramírez Zamudio, Verónica Ramírez Zamudio, Fabiola Ramírez Zamudio, Marina Ramírez Zamudio, Leonardo Ramírez Zamudio, Ernesto Ramírez Zamudio**, por el apoyo que me brindaron para concluir con mis estudios. Y por los valores que me han enseñado a lo largo de la vida que no ha sido fácil. En especial a mi hermano **Leonardo Ramírez Zamudio** que más que un hermano es mi mejor amigo, gracias Lony por el apoyo y motivación para no rendirse nunca (Puro Pa Delante que No). Y a ustedes **Vero, Mayi, Neto** que siempre estuvieron dándome motivación para concluir con mis estudios profesionales y apoyo a mis papas, y dando la alegría a la casa.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en los meses de agosto a noviembre del 2011, en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Saltillo, Coahuila, México. Con el objetivo de determinar la producción y productividad del cultivo de lechuga, mediante la adición de Tradecorp AZ, Tradecorp AZ Jaguar, Tradecorp Fe, Tradecorp Cu y Tradecorp Zn, todos ellos fertilizantes quelados elaborados por la empresa Tradecorp, al ser aplicados vía suelo durante el ciclo productivo. Los tratamientos aplicados fueron 1) EDTA, Tradecorp AZ a una dosis de $0.5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 2) EDDHA, Tradecorp AZ Jaguar a $0.5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 3) EDTA, Tradecorp Fe a $0.8 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 4) EDTA, Tradecorp Cu $0.5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 5) EDTA, Tradecorp Zn a $0.6 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ y 6) correspondiente al tratamiento testigo. La aplicación de los tratamientos se realizó al suelo a los 15 días después del trasplante y se repitió cada 15 días, realizando un total de 4 aplicaciones. Las variables evaluadas fueron, contenido de clorofilas y nitratos, diámetro basal de tallo, peso fresco total de planta y peso fresco de “la bola”, longitud de raíz y producción de biomasa. Los resultados obtenidos al adicionar el quelato Tradecorp Fe con el agente quelante EDTA favorece la síntesis clorofila y crecimiento de raíces. El producto Tradecorp AZ Jaguar quelado con EDDHA aumentó la acumulación de nitratos y el Tradecorp Cobre EDTA, incremento la compactación de cabezas y rendimiento.

Palabras clave: Lechuga, Productividad, Quelato, Agente quelante.

ÍNDICE DE CUADROS DE APÉNDICE

Tabla 1. Tratamientos estudiados en el experimento.....	28
Tabla 2. Coantidad de clorofila de plantas de lechuga.....	50
Tabla 3. Contenido de Nitratos de plantas de lechuga.....	50
Tabla 4. Peso de órgano de interés comercial de las plantas de lechuga.	51
Tabla 5. Diámetro basal del tallo de las plantas de lechuga.	51
Tabla 6. Diámetro basal del de Tallo de las plantas de lechuga.....	52
Tabla 7. Longitud de Raíz de las plantas de lechuga.....	52
Tabla 8. Biomasa total de las plantas de lechuga.	53
Tabla 9. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable cantidad de clorofila de las plantas de lechuga.....	54
Tabla 10. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Cantidad de Nitratos de las plantas de lechuga	54
Tabla 11. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Peso de Cabeza de las plantas de lechuga.....	55
Tabla 12. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Diámetro basal de tallo de las plantas de lechuga.....	55
Tabla 13. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Diámetro basal tallo de las plantas de lechuga.....	56
Tabla 14. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Longitud de Raíz de las plantas de lechuga.....	56
Tabla 15. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Peso Fresco Total de Planta de lechuga.	57
Tabla 16. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable biomasa total de las plantas de lechuga.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del agente quelante EDTA.....	25
Figura 2. Estructura química del agente quelante EDDHA.....	26
Figura 3. Contenido de clorofila en hojas de lechuga (Unidades Spad)	34
Figura 4. Contenido de Nitratos ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en hojas de lechuga Iceberg.....	35
Figura 5. Diámetro basal de tallo de plantas de lechuga (mm).	36
Figura 6. Peso fresco total de plantas de lechuga (kg^{-1}) tratadas con diferentes fuentes de fertilizantes quelantes.	37
Figura 7. Peso fresco de organo de interes comercial (kg^{-1}) tratadas con diferentes fuentes de fertilizantes quelantes.	38
Figura 8. Longitud de raíz de plantas de lechuga (cm) tratadas con los diferentes fertilizantes quelantes.	39
Figura 9. Cantidad de biomasa (peso seco) de plantas de lechuga (g) tratadas con los diferentes fertilizantes quelantes.....	40

Contenido

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIAS	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE DE CUADROS DE APÉNDICE	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.2 HIPÓTESIS	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades de la lechuga	3
2.1.1 Origen	3
2.1.2 Clasificación Taxonómica	3
2.1.3 Descripción del Cultivo	3
2.1.4 Requerimientos edafológicos	4
2.2 Importancia de la lechuga	5
2.3 Manejo del cultivo	6
2.3.1 Concentración mineral de las plantas	6
2.4 Definición y clasificación de quelatos	7
2.5 Uso de fertilizantes quelantes en los cultivos	9
2.6 Formas de absorción de nutrientes por las plantas	11
2.7 Formas de absorción y asimilación de microelementos	12
2.7.1. Hierro (Fe)	12
2.7.1.1. Formas de absorción del hierro por las plantas ..	13
2.7.1.2. Funciones del hierro en las plantas	14

2.7.1.3.	Toxicidad del hierro en las plantas.....	14
2.7.1.4.	Sintomas de deficiencias	14
2.7.1.5.	Antagonismo y sinergismo del hierro	15
2.7.2	Zinc (Zn)	15
2.7.2.1	Formas de absorción del zinc por la planta	16
2.7.2.2	Funciones del zinc en la planta	16
2.7.2.3	Síntomas de deficiencias de zinc en las plantas	16
2.7.2.4	Toxicidad de zinc	17
2.7.2.5	Antagonismo y sinergismo del zinc	17
2.7.3.	Cobre (Cu).....	18
2.7.3.1.	Formas de absorción del cobre	18
2.7.3.2.	Funciones del cobre en las plantas.....	19
2.7.3.3.	Síntomas de deficiencia y exceso de cobre	19
2.7.3.4.	Antagonismo y sinergismo del cobre	20
2.7.4.	Acumulación de nitratos en la lechuga.....	20
2.7.5.	Factores influyentes en la absorción de nitratos en la lechuga	21
2.7.5.1.	Ambientales.....	21
2.7.5.2.	Fertilización de nitrógeno.....	22
2.7.5.3.	Características genéticas	22
2.7.6.	Efecto de los nitratos en la lechuga	23
2.7.7.	Agentes quelantes de EDTA y EDDHA.....	23
2.7.7.1	Agente quelante EDTA.....	24
2.7.7.2	Agente quelante EDDHA.....	25
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1	Localización del experimento	27
3.2	Material vegetativo	27
3.3	Siembra	27
3.4	Establecimiento del experimento.....	27
3.4.1	Preparación del terreno	27
3.4.2	Trasplante	28

3.4.3	Descripción de los tratamientos	28
3.4.4	Aplicación de los tratamientos.....	28
3.4.5	Descripción de los tratamientos estudiados	29
3.5	Manejo de la planta	30
3.5.1	Riego	30
3.5.2	Programa de nutrición	30
3.5.3	Cosecha	31
3.6	Diseño experimental	31
3.6.1	Variables evaluadas	31
3.6.1.1	Clorofila	31
3.6.1.2	Nitratos	32
3.6.1.3	Diámetro basal de tallo.....	32
3.6.1.4	Peso fresco total de planta.....	32
3.6.1.5	Peso fresco de órgano de interés comercial	32
3.6.1.6	Longitud de la raíz	32
3.6.1.7	Producción de biomasa total.....	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1	Contenido de clorofila	34
4.2	Contenido de nitratos	35
4.3	Diámetro basal de tallo	36
4.4	Peso fresco total de planta	37
4.5	Peso fresco del órgano de interés comercial	38
4.6	Longitud de la raíz.....	39
4.7	Producción de biomasa total	40
V.	CONCLUSIONES.....	41
VI.	LITERATURA CITADA.....	42
VII.	APÉNDICE	50

I. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa*) 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 las hortalizas se caracteriza por una concentración en pocas regiones, esto es debido 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 productores (Matoro, 1989). La principal problemática es el bajo rendimiento debido a la poca o deficiente fertilización. Las principales experiencias en campo son la base 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. Donde la fertilización química proporciona a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas, para incrementar los rendimientos de los cultivos, con una aplicación racional de macroelementos y microelementos de lo contrario se presenta un desequilibrio nutricional y puede crear o amplificar un fenómeno de antagonismo entre diversos elementos nutritivos presente en el suelo (Piaggese, 2004). Los altos rendimientos y la calidad de los cultivos resulta principalmente de un balance nutricional de micronutrientes. Debido a sus 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 bajas de producción y calidad muy considerable (Ronen, 2008). A lo largo del tiempo se ha demostrado que el uso de fertilizantes quelantes son la mejor solución para corregir deficiencias ya que su eficacia es directamente proporcional a su capacidad para mantener los nutrientes minerales disponibles.

1.1. Objetivo general

Evaluar diferentes fertilizantes quelantes aplicados al suelo en la producción y productividad de lechuga.

1.1.1. Objetivos específicos

Determinar el fertilizante quelante que influye de manera positiva en la producción y productividad de lechuga.

Identificar el fertilizante que propicia mejores resultados en cuanto al contenido de clorofilas.

Cuantificar el contenido de nitratos en el tejido en base a los diferentes fertilizantes aplicados.

1.2. Hipótesis

Las plantas de lechuga mostraran un comportamiento diferente en base a la aplicación de fertilizantes quelantes.

1.3 Justificación

Se plantea el uso de fertilizantes en forma de quelatos de EDDHA y EDTA para contribuir con el mejoramiento de la calidad y producción de la lechuga.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la lechuga

2.1.1. Origen

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque el botánico Vavilov mencionaba que el origen de la lechuga se situaba en el cercano oriente. Hoy en día no existe un acuerdo al respecto del origen debido a la aparición de un segundo antecesor de la lechuga *Lactucas cariola* L. que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas (Mills, 1996), siendo las variedades actualmente cultivadas y resultado de la hibridación entre distintas especies.

Se dice que la lechuga es una especie nativa de Asia, Europa y el Norte de África por ser desarrollada de la *Lactuca serriola*, aunque la lechuga ya era conocida por los primeros griegos y romanos (Edmond, 2009).

Valadez (1990), afirma que la lechuga procede de la especie silvestre *Lactuca serriola* la cual se consideraba como una maleza en los cultivos, y es difundida ampliamente en el centro y sur de Europa, así como la región sur de Rusia.

2.1.2. Clasificación taxonómica

La lechuga es una planta anual y autógama, perteneciente a la familia *Compositae* y genero *Lactuca*; este género incluye aproximadamente 1000 especies. Cuyo nombre botánico es (*Lactuca sativa* L) (Valadez, 1990).

2.1.3. Descripción del cultivo

La lechuga es una planta herbácea, tiene un sistema radicular profundo y poco ramificado, sus hojas se disponen primeramente en una roseta y luego formando un cogollo en el caso de las tipo iceberg y romanas, aunque en estas últimas son menos consistentes que las tipo bola o iceberg (Maroto 1992).

Las principales raíces de absorción se encuentran a una profundidad de 5-30cm, la raíz principal puede llegar a crecer hasta 1.8 m de profundidad, característica que tiene para resistir la sequia (Valadez, 1990).

Las hojas son lisas sin peciolo (sésiles); el extremo puede ser redondeado o rizado según la variedad. Su color puede llegar de verde amarillo hasta morado claro, dependiendo del tipo y variedad, el limbo es entero y dentado, el tallo es pequeño y nace ramifica (Valadez, 1990).

El tallo es cilíndrico y ramificado, de consistencia herbácea, alcanzando una longitud entre 10-15 cm⁻¹, debido a que en las primeras etapas, el tallo no crece mucho, la lechuga adquiere la pelicular forma arrosetada (Salazar, 2011).

En cuanto a sus semillas son de forma alargada, de color blanco y en algunas variedades desde pardo claro hasta castaño oscuro, comúnmente duran de 12-15 días después de la floración (Pérez, 1997).

2.1.4. Requerimientos edafológicos

La lechuga se cultiva en una amplia variación de tipos de suelo, los óptimos para su desarrollo le favorecen sobre todo suelos francos y que no retengan humedad excesivamente, y con alto contenido de materia orgánica (Maroto, 1992).

La adaptación de este cultivo a diferentes tipos de suelo es muy amplia, reportándose desde arenosos hasta arcillosos, contemplando también los orgánicos; sin embargo, Thompson y Kelly, (1959) hacen mención que el mejor desarrollo se obtiene sobre suelos franco-arenosos con suficiente contenido de materia orgánica y buen drenaje (Valdez, 1990).

En cuanto al pH, McCollum, (1980) recomienda un pH de 5.2 a 5.8 en suelos orgánicos y de 5.5 a 6.7 en suelos de origen mineral. El cultivo de la lechuga le afecta su desarrollo en suelos minerales muy ácidos, recomienda que si el pH es menos que 6 hay que aplicar cal sin llegar al punto de neutralidad, por lo que entonces el calcio desplaza al magnesio o al hierro, dando lugar a una clorosis.

Sin embargo con un pH de 5, el rendimiento alcanza solo el 36% del correspondiente a un pH de 7. Valores de 6.8 y 7.4 son el pH óptimo, es conveniente analizar el pH del suelo, para tomar una decisión como fundamento sobre la conveniencia de proceder a un encalado o al empleo de abonos orgánicos (García, 1967).

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 tiene 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 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).

Durante los últimos años la producción de las hortalizas ha experimentado un significativo progreso en cuanto a rendimiento y calidad, dentro de lo ello la superficie cultivada de lechuga ha ido incrementándose especialmente en el cultivo de lechuga tipo iceberg, orejona y romana debido a la introducción de nuevos cultivares y el aumento en su consumo.

En el 2011 se reporta en México una superficie sembrada de 11, 564 ha⁻¹ en condiciones de riego repartidas en 22 estados de la República Mexicana, donde sobresalen los estados de Guanajuato con 3,646 ha⁻¹, Puebla con 2,286 ha⁻¹, Baja California con 1,945 ha⁻¹ y Zacatecas con 1,074 ha⁻¹ con un rendimiento promedio de 18.54 ton·ha⁻¹, y solo 200 ha⁻¹ en condiciones de temporal en los estados del centro del país como son el Estado de México y Michoacán con una superficie sembrada de 100 ha⁻¹, y rendimientos promedio de 13.3 ton·ha⁻¹. (SIAP, 2011).

2.3. Manejo nutricional del cultivo

El abuso y la mala utilización de los fertilizantes, así como de las prácticas agrícolas inadecuadas, pueden causar problemas de contaminación principalmente en las aguas, por el exceso en el contenido de nitratos en las mismas. Puede asegurarse, que una cuidadosa dosificación y programación de los elementos nutritivos evita y corrige estos problemas. Sin embargo, hay que hacer constar que las fuentes de contaminación de las aguas son diversas. También existen riesgos de contaminación en los productos con un contenido excesivo de metales pesados (plomo, cadmio, cromo, cobre, mercurio, etc.) que pueden proceder también de residuos urbanos o industriales, en el caso del cadmio de un contenido excesivo de los fosfatos, utilizados como materia prima en la producción de los fertilizantes fosfatados (Domínguez, 1990).

Resulta evidente que una utilización abusiva de los abonos nitrogenados puede ser una de las causas determinantes de la contaminación de las aguas subterráneas con nitratos. De hecho, la aplicación de nitrógeno o productos que se derivan de él, es muy móvil y por lo tanto, fácilmente lavado en el suelo, en cantidades muy superiores a los que los cultivos necesitan y el suelo puede retener, es una contribución clara a la contaminación, Gros y Domínguez (1992).

2.3.1. Concentración mineral de las plantas

El rango de suficiencia (RS) es uno de los métodos para establecer el estado nutricional de las plantas. La composición mineral de los distintos tejidos vegetales expresados como concentración, constituye el método más universalmente utilizado para diagnosticar el estado nutritivo de los cultivos, habiéndose recopilado en diversos tratados bibliográficos, si bien para su correcta interpretación es necesario disponer de valores de referencia (Bennet, 1996; Bould, *et al.* 1983). Estos se presentan en la bibliografía como nivel deficiente, suficiente, excesivo y tóxico (Hallmark, *et al.* 1987; Roorda, *et al.* 1981). El RS aplicado a la interpretación de los niveles deficiente, suficiente o excesivo, está sometido a un gran número de interacciones entre nutrientes y edad de la planta.

Estas interacciones dieron lugar al desarrollo del DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System), segundo método que utiliza relaciones entre nutrientes para interpretar el contenido de nutrientes en tejidos vegetales (Beaufields, 1973; Walwort y Summer, 1987).

Macronutrientes (%)	Rango deficiente	Rango medio	Rango tóxico
Nitrógeno (%)	<4.0	2.10-5.60	>6.0
Fósforo (%)	<0.58	0.40-0.93	>1.2
Potasio (%)	<3.91	3.91-9.77	>10.0
Calcio (%)	<0.8	0.88-2.00	>2.2
Magnesio (%)	<0.29	0.36-0.90	>0.93
Azufre (%)	<0.2	0.19-0.41	>0.5
Hierro (ppm)	< 60	56-558	>560
Manganeso (ppm)	<22	30-198	>197
Boro (ppm)	<22	22-65	>75
Cobre (ppm)	<2.5	5.-17	>22
Zinc (ppm)	<26	33-196	>392
Molibdeno (ppm)	<0.2	0.2-0.38	>0.45

Roorda van Eysinga, *et al.* (1981).

2.4. Definición y clasificación de quelatos

Según Bertsch, 1995; un quelato puede ser definido como un compuesto donde un nutriente metálico es ligado a un agente orgánico, que tiene la propiedad de estar disponible para la planta en condiciones adversas, en las cuales los nutrientes metálicos normalmente formarían compuestos insolubles.

Según su poder complejante, los agentes quelantes se clasifican en:

FUERTES: EDTA, HEEDTA, DPTA, EDDHA, NTA.

MEDIOS: Poliflavonoides, Sulfonatos, Ácidos Húmicos y Fulvicos, Aminoácidos, Ácido Glutámico, Polifosfatos.

Entre más fuerte sea un quelante, más estable es la unión, para que se pueda esperar mayor solubilidad del producto, más eficiencia de aplicación y mejor absorción a través de la cutícula.

Según su proceso de fabricación y estabilidad, los quelatos se pueden clasificar en cuatro categorías básicas (Barquero, 1999)

Quelatos Químicos Totales. El metal está 100% quelado y protegido contra reacciones adversas. Entre ellos están los quelantes en EDTA, DPTA y HEDTA. Cuando se observa la etiqueta, no contienen azufre (S). Son los quelatos más eficientes y estables. (Barquero, 1999)

Quelatos Débiles. En este caso el metal no está totalmente protegido contra reacciones adversas. Es decir, la mezcla se puede "cortar" fácilmente. Algunos ejemplos son: quelatos en NTA, HEIDA, Acido Cítrico.

Quelatos Parciales o Físicos. En este caso, el metal no está totalmente quelado. Prácticamente es una mezcla física de una sal inorgánica (por ejemplo sulfato) con un agente quelante como EDTA. En este caso el metal solo llega a quelarse entre un 10-50%. Se puede diferenciar de un quelato químico, porque en la etiqueta se puede observar que tiene contenido de azufre (S) proveniente de la sal inorgánica de sulfato (Guido, 2000).

Complejos Orgánicos. En este caso, el metal está atado a cadenas largas de aminoácidos, lignosulfonatos, poliflavonoides y ácidos fenólicos. Los complejos resultantes son tan grandes que difícilmente pueden ser absorbidos por los microporos de las paredes celulares de las hojas, por lo que su eficiencia se regula al desdoblamiento de los complejos, lo cual puede ser un impedimento para la absorción rápida. Además, la cantidad de microelementos suplido por esta vía puede ser muy baja (Bertsch, 1995).

2.5. Uso de fertilizantes quelantes en los cultivos

Cuando hablamos al comienzo de los quelatos, ya hacíamos referencia a los miles de millones que cada año son necesarios para invertir en la agricultura, para contrarrestar las deficiencias nutricionales. Generalmente a un agricultor que tenga que tratar con una deficiencia en su cultivo, la aplicación de quelatos le supone más de un 50% del costo total de fertilizante en un año (Gros, A. y Domínguez, V. A. 1992).

Los quelatos son considerados los más eficaces correctores de las diferentes deficiencias. Por lo tanto la incorporación de estos resulta particularmente muy interesante.

Brown en 1969 resumió las características que debe poseer un quelato para que su uso con fines agrícolas sea visible.

A lo largo del tiempo han demostrado los fertilizantes quelantes ser la mejor solución de la corrección de la deficiencia de los diferentes nutrientes (Lucena, 2003). Su eficacia 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. La diferencia entre la eficacia de los diferentes elementos nutricionales quelantes para corregir las deficiencias nutricionales que se presentan depende principalmente de:

- A. La estabilidad del quelato.
- B. La reactividad del quelato con los componentes del suelo.
- C. La capacidad de las plantas para tomar el elemento nutritivo aportado por el quelato.

Los agentes quelantes mas utilizados son los derivados de ácidos policarboxílicos: EDTA (Acido etilendiaminotetraacetico), DTPA (Acido etilentriaminopentaacetico), HEEDTA (Acido 2-hidroxi-etilendiaminotriacetico), EDDHA (Acido etilendiamino-di-(o-hidroxifenilaceido)), EDDMHA (Acido etilendiamino-di-(o-hidroxi-p-

metilfenilaceido)), EDDCHA (Ácido etilendiamino-di (2-hidroxi-4-carboxifenilacetico) (Lucena, 2003).

Debido a que los quelatos con características de EDTA y HEDTA solo son estables en condiciones acidas, DTPA es tanto estable como en condiciones acidas como neutras, y que EDDHA y EDDHMA, son estables en condiciones acidas, neutras y alcalinas (Wreesman y Bugter, 1998).

Debido a que los quelatos de EDDHA y EDDHMA son los que mejor constante de estabilidad presentan (Lindsay y Schawap, 1982; Ahrland *et al.*, 1990), hace que los quelatos para suelos alcalinos, que presentan mejor desempeño para aportar los nutrientes a los cultivos sean de tipo EDDHA y EDDHMA.

Por lo tanto, aunque el mecanismo de toma de estos quelatos no se conoce todavía con certeza, existen numerosas hipótesis. La primera de ellas considera que los protones liberados por las raíces de las plantas sometidas a estrés, serian las responsables de la ruptura del quelato. Una vez libre el elemento, seria reducido por los reductores del medio que supuestamente han sido excretados por las raíces de esta manera el quelante queda en el medio radicular (Jordá, 1990).

La segunda hipótesis afirma que el quelante se enlaza primero a un centro activo sobre o en el interior de la raíz, probablemente una membrana. El elemento mineral es entonces reducido por vía enzimática. El quelato se rompe y el elemento mineral es transportado a través de las membranas, mientras el agente quelante queda en el interior. En ocasiones este también es absorbido (Jordán, 1990). En el mecanismo propuesto por Lindsay *et al.* (1982), el elemento mineral es reducido por la raíz, esto mediante la acción de una enzima de la Turbo-quelato-reductasa. El aceptor de electrones de esta enzima es el agente quelante y no el elemento como se encuentra en el suelo (Moog *et al.*, 1994). Esta reducción produce una desestabilización del quelato que da lugar a una disociación, liberándose por una parte el agente quelante y por la otra el elemento mineral disponible para ser absorbido por la raíz.

Aunque la utilización de los quelatos sintéticos en la agricultura tiene como principal objetivo la corrección y la prevención de las deficiencias nutricionales en suelos, también son utilizados como fuente en fertirrigación e hidroponía, ya que al igual que en la disolución del suelo, en las disoluciones nutritivas empleadas es imprescindible que el elemento se mantenga soluble, y la forma más eficaz de hacerlo es aplicarlo en forma de quelatos.

2.6. Formas de absorción de nutrientes por las plantas

El problema con los microelementos es que están limitados por su solubilidad y su limitada presencia en la solución. La absorción desde la solución del suelo se hace por tres rutas principales: intercepción por la raíz, flujo de masa y difusión (Rincón, *et al.* 2010).

Intercepción por la raíz: conforme la raíz prolifera a través del suelo, ellas también se mueven en los espacios previamente ocupados por los nutrientes disponibles en el suelo; por ejemplo, absorbidos por las partículas de arcilla. Las superficies de las raíces pueden interceptar nutrientes durante este proceso de desplazamiento.

Flujo de masa: es el movimiento del agua y nutrientes disueltos, los cuales son conducidos por un gradiente de transpiración.

Difusión: es el movimiento de nutrientes de acuerdo a un gradiente de alta concentración a uno de baja concentración.

En la difusión, el contenido de humedad tiene un efecto principal, así como la presencia de otros iones, ambos factores pueden incrementar el coeficiente de difusión de los microelementos y puede incrementar su absorción. La difusión es considerada la principal ruta de absorción de microelementos especialmente cuando su concentración es limitada en la solución del suelo (Rincón, *et al.*, 2010).

La contribución hecha por el flujo de masa al suministro total difiere entre los nutrientes minerales y las especies de las plantas debido a las diferencias en las tasas de transpiración o la tasa de absorción o de ambos.

En el suelo, un gradiente es creado cuando la tasa de absorción de iones excede al suministro por flujo de masa. El perfil de agotamiento se desarrolla con el tiempo y depende principalmente del balance entre la absorción por las raíces, el llenado desde el suelo y la movilidad de los iones por difusión. La movilidad de los iones está definida por el coeficiente de difusión, el cual es uniforme para diferentes iones en un medio homogéneo como el agua y difiere en suelos no homogéneos como los suelos aireados (Internet 1).

2.7. Formas de absorción y asimilación de microelementos

2.7.1. Hierro (Fe)

Aunque el Fe es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre, la deficiencia de este elemento es un problema de gran importancia principalmente en todas las especies de seres vivos. Este elemento se presenta en dos estados de oxidación: el Fe^{3+} o férrico y el Fe^{2+} o ferroso. En presencia de O_2 el Fe^{2+} es oxidado rápidamente a Fe^{3+} , el cual es poco soluble en agua y en donde precipita como óxidos de Fe. Por lo tanto, en nuestra atmósfera rica en O_2 , la forma termodinámicamente más estable del hierro es también la de más difícil acceso para los organismos (Rincón, *et al.* 2001).

Según, Emery, (1982); Olsen *et al.*, (1981) los iones de metales pesados (como el Fe, Zn o Cu) no atraviesan libremente la membrana celular. Las principales formas de este paso son quelatos sintetizados biológicamente y cuya función es acarrear iones de metales llamados ionóforos, y los ionóforos específicos para el hierro son conocidos como sideróforos.

Un mecanismo general de acción entre las bacterias, cianobacterias y hongos, como respuesta a la carencia de hierro, es la excreción de sideróforos hacia el medio de crecimiento y la posterior recuperación de los mismos a través de un mecanismo de absorción, asociado al metabolismo energético, que involucra un reconocimiento por parte de un receptor de membrana (Emery, 1982). El contenido normal de hierro, en el tejido vegetativo de las hortalizas es de 50-300 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (ppm) en términos de materia seca (Zuang, 1982).

Las plantas tienen dos diferentes vías o estrategias por medio de las cuales son capaces de aumentar la disponibilidad de 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 Fe^{3+} y promueve la reducción del mismo a Fe^{2+} , es decir, que incrementa la capacidad de reducción en la raíz.

Con esta estrategia las plantas disponen de aminoácidos no proteínicos 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 introducido por la planta (Romheld, 1991).

2.7.1.1. Formas de absorción del hierro por las plantas

Es absorbido por las plantas en forma de Fe^{2+} , como Fe^{3+} y en forma de quelato. El ion Fe^{3+} es la forma dominante en que el hierro se encuentra en el suelo, sin embargo, la forma divalente Fe^{2+} es la fisiológicamente activa. Interviene como catalizador de las reacciones de óxido-reducción al perder un electrón en el paso de divalente Fe^{2+} a trivalente Fe^{3+} . Intervienen en los procesos respiratorios de la planta y en la síntesis de la clorofila como catalizador, en la fotosíntesis y en la reducción de nitratos. El hierro es un elemento poco móvil en la planta (Hell y Stephan, 2003).

El hierro libre puede ser tóxico, ya que reacciona con el oxígeno y forma radicales libres que dañan componentes celulares como el ADN, proteínas, lípidos y azúcares, en cambio cuando la cantidad de hierro no es suficiente, las plantas pueden permanecer indiferentes o desarrollar mecanismos de adaptación para aumentar su capacidad de adquirir hierro del suelo; dependiendo del mecanismo de adaptación desarrollado para adquirir hierro, en condiciones de deficiencia, las plantas se dividen en dos grupos distintos: plantas de estrategia I y plantas de estrategia II, donde cada una tiene una respuesta diferente ante la absorción del hierro (González, 2000).

2.7.1.2. Funciones del hierro en las plantas

El hierro toma una gran importancia en las funciones vitales de las plantas, ya que es un componente estructural de las moléculas de porfirina: citocromos, hem, hematina, ferricromo, hemoglobinas animales y vegetales. Involucrado en las reacciones de óxido-reducción en la respiración y fotosíntesis. Así como un importante componente estructural de moléculas no hem: ferredoxinas y proteínas Fe-S. Y un papel fundamental en sistemas enzimáticos principalmente en la síntesis de clorofila (Benavides, 1999).

Dentro de los factores que destacan los que inhiben el crecimiento de las raíces, tales como la compactación y el encharcamiento del suelo, las bajas temperaturas y la adición de herbicidas, inhiben la absorción del hierro como la presencia de fosfatos y metales pesados (Lucena, 2004).

2.7.1.3. Toxicidad del hierro en las plantas

Las toxicidades de hierro suelen suceder en raras ocasiones, 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 encuentran toxicidad de hierro principalmente son los cultivos que se encuentran sumergidos en agua como el arroz donde el 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, 2001).

2.7.1.4. Síntomas de deficiencias

Clorosis intervenal en las hojas jóvenes (elemento poco móvil), y en casos muy graves, defoliación total.

El hierro se acumula en las hojas más antiguas y es relativamente inmóvil en el floema, probablemente debido a la formación de óxidos o fosfatos férricos.

Otro síntoma 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 puede ser similar o incluso algo superior al de las hojas verdes, presentando esta deficiencia. Este fenómeno es conocido como “paradoja de la clorosis férrica” (Morales *et al.*, 1998) y sugiere que el hierro podría acumularse en alguna zona de la hoja (principalmente en los nervios principal y secundarios (Jiménez *et al.*, 2009) 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 (Mengel y Geurtzen, 1986).

2.7.1.5. Antagonismo y sinergismo del hierro

Para un crecimiento óptimo de la planta, los elementos nutritivos deben ser absorbidos, y por lo tanto distribuidos, en proporciones adecuadas.

La perturbación 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 genérico (cuando a consecuencia del exceso de un elemento se manifiesta la carencia de otro) y un antagonismo fisiológico específico (Piaggese, 2004).

2.7.2. Zinc (Zn)

El contenido medio de zinc en la corteza terrestre es aproximadamente $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Krauskopf, 1979). Las fuentes más abundantes de zinc son los minerales esfalerita y wurtzita, y en menor medida minerales como smithsonita (ZnCO_3), willemita (Zn_2SiO_4), zincita (ZnO), zinkosita (ZnSO_4), franklinita (ZnFe_2O_4) y hopeita ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). El principal mineral de extracción es el compuesto sulfurado del tipo de la blenda (sulfuro de Zn y de Pb) (Barack y Helmke, 1993).

Los procesos que controlan la movilidad del zinc en el suelo son análogos a los de otros microelementos es decir: adsorción, oclusión y quelación.

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.

2.7.2.1. Formas de absorción del zinc por la planta

La planta absorbe iones de zinc de la solución del suelo principalmente como Zn^{2+} e hidróxido de zinc a pH's altos. El suministro de zinc para la planta es normalmente seguro en suelos con un pH menor a 6, debido a que la disponibilidad del zinc aumenta con la disposición del pH. No obstante la absorción de zinc se reduce con bajas temperaturas y en presencia de inhibidores metabólicos. La absorción del zinc por la raíz se ve influenciada por otros elementos, como calcio, magnesio, hierro, manganeso y cobre (antagonismo) (Rodríguez, 2005).

2.7.2.2. Funciones del zinc en la planta

- Es un componente esencial de la enzima RNA polimerasa responsable por la catalización 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 metabolito de la glicólisis y por lo tanto en la fotosíntesis.
- Es esencial para la estabilidad en los ribosomas.
- Es de gran importancia en la síntesis del ácido indol-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 deshidrogenada que está relacionada con la asimilación del amonio (NH_4) (Rodríguez, 2005).

2.7.2.3. Síntomas de deficiencias de zinc en las plantas

Las deficiencias se denominan "foliocelosis" y se manifiestan en falta de actividad de la yema terminal, lo que se traduce en un porte en 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 se 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 del ARN, perjudicando así al desarrollo normal de los cloroplastos). El tamaño de las hojas es pequeño, permaneciendo sin desplegarse.

En las hojas adultas no se suelen apreciar estos síntomas. Un hecho a tener en cuenta es que todas las plantas con deficiencias en zinc presentan hojas con elevados contenidos de Fe, Mn, nitrato y fosfato, mientras que los contenidos en almidón son bajos. (Loué, 1988).

2.7.2.4. Toxicidad de zinc

No suele haber casos de toxicidad por zinc en suelos básicos, debido a que a pH altos el Zn se inmoviliza. Por lo tanto la fitotoxicidad es indicada en ocasiones por clorosis por deficiencia de hierro inducida por el zinc (Chaney, 1993).

La fisiología de la fitotoxicidad del zinc en hojas es complicada, resultando de la interferencia del zinc en la biosíntesis de la clorofila, y otras reacciones bioquímicas. En suelos ácidos, el zinc normalmente causa clorosis por deficiencia de Fe severa en dicotiledóneas. Cultivos como la lechuga, la mostaza y la remolacha son altamente susceptibles a un nivel excesivo de zinc en el suelo. En suelos fuertemente ácidos, los pastos son generalmente mucho más tolerantes al Zn que las dicotiledóneas. Una toxicidad es muy grave para las plantas, pero estas poseen diferentes niveles de tolerancia. Algunas pueden almacenar el exceso de zinc en sus vacuolas. En casos severos causa la muerte a descendientes de brotes, el crecimiento de las raíces es inhibido e induce deficiencias de hierro (Internet, 9).

2.7.2.5. Antagonismo y sinergismo del zinc

La disponibilidad de zinc es fuertemente influenciado por el pH y su contenido total en el suelo. La cantidad de este elemento intercambiable disminuye con el

aumento del pH y es muy bajo a partir de un pH 6. Con el incremento del pH la afinidad del zinc aumenta considerablemente contra los óxidos de hierro y manganeso (Rincón, 2001).

Este elemento cuando es absorbido por la raíz se ve influenciado por otros elementos como el calcio, magnesio, hierro, manganeso y cobre tienen un efecto antagonista, sin embargo la absorción mas documentada es que presenta en situaciones de exceso de fósforo (Olvera, *et al.* 2010).

2.7.3. Cobre (Cu)

El cobre se parece en algo al hierro, debido 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 al del hierro en los procesos redox de la fisiología de la planta. Sin embargo, a diferencia del hierro, las enzimas que contienen cobre pueden reaccionar con oxígeno molecular y catalizan preferentemente procesos terminales de oxidación (Marschner, 1995).

Varias proteínas que contienen cobre desempeñan un papel fundamental en procesos tales como la fotosíntesis, respiración, desintoxicación de radicales superóxido y lignificación.

2.7.3.1. Formas de absorción del cobre

Existen múltiples factores que afectan la disponibilidad del cobre en el suelo: las reservas totales, pH (a mayor pH mayor extracción de cobre) (Schalscha, *et al.* 1968), contenido de materia orgánica, textura del suelo, temperatura e iones antagonistas.

De los micronutrientes catiónicos (cobre, cinc, manganeso, hierro), el cobre es el que está más fuertemente enlazado a la materia orgánica (Mengel y Kirkby, 1982; Schalscha, *et al.* 1968). Ello explica que la deficiencia de cobre sea más común en suelos ricos en humus los cuales fijan fuertemente el Cu^{2+} .

El cobre no se transporta fácilmente en la planta, pero puede ser transferido desde las hojas viejas a las hojas jóvenes. Este movimiento es altamente dependiente del contenido del elemento en la planta, y en aquellos individuos que presentan deficiencias, el cobre es relativamente inmóvil (Rodríguez., 2001).

Está asociado en forma directa con el crecimiento y forma de la planta. Sus carencias afectan procesos metabólicos relacionados con la fotosíntesis y fijación de nitrógeno, además de participar en los procesos relacionados con la lignificación de los vasos del xilema. Donde se presenta principalmente en los estadios de desarrollo (Marschner, 1995).

2.7.3.2. Funciones del cobre en las plantas

Mengel y Kirkby (1982) mencionan que el cobre se encuentra casi exclusivamente en su forma bivalente. La mayor fracción del contenido total está generalmente presente en las retículas cristalinas de minerales primarios y secundarios (Schalscha, *et al.* 1968; Katyal). Otra porción está presente en compuestos orgánicos como catión intercambiable en los coloides del suelo y es un constituyente de la solución de éste. La concentración de cobre en esta solución es generalmente muy baja y hasta un 98% de ésta se encontraría formando complejos con la materia orgánica. Es escasamente móvil (Honorato y Silva, 1999).

2.7.3.3. Síntomas de deficiencia y exceso del cobre

La concentración de cobre en la solución del suelo depende del contenido de materia orgánica, el pH y la disponibilidad de agentes quelantes.

Las deficiencias de cobre se presentan en suelos fangosos/limosos recién cultivados debidos a la fijación de cobre, por lo tanto a altos niveles de N y P y exceso de Zn en los suelos promueven deficiencias de este elemento. También se pueden presentar deficiencias en suelos calcáreos fuertemente fertilizados con N (Lambert, *et al.* 1997).

Los principales síntomas de deficiencia que presenta este elemento es que blanquean los cloroplastos y provocan enrollamiento de hojas y el crecimiento de nudos es inhabilitado (Aguilera, 1992).

2.7.3.4. Antagonismo y sinergismo del cobre

Con respecto a los iones antagonistas, Katyal y Randhawa (1986), mencionan que altos contenidos de nitrógeno y fósforo obstaculizan la nutrición de cobre de las plantas y, por consiguiente, originan la carencia del elemento. De acuerdo con Mengel y Kirkby (1982), existe evidencia que el zinc también inhibiría la absorción de cobre y viceversa.

El nivel crítico de cobre en el suelo es de $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Rodríguez, *et al.* 2001) establece que los niveles de cobre varían entre 3 y $141 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dependiendo del mineral primario formador del suelo. Los altos niveles de N y P y el exceso de Zn en los suelos promueven deficiencias de cobre. También se pueden presentar deficiencia de cobre en 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, 2001).

2.7.4. Acumulación de nitratos en la lechuga

Algunas especies de plantas hortícolas de aprovechamiento foliar (espinaca, acelga, lechuga y endivias) tienden a acumular nitratos en las hojas cuando la absorción excede a la reducción dentro de la planta (Breimer, 1982; Corré y Breimer, 1979; Hewitt, 1975; Schraeder, 1978). La función específica de los nitratos en los vegetales es la de suministrar nitrógeno para la síntesis de proteínas, reduciéndose previamente mediante la acción de la enzima nitrato reductasa. A diferencia de lo que ocurre con otros compuestos de nitrógeno (nitritos y amonio) los nitratos se acumulan en las vacuolas de los tejidos vegetales, donde tienen una función no específica supliendo a ácidos orgánicos y azúcares, actuando como regulador osmótico en la fotosíntesis. (Behr y Wiebe, 1992; Blom Zandstra y Lampe, 1983).

Los nitratos que acumula la planta proceden en casi su totalidad del suelo. La concentración de nitratos disponible 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 realice (Behr, *et al.* 1992).

El nitrato absorbido por las raíces puede seguir diferentes caminos dentro de la planta, puede ser reducido en las mismas raíces, puede ser almacenado en las vacuolas de ciertas partes radicales para una posterior reducción o exportación y puede ser transportado hacia las partes aéreas donde se reducen. Behr y Wiebe (1992) encontraron una correlación inversa entre nitratos y otros compuestos osmóticos para 19 cultivares de lechuga, demostrando que cultivares con bajo contenido de nitratos tienen un elevado contenido de malato, cloruro, fructosa y glucosa.

2.7.5. Factores influyentes en la absorción de nitratos en la lechuga.

Numerosas investigaciones realizadas sobre la acumulación de nitratos en lechuga han demostrado que los factores más importantes influyentes en la acumulación de nitratos son: ambientales, fertilización de nitrógeno y las características genéticas.

2.7.5.1. Ambientales

Según Roorda van Eysinga y Van der Meijs, (1985) la radiación global a lo largo del ciclo de cultivo es el que mayor influencia ejerce en la cantidad de nitrato acumulado por la planta.

En ciclos de cultivo con baja radiación (cultivos de invierno), la actividad de la enzima nitrato reductasa es baja, dando lugar a elevadas concentraciones de nitrato en planta. Por el contrario, en ciclos de cultivo con alta radiación (cultivos de primavera), la actividad de la enzima nitrato reductasa es alta, disminuyendo la concentración de nitratos en la planta. El incremento de la intensidad luminosa disminuye la concentración de nitrato en la planta, incrementándose la

concentración de ácidos orgánicos (Blom-Zandstra y Lampe, 1983; Blom-Zandstra y Lampe, 1985; Lacertosa, *et al.* 1997; Roorda van Eysinga, 1984).

2.7.5.2. Fertilización de nitrógeno

Las cantidades y formas de nitrógeno aportadas al cultivo, también influyen en la concentración de nitratos en planta (Pomares, *et al.* 1996; Van der Boon, *et al.* 1990), relacionados a su vez con la radiación global y la temperatura. En condiciones de baja radiación global (cultivos de invierno), baja cantidades de nitrógeno aportadas al cultivo producen elevadas concentraciones de nitratos en planta, teniendo poca importancia el incremento de la cantidad de nitrógeno aportado al cultivo. En condiciones de cultivo con alta radiación (cultivos de primavera y verano), la concentración de nitratos aumenta en relación con la cantidad de nitrógeno aportado en la fertilización (Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985).

En relación con la formulación del nitrógeno del fertilizante, formas nítricas inducen a mayor concentración de nitratos en planta, elevándose a su vez con el aumento de temperatura (Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985). Dichos efectos disminuyen cuando en la formulación están presentes formas amoniacales, principalmente en las dos últimas semanas antes de la recolección.

Frota y Tucker (1972) estudiaron la absorción de nitrógeno a partir de formas nítricas y amoniacales en relación con la temperatura a nivel radicular y ambiental, concluyendo que un incremento de temperatura aumenta la absorción de NH_4^+ y NO_3^- , siendo este incremento mayor para el NO_3^- que para el NH_4^+ .

La utilización de fertilizantes de liberación lenta disminuye el contenido de NO_3^- en planta (Belligno, *et al.* 1996).

2.7.5.3. Características genéticas

Distintos cultivares presentan distintas características genéticas dando lugar a diferente capacidad fotosintética de cada uno de ellos (Blom-Zandstra y Eenink,

1986; Subramanya, *et al.* 1980), lo que produce distinta concentración de nitratos en planta (Knight y Mitchell, 1983).

2.7.6. Efecto de los nitratos en la lechuga

Los nitratos están tomando cada vez más fuerza como parámetro de calidad del alimento debido a los riesgos que pueden ocasionar a la salud del consumidor. Las dosis máximas permitidas en el consumo han ido variando con el tiempo, avanzando siempre hacia mayores exigencias en el control de estos valores (Hill, *et al.* 1990).

El consumo de altos contenidos de nitrato en la dieta humana es peligroso debido a que este ion contribuye a la formación de agentes cancerígenos (Garbisu *et al.*, 1999; Jaworska, 2005).

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). Es decir, 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 contenidos de nitratos mayores a otros tipos de alimentos contribuyendo con un 75% a la ingesta diaria (Hill, 1990).

2.7.7 Agentes quelantes de EDTA y EDDHA

En la actualidad, los quelatos atraen poderosamente la atención debido a que son una excelente alternativa para adicionar metales de manera edáfica y foliar a las plantas (Álvarez *et al.*, 2003).

Una característica importante que presentan estos compuestos químicos es que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ion metálico, para proteger de cualquier acción con el exterior evitando la hidrólisis y precipitación. Por lo tanto son moléculas muy estables debido a la función del agente quelante, el cual impide que el metal adherido siga sus reacciones químicas normales (Knepper, 2003).

Un agente quelante, proviene de la reacción en la que establecen grupos de coordinación, que son capaces de formar más de un enlace o grupo coordinado con un ión metálico (Álvarez *et al.*, 2003).

La función principal de los agentes quelantes es remplazar las moléculas de agua por una molécula de un agente quelante formando una estructura compleja en anillo recibiendo el nombre de quelación y a la molécula que remplaza el agua recibe el nombre de ligando (López, 2005).

2.7.7.1 Agente quelante EDTA

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es un ácido orgánico tetracarboxílico derivado del etano por aminación de sus dos grupos metilo y posterior diacetilación de cada uno de los grupos amino (Figura 1.)

La principal propiedad del EDTA, es su capacidad de actuar como agente quelante de iones metálicos, y la flexibilidad de su molécula y la especial disposición espacial de sus átomos y grupos químicos, actúa como agente quelante llegando a coordinarse octaédricamente con iones metálicos mediante el establecimiento de seis grupos coordinados, por lo que se dice que es un agente quelante hexadentado (Yunta *et al.*, 2003).

Gracias a su propiedad de quelar iones metálicos, el EDTA en disolución, o sus sales ionizadas, es muy eficaz para eliminar Ca, Mg, Mo, Fe, Cu y Zn, iones que puede sustraer de los compuestos químicos de los que formen parte (López, 2005).

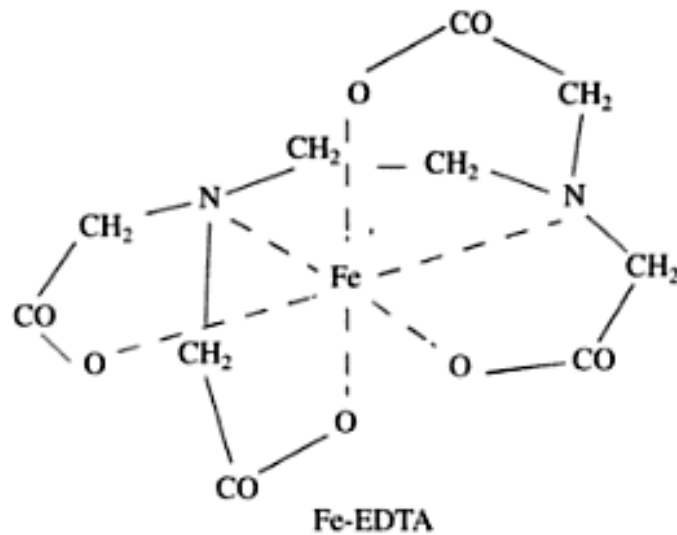


Figura 1. Estructura química del agente quelante EDTA.

2.7.7.2 Agente quelante EDDHA

El agente quelante EDDHA (Ácido etiléndiamino-di-(*o*-hidroxifenilacético)) es uno de los más utilizados desde los años cincuenta, pero cuando se habla de él hay que tener bien en claro que en su proceso de síntesis se puede formar varios isómeros (compuestos químicos con igual composición pero diferente reagrupamiento de átomos o distribución espacial) (Vasconcelos *et al.*, 2006). Los agentes quelantes de tipo EDDHA son mucho más estables que los demás como EDTA y DTPA, su reactividad frente a sustratos no viene motivada tanto por la competencia de iones sino por la posibilidad de ser retenidos por el suelo, esta reacción es provocada principalmente por óxidos amorfos y la materia orgánica del suelo. Por tal motivos estos isómeros provenientes de este agente EDDHA se pueden retener más fácilmente los quelatos incluso hasta pH 7. Por eso es que se recomienda para suelos con pH superiores de 6 ó 6.5 (López, 2005).

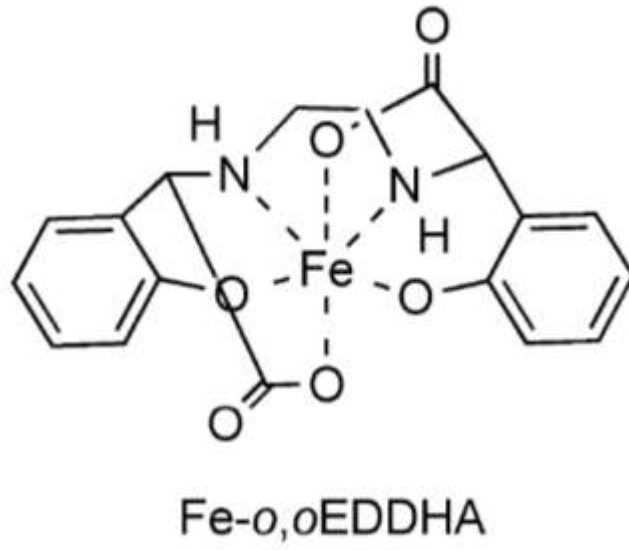


Figura 2. Estructura química del agente quelante EDDHA.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en el campo experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; en Buenavista, Saltillo Coahuila, ubicado al Sur de los invernaderos del departamento de Horticultura cuya ubicación geográfica se encuentra a 25° 22" latitud Norte y 101° 00" longitud Oeste, con una altitud sobre el nivel del mar de 1742 m (Internet, 2).

3.2. Material vegetativo

Se emplearon plantas de lechuga tipo Iceberg variedad L103 Denver. Casa comercial Royal San Luis. Caracterizada por ser una variedad precoz de 90 días desde la siembra a la cosecha, recomendada para plantación de los meses de Agosto – octubre. Tiene resistencia a 16 razas de bremía (López, *et al.* 2002).

3.3. Siembra

La siembra se realizó el 11 de agosto de 2011 de lechuga variedad L103 DENVER, en invernaderos productores de plántula de nombre Invernaderos Grupo J, ubicada en el municipio de Villagrán Guanajuato. Se realizó en charola de polietileno de 200 cavidades utilizando sustrato peat-moss y perlita y colocada en una cama flotante.

3.4. Establecimiento del experimento

3.4.1. Preparación de terreno

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

El sistema de riego empleado fue por goteo, para ello se utilizó cinta Netafim calibre 6000 con 30 cm de espaciamiento entre emisores y un gasto por emisor de

1 L·h⁻¹. Se colocó una cinta por cama. La perforación del plástico se hizo con un tubo de 2 pulgadas de diámetro a una distancia de 30 cm entre perforaciones.

3.4.2. Trasplante

Las plántulas trasplantadas fueron uniformes y con buen sistema radicular. El trasplante se realizó el día 22 de septiembre de 2011, a los 42 días después de la siembra; en camas de 20 m de largo por 50 de ancho, acolchadas con plástico negro y sistema de riego por goteo. Se manejó a una densidad de plantación de 60000 plantas·ha⁻¹, en un marco de plantación tresbolillo de 30-35 cm entre plantas (Sánchez, 2010).

3.6.3. Descripción de los tratamientos

El trabajo se estableció bajo un sistema completamente al azar con 6 tratamientos y 5 repeticiones.

Tabla 1. Tratamientos estudiados en el Experimento.

Tratamiento	Nombre comercial del producto
T1	Tradecorp AZ
T2	Tradecorp AZ Jaguar
T3	Tradecorp Fe
T4	Tradecorp Cu
T5	Tradecorp Zn
T6 (testigo)	Sin Aplicación

3.6.4. Aplicación los tratamientos

La aplicación de los elementos quelantes (Fe, Cu, Zn.) en los diferentes tratamientos se realizaron vía sustrato. La aplicación de los tratamientos se llevó a cabo los días 8 de octubre, 15 de octubre, 24 de octubre y 4 de noviembre de 2011.

3.4.5. Descripción de los Tratamientos estudiados

Tradecorp Az. ($5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) Es una mezcla sólida de oligoelementos esenciales quelados con EDTA, presentado en microgránulos dispersables (Internet, 3).

- 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.
- Boro (B) soluble en agua: 0,65 % p·p.
- Molibdeno (Mo) soluble en agua: 0,3 % p·p.
- Agente quelante: EDTA.
- Presentación: Microgránulos dispersables (M.G).
- Grado de quelación: Máximo.
- Intervalo estable de pH de la fracción quelada: 3 – 9.
- Color: Verde.

Tradecorp Az Jaguar ($5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).- 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 (Internet, 4).

- Hierro (Fe) total soluble en agua: 9% p/p
- Hierro (Fe) quelado por EDDHA y soluble en agua: 3% p·p.
- Hierro (Fe) quelado por EDDHA en posición orto-orto: 2% p·p.
- Hierro (Fe) quelado por EDTA y soluble en agua: 6% p·p.
- Agente quelante: EDDHA y EDTA
- Presentación: Microgránulos dispersables (WG)

Tradecorp Fe ($0.8\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).- Agente quelante de EDTA para hierro es eficaz, estable e indicado para prevenir y corregir la clorosis férrica en suelos ácidos y cultivos hidropónicos (Internet, 5).

- 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.

Tradecorp Cu (0.5g·L⁻¹)

- 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, 6).

Tradecorp Zn (0.6g·l⁻¹):

- 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, 7).

3.5. Manejo de la planta

3.5.1. Riego

Los riegos se realizaban diariamente con una duración de 25-30 minutos, para llegar a una saturación de humedad del suelo.

3.5.2. Programa de nutrición

La fertilización se proporcionaba en cada planta unas horas antes del riego o cuando se estaba regando el cultivo. Los tratamientos se aplicaban

semanalmente. Cabe mencionar que se realizó una fertilización de fondo en la cual se adiciono el fertilizante comercial Ferti-Drip con 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 adiciono $45\text{-}50\text{g}\cdot 150\text{m}^2$, esta fertilización se repitió dos veces en el ciclo de producción, antes del trasplante y 15 días antes de la recolección. En conjunto con el fertilizante comercial MAP soluble (11-52-00), cabe resaltar que este fertilizante se le adiciono al cultivo una vez que tenía ya dos semanas de establecido en el campo del experimento, con una dosis de $2.5 \text{ g}\cdot 20 \text{ L}^{-1}$ y adicionando 50 mL^{-1} por planta, directamente a la base del tallo.

3.5.3. Cosecha

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

3.6. Diseño experimental

El análisis de varianza se realizó bajo el diseño completamente al azar, analizando los datos mediante el paquete estadístico SAS versión 8, (SAS, 2009) para detectar diferencia estadística en cuanto a los tratamientos, se empleó la prueba de comparación de medias mediante la metodología de Tukey ($\alpha=0.05$).

3.6.1. Variables evaluadas

3.6.1.1. Clorofila

En esta variable se determinó la cantidad de clorofila por hoja, tomando en cuenta la hoja más desarrollada ya que tienen mayor capacidad de fotosintetizar (80% fuente, 20% demanda de fotoasimilados) (Carranza, *et al.*, 2009), se llevo a cabo mediante el aparato medidor de clorofilas SPAD 502, tomando 3 lecturas por tratamiento, posteriormente después de la toma de lecturas se procedió a promediar las lecturas tomadas. Cabe mencionar que esta variable fue medida *in situ*.

3.6.1.2. Nitratos

En esta variable se determinó la cantidad de nitratos por hoja, tomando una hoja de las más desarrolladas, posteriormente se procedieron a macerar en un mortero con mano, hasta llegar a una cantidad de 5 mL de savia de la hoja. Esta variable fue medida con el equipo medidor de nitratos TWIN HORIBA.

3.6.1.3. Diámetro basal del tallo

En esta variable se seleccionaban 3 lechugas por tratamiento, y se procedía a tomar la lectura de los diámetros con un vernier marca Truper de 150 mm, y a continuación se tomaba la medida de su diámetro polar y ecuatorial y se anotaban los datos por separado.

3.6.1.4. Peso fresco total de planta

En esta variable se pesó la cantidad de materia fresca (raíz, tallo, hoja, cabeza), tal como se cosechaba del campo experimental, únicamente lavando la raíz para quitar tierra y polvo para que no arrojara datos equivocados, usando una balanza analítica.

3.6.1.5. Peso fresco del órgano de interés comercial

En esta variable se peso solo el órgano de interés comercial (cabeza), para el cual se eliminaron el tallo y raíces, y se procedió a pesar en una balanza analítica con capacidad de 6000 g.

3.6.1.6. Longitud de la raíz

Se midió la longitud de la raíz, mediante una cinta métrica, una vez que se trajo del campo se eliminó la parte comercial (cabeza), se lavo perfectamente y se procedió a medir el órgano de interés.

3.6.1.7. Producción de biomasa.

Esta variable se realizó al final del ciclo del cultivo, se separó la raíz, hojas, tallo y órgano comercial (cabeza). Se pesaban en una báscula electrónica por separado y se metían en bolsas de papel para su secado en una estufa a una temperatura constante de 66°C por 72 horas. Después de pasar tiempo en la estufa se sacaban las muestras y se volvían a pesar para sacar el peso seco.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de Clorofila

Con respecto a la cuantificación de la clorofila, se encontró que las plantas del tratamiento 5 que consisten en la aplicación de Tradecorp Fe (13.2%), (Figura 1) mostraron el más alto contenido de clorofilas en relación con el resto de los tratamientos estudiados, esto se atribuye a que el hierro es un cofactor de actividad en la síntesis de los procesos de la formación de la clorofila y esto a su vez propicia un incremento en el contenido de este pigmento en los tejidos vegetales (Espinoza, 2010). Referente al tratamiento 4 (Tradecorp Cu 14.5%), las lechugas obtenidas de esta aplicación, mostraron un menor contenido de clorofilas esto a consecuencia de que el Cu interfiere en la síntesis de pigmentos ~~en~~ relacionado con la fotosíntesis, evitando la función del cloroplasto y la biosíntesis de clorofila, debido a que el Cu tiene un efecto antagonista con el Fe (Espinoza, 2010; Singh, 1995).

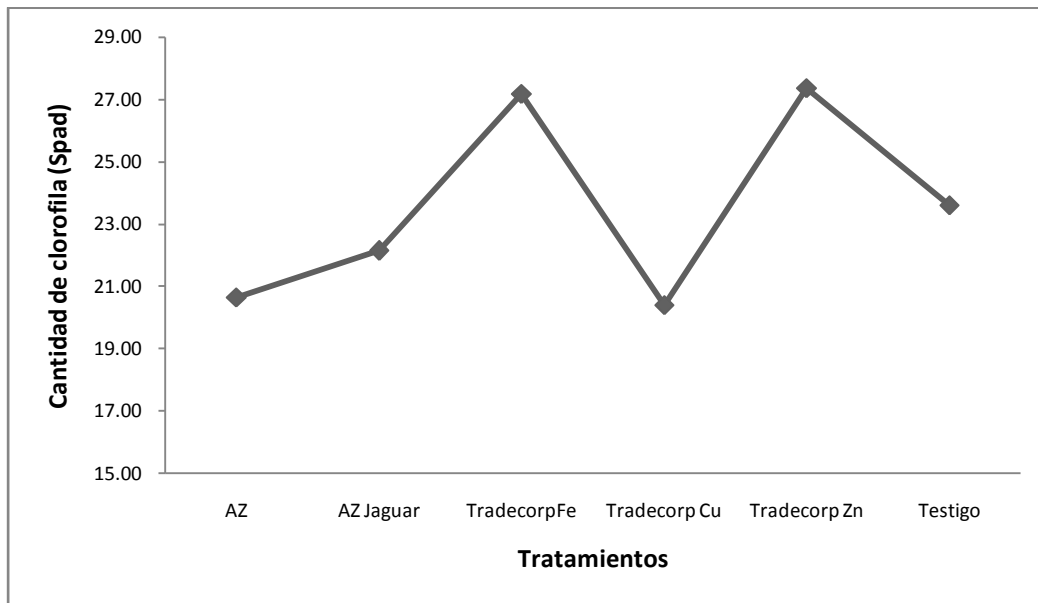


Figura 3. Contenido de clorofila en hojas de lechuga (Unidades Spad).

4.2. Contenido de Nitratos

En relación con la cuantificación de nitratos, se encontró que las plantas del tratamiento 2 que consiste en la aplicación de Tradecorp Az Jaguar (9% Fe) (Figura 2), mostraron un mayor contenido de nitratos en relación con el resto de los tratamientos, esto se atribuye a que el hierro está implicado en la fijación de nitrógeno así como en la reducción de nitratos (Jacobson y Oertli, 1956). Otra característica relevante es que el fertilizante utilizado en este tratamiento es un agente quelante de EDDHA, es decir que se asimila con mayor facilidad en los suelos calcáreos (como es el caso del suelo donde se estableció el experimento) a comparación de los demás tratamientos contienen un agente EDTA se asimila en suelos ácidos (Espinoza, 2010). Referente al tratamiento 4 (Tradecorp Zn, 14%), las lechugas obtenidas, mostraron un menor contenido de nitratos, lo que concuerda con Cakmak, (1988), quien demostró que las plantas sin deficiencias de Zn, producen una menor absorción de aniones especialmente de NO_3^- .

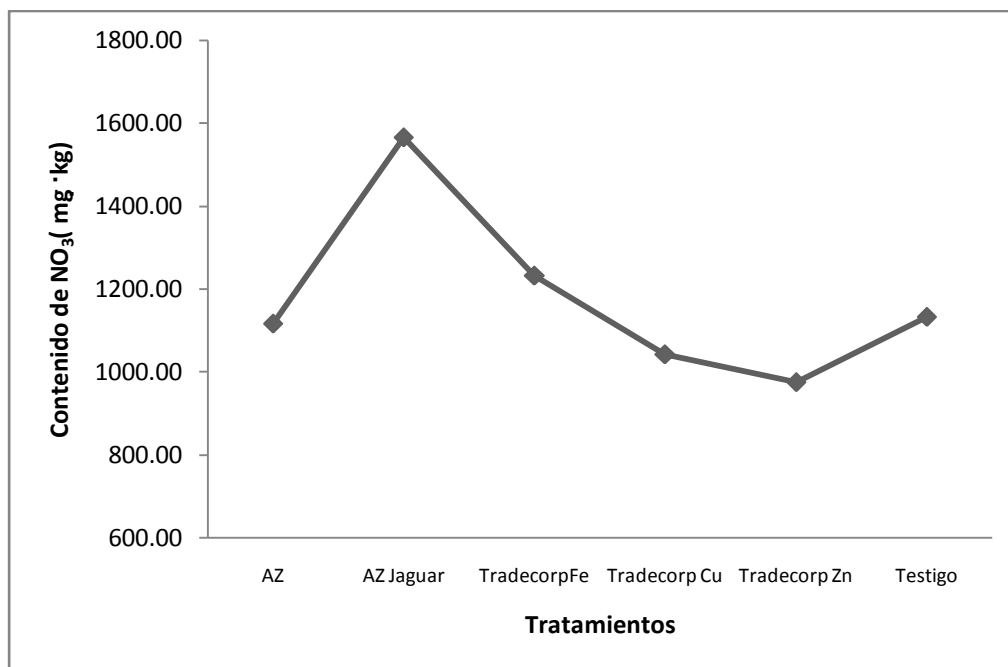


Figura 4. Contenido de nitratos ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en hojas de lechuga Iceberg.

4.3. Diámetro basal del tallo

La medición de diámetro ecuatorial y polar de tallo de las plantas el tratamiento 3 para las dos variables que consiste en la aplicación de Tradecorp Fe 13.2% (Figura 3) mostraron un mejor diámetro en relación con el resto de los tratamientos estudiados, esto se atribuye a que el hierro está involucrado en las reacciones de división celular y crecimiento celular (Ronen, 2008). Referente al tratamiento 1 Tradecorp AZ (combinación de oligoelementos) para ambas variables, mostraron un menor diámetro esto a consecuencia de que este fertilizante esta hecho de una combinación de Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo en diferentes concentraciones, es decir, que algunos elementos como el Zn, Cu y Mo, incrementan el crecimiento pero esto conduce a un antagonismo con el hierro (Ronen, 2008).

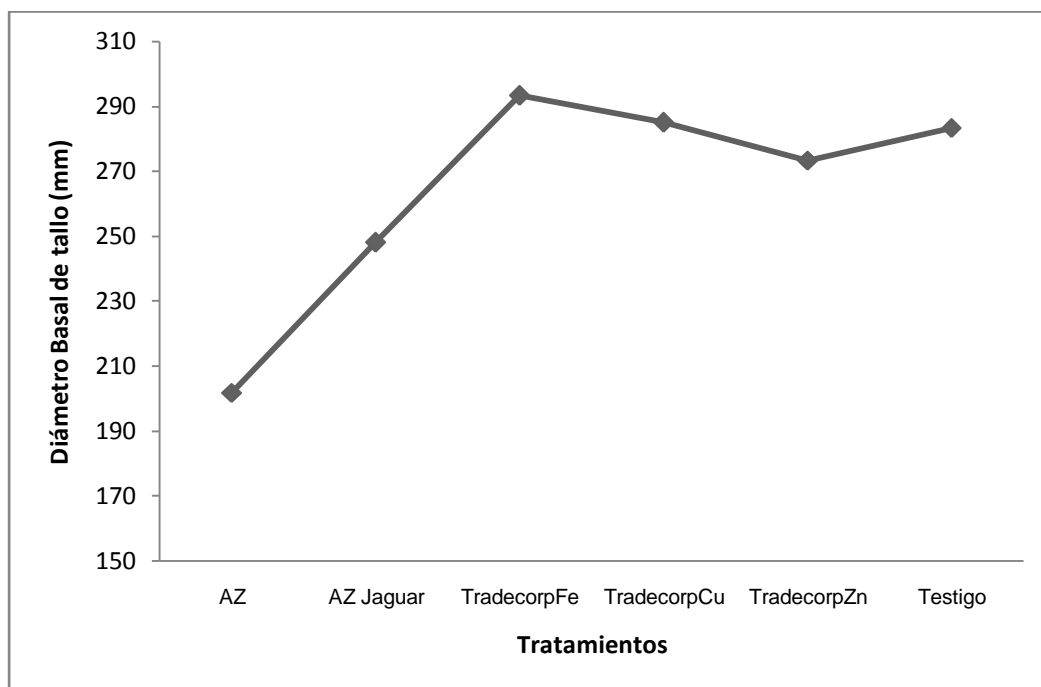


Figura 5. Diámetro ecuatorial y polar de tallo de plantas de lechuga (mm).

4.4. Peso fresco total de planta

Al checar el peso fresco de la planta, se encontró que el tratamiento 4 que consiste en la aplicación de Tradecorp Cu (14.5%) (Figura 4) mostró el mayor peso fresco en relación con los demás tratamientos estudiados, esto se atribuye a que el cobre juega un papel fundamental en la etapa reproductiva y está asociado directamente con el crecimiento y forma de la planta (Marschner, 1995) ya que tiene un efecto marcado en la formación y composición química de las paredes celulares (Schlatter y Gerding, 1985; Marschner, 1995). El grupo de plantas que tuvieron un menor promedio para esta variable fueron las procedentes del tratamiento testigo, esto se debe a que la acción de los agentes quelantes incide de manera positiva sobre el peso fresco. Referente al tratamiento 2 (Tradecorp Az Jaguar, EDDHA), las lechugas obtenidas de esta aplicación, mostraron un menor peso fresco esto a consecuencia de la estabilidad de los agentes quelantes, es decir, Fe con agente quelante EDDHA, es muy estable en suelos calcáreos, pero se ve afectado por el desplazamiento de Cobre en la etapa reproductiva (Sierra *et al.*, 2006).

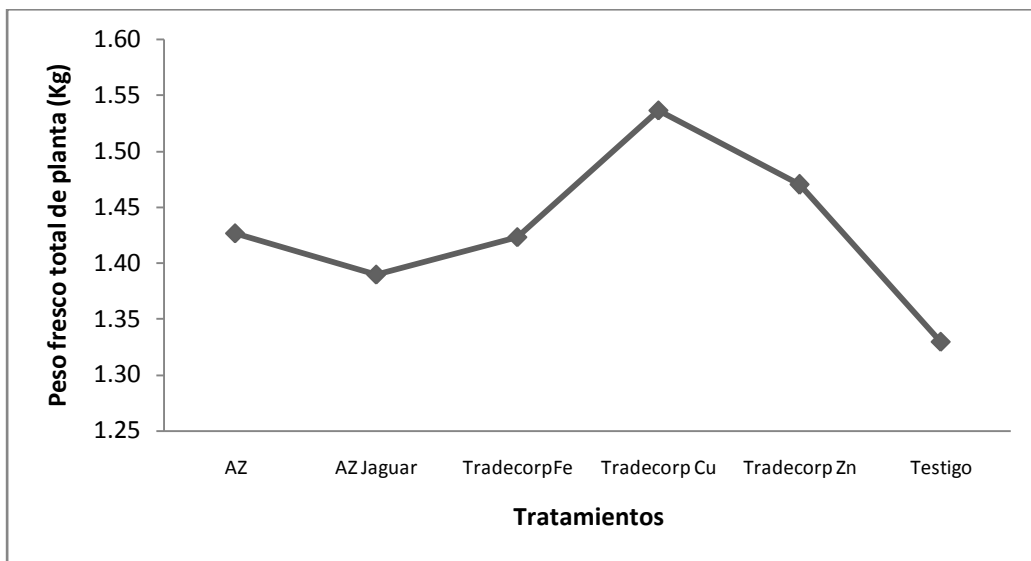


Figura 6. Peso fresco total de plantas de lechuga (Kg) tratadas con diferentes fuentes de fertilizantes quelantes.

4.5. Peso fresco de órgano de interés comercial

Con respecto a la cuantificación de peso fresco de órgano de interés comercial (cabeza), se encontró que las plantas del tratamiento 4 que consiste en la aplicación de Tradecorp Cu 14.5% (Figura 5) mostraron un mejor peso fresco de cabeza en relación con los demás tratamientos estudiados, esto coincide con el estudio realizado por Kyrkby, (2007), en cereales, donde el suplemento de Cu en anteras y ovarios de trigo tiene una mayor demanda de este nutriente, de igual forma mayor viabilidad del polen, por tanto estimula la producción de granos. Referente al tratamiento 2 (TradecorpAz Jaguar) seguido del testigo, las lechugas obtenidas de esta aplicación, mostraron un menor peso fresco, según Rincón, 2001, la lechuga absorbe entre un 65-75% se acumula en la fase de acogollamiento y de este porcentaje toma un 40-45%, 8 días previos a la recolección. Por lo tanto esto coincide con Wild, (2005), donde menciona que los aportes excesivos de cobre, debido posiblemente al antagonismo que presenta con hierro, ya sea en su absorción o translocación a puntos funcionales de la planta.

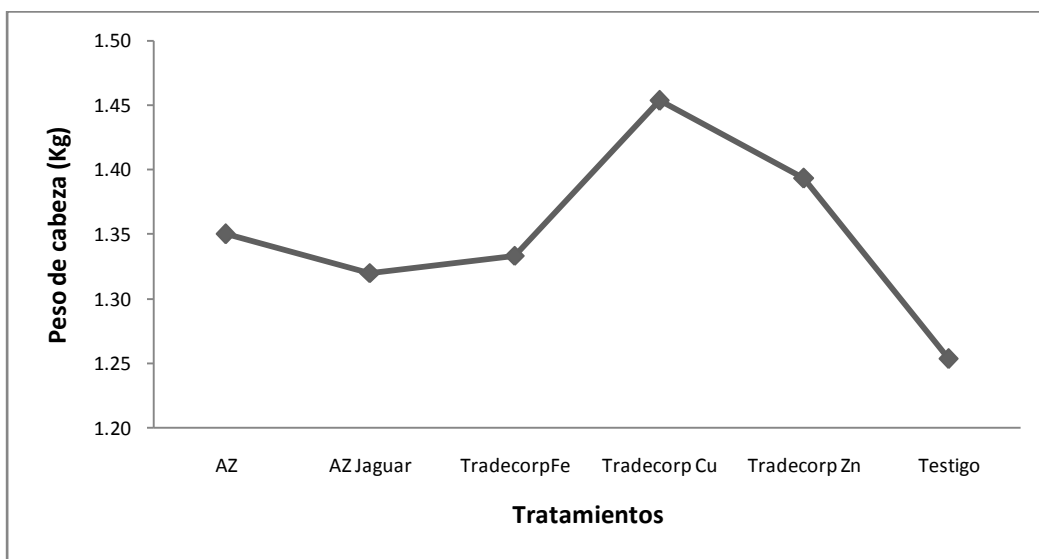


Figura 7. Peso fresco de órgano de interés comercial de plantas de lechuga (Kg) tratadas con diferentes fuentes de fertilizantes quelantes.

4.6. Longitud de raíz

Al evaluar la longitud de raíz, se encontró que las plantas del tratamiento 3 que consiste en la aplicación de Tradecorp Fe al 13.2% (Figura 6) mostraron la mayor longitud en relación con el resto de los tratamientos estudiados, esto coincide con Rincón, (2001) donde la concentración de hierro en la etapa de acogollamiento es creciente la demanda de este nutriente variando de 150 ppm hasta 96 ppm en la recolección, debido al efecto de dilución, donde este efecto provoca que amplíe las reservas (Azcón, 2001). Referente al tratamiento 4 (Tradecorp Cu), 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 ya que en altas concentraciones muestra deficiencias nutricionales y presenta antagonismo con el hierro principalmente en condiciones de suelos calizos (Espinoza, 2010; Schalscha, *et al.*1968).

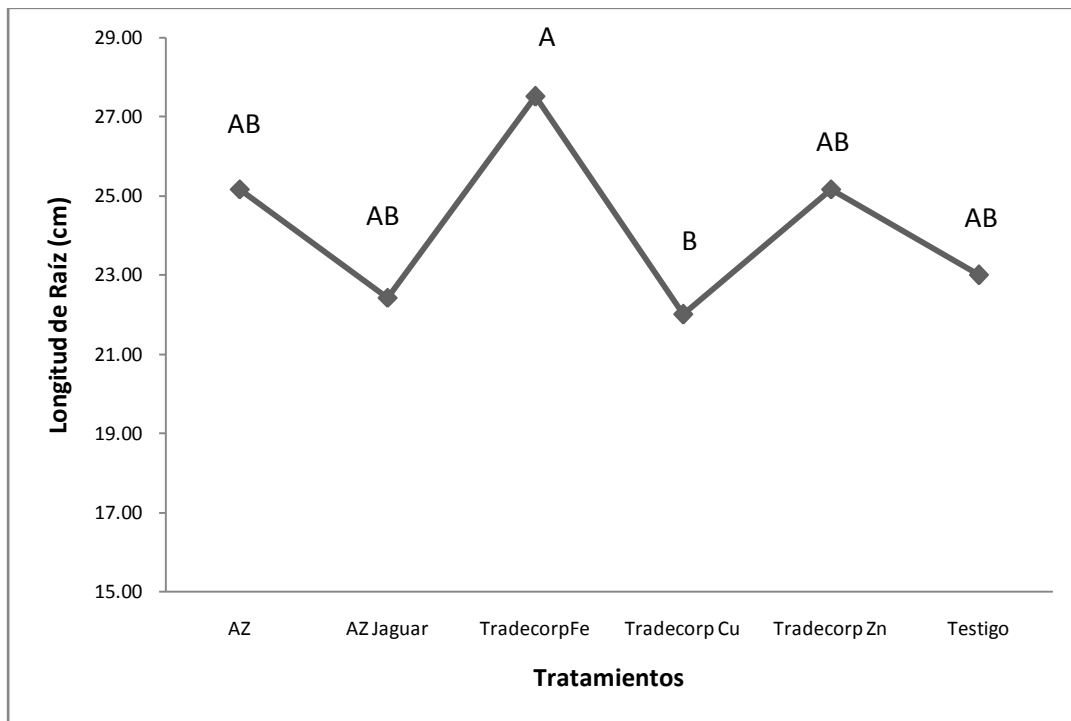


Figura 8. Longitud de raíz de las plantas de lechuga (cm) tratadas con los diferentes fertilizantes quelantes.

4.7. Producción de biomasa total

Con respecto a la cuantificación de la biomasa, se encontró que las plantas del tratamiento 4 (Tradecorp Cobre 13.2%), mostraron una mejor producción de biomasa en relación con el resto de los tratamientos estudiados, esto debido a que el cobre interviene en reacciones de óxido reducción formando parte de numerosas enzimas, por lo tanto la concentración de cobre se presenta en los troncos aumentado durante la fase de acogollamiento en la recolección, el 86% se absorbe en la fase de acogollado (Rincón, 2001; Sánchez, *et al.* 2010), (Wurret *al.*, 1991). Referente al tratamiento 2 Tradecorp AZ Jaguar 9% EDDHA, las lechugas obtenidas de esta aplicación, mostraron un menor contenido de biomasa esto a consecuencia de que el hierro presenta un antagonismo ante el cobre y en la etapa en la que se encontraba era inhibida la absorción del hierro (Sundstron y Carter, 1983; Sánchez, *et al.* 2010).

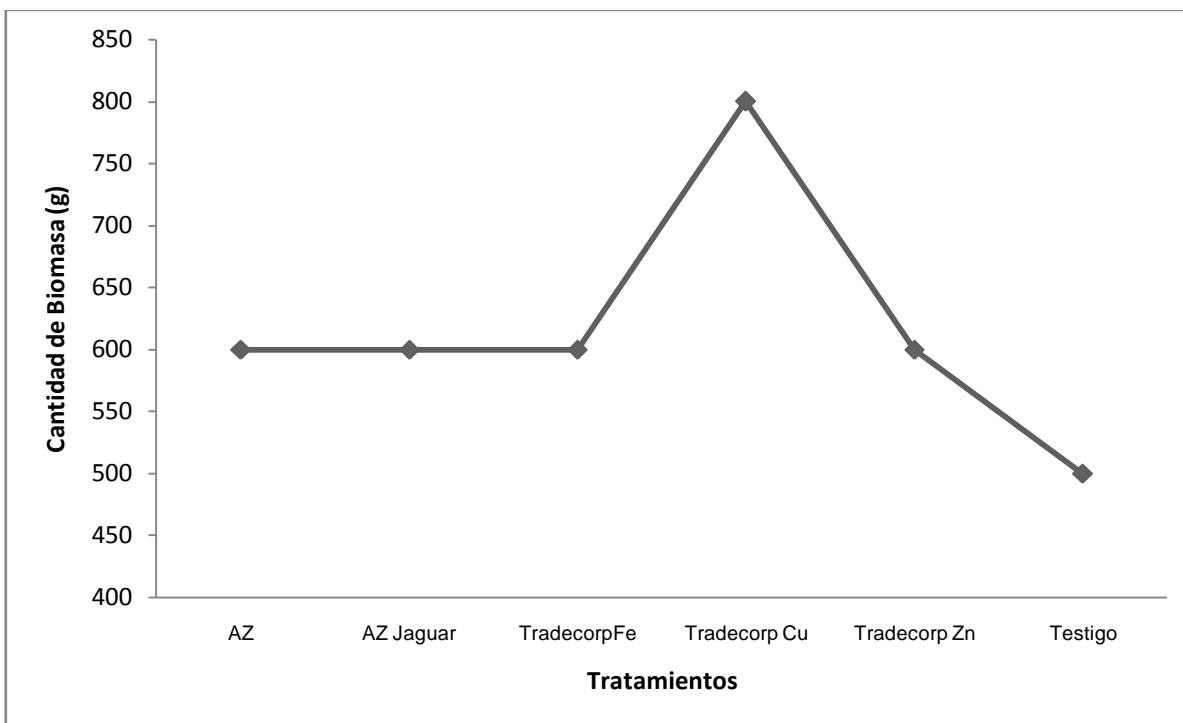


Figura 9. Cantidad de biomasa (Peso seco) de plantas de lechuga (g) tratadas con los diferentes fertilizantes quelantes.

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de hierro en una concentración de 13.2% que contiene el agente quelante EDTA (Tradecorp Fe), favorece la síntesis de clorofilas y el crecimiento de raíces en el cultivo de la lechuga.
- Fertilizaciones de hierro quelado al 9% con el agente quelante EDDHA (Tradecorp AZ Jaguar), propicia la asimilación de nitratos en el cultivo.
- Fue posible aumentar o mejorar la compactación de cabezas y los rendimientos de producción y productividad en lechuga, al aplicar el agente quelante EDTA quelado con cobre al 13.2% (Tradecorp Cu).

VI. LITERATURA CITADA

- Adriano, D. C. 1986. Trace elements in the terrestrial iron ment. Springer Verlag, NY.
- ASERCA, 2011. Lechuga. En claridades agropecuarias no. 69 SAGAR, México.
- Aguilera, S. M. I. Pino, U. C. Reyes, de la P. y M. Caiozzi, M. 1992. Efecto de la materia orgánica en la disponibilidad de fósforo, hierro, cobre y cinc en suelo sorno. *Agricultura Técnica* (Chile) 52(4): 422-425.
- Álvarez, F. A. P Aniagua, P. Abadía, J. Abadía, A 2003. Effects of Fe Deficiency Chlorosis on Yield and Fruit Quality in Peach (*Prunus persica* L. Batsch), J. Agric. Food. Chem., 51, 2003, pp. 5738-5844.
- Azcón, B. J. Talón, M. 2001. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Editorial McGraw–Hill Interamericana. Primera Edición. Madrid, España. 522 p.
- Barack, P. Helmke, P.A. 1993. The chemistry of zinc. p. 1-14. In Zinc in soils and plants. Robson, A.D. (Ed.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Barquero, G. 1999. Clasificación de los Quelatos: Consideraciones Practicas. XI Congreso Nacional Agronómico, 50-62.
- Beaufilds, E. R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Sci. Bul.1. Univ. natal, Pietermaritzburg, South Africa.
- Behr. U. Wiebe, J. 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Sci Hort.* 49, 175-179.
- Benavides, M. A. 1999. Absorción y Asimilación de Hierro en las Plantas. Departamento de Horticultura. 9-13pp.
- Bellapart, C. 1995. Peligrosidad de nuestra alimentación. Carácter patógeno de nuestra alimentación industrializada en Nueva agricultura biológica. Ed. Mundi prensa. Madrid. 215-254.
- Belligno, A. Muratore, G. Izoo, R. 1996. NO₃-N contents in *Lactuca sativa* L. Induced by slow release nitrogenous fertilizers coated with NPK. *Agricultura Mediterránea* 127 (2), 126-133.
- Bennet, W. 1996. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plant. APS Press. St. Paul. Minesota, USA: 202 pp.

- Blom, Z. G. Lampe, J. 1983. The effects of chloride and sulphate salts on the nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.), *J. Plant Nut.* 6, 61-628.
- Blom, Z. G. Lampe, J. 1985. The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce *Lactuca sativa* L. grown at different light intensities. *J. Exp. Bot.* 36, 1043-52.
- Blom, Z. G. Eenink, A., 1986. Nitrate concentration and reduction in different genotypes of lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111, 908-911.
- Bould, C. Hewitt, E. Nodham, P. 1983. Diagnosis of mineral disorders in plants. Vol. I Principles. London Her Majesty's Stationery Office: 170 pp.
- Breime, R. T. 1982. Environmental factors and cultural measures affecting the nitrate content in spinach. *Fertilizer Research* 3 (3), 192-222.
- Calder, F. W. MacLeod, L. B. 1971. Influence of added limestone and fertilizers upon the micronutrient content of forage tissue and soil. *Plant Soil* 35:249-256.
- Carranza, C. 2009. Análisis del Crecimiento Lechuga (*Lactuca sativa* L). Cultivada en suelo salino de sabana Bogotá.
- Chen, Y. Barak, P. 1982. Iron nutrition in calcareous soils. *Advances in Agronomy*, 35:217-240.
- Chaney, R. L. 1993. Zinc phytotoxicity. p. 135-150. In Zinc in soils and plants.
- Corre, W. Breimer T. 1979. Nitrate and nitrite in vegetables. Pudoc, Wageningen.
- Domínguez, V. A. 1990. El abonado de los cultivos, Madrid, Ediciones MundiPresa 11-22 pp.
- Domínguez, V. A. 1997. Tratado de Fertilización - 3ª ed. -1997 - 613p.
- Dordrecht, E. 2000. The Netherlands. Gupta, U.C., In Zinc in soils and plants.
- Edmon, A. J. 2009. La lechuga, cultivo y comercialización, Editorial Lokos. 25-28 pp.
- Espinoza, G. R. 2010. Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Lactuca sativa*). Sociedades Rurales, *Producción y Medio Ambiente* 19:10; 83-100 pp.
- 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 pp.

- Emery, T. 1982. Iron metabolism in human and plants. *Am. Sci.* 70:626-632 pp.
- Frota, J. Tucker, T. 1972. Temperature influence on ammonium and nitrate absorption by lettuce. *Proc. Soil Sci. Amer.* 36: 97-100 pp.
- García, P. A. 1967. La lechuga, cultivo y comercialización. 2° ed. Barcelona, España. Oikos-tav ediciones. 147-165 pp.
- Gonzalez, V. E. Morales, F. Abadía, J. 2000. Iron deficiency decreases the Fe⁺³ chelate reducing activity of leaf protoplast. *Plant Physiology.* 122:337-344 pp.
- Gros, A. y Domínguez, V. A. 1992. Abonos guía práctica de la fertilización. Madrid 8° edición Ediciones Mundi Pesa 20-26 pp.
- Guido, S. 2000. Clasificación de los Quelatos. III Congreso Nacional de Suelos, 12-15 pp.
- Hallmark, W. B. Walworth M. E., Summer C. J. Pesek, J. Shao, K. P. 1987. Separating limiting from non-limiting nutrients. *J. Plant. Nutr.* 109: 1381-1390 pp.
- Hewitt, E. J. 1975. Assimilatory nitrate-nitrite reduction. *Ann.Rev. Plant Physiol.* 26, 72-100 pp.
- Honorato, R. H. Silva, 1999. Evaluación de la Contaminación del Suelo y Plantas por el Cobre. *Aconex* 62: 5-9 pp.
- Hell, Y. Stephan, 2003. Separating limiting from non-limiting nutrients. *J. Plant. Nutr.* 109: 1381-1390 pp.
- Internet.1.<http://www.aserca.gob.mx/subhomes/SobreAserca.asp>.
- Internet.2.<http://www.google.hear.mx/> 18-12-12. 15:56
- Internet.3.[http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_producto15\(05/12/2012\) 13:39pm](http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_producto15(05/12/2012) 13:39pm).
- Internet.4,[http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_problema=*&idproducto=55 \(05/12/2012\) 13.46pm](http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_problema=*&idproducto=55 (05/12/2012) 13.46pm).
- Internet.5.[http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_producto=45 \(05-12-2012\) 14:01](http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_producto=45 (05-12-2012) 14:01).
- Internet.6.[http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_producto=8 \(05-12-2012\) 14:02](http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_producto=8 (05-12-2012) 14:02).

Internet.6.http://www.tradecorp.com.es/_es/internet/products/product.asp?id_producto=9 (05-12-2012). 14:03

Internet.7.http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=347

Jiménez, S. Morales, F. Abadía, A. Abadía, J. Moreno, M. A. Gogorcena, 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 hybrid. *Plant and Soil* 315: 93-106 pp.

Katyal, J. C. Randhawa, N. S. 1986. Micronutrientes. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 93 p. (Boletín FAO; Fertilizantes y Nutrición Vegetal, 7).

Kiekens, L. 1990. In Heavy metals in soils. Alloway, B.J. (Ed.).1st Blackie Academic and Profesional, Glasgow, UK. 261-279pp.

Kloepper, J. W. J. Leong, M. Teintze, M. N. Schroth, J. 1980. Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. *Nature* 286:885-886.

Knepper, T. P. 2003. Synthetic Chelating Agents and Compounds Exhibiting Complexing Properties in the Aquatic Environment, *Trac Trends Anal.* 22, pp. 708-724.

Knight, S. Mitchell, C. 1983. Enhancement of lettuce yield by manipulation of light and nitrogen nutrition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108, 750-754 pp.

Krauskopf, K. B. 1979. Introduction to geoche mistry. 2nd. Ed. McGraw-Hill, NY.93-106 pp.

Kyrkby. E. 2007. Micronutrientes en la Fisiología de las Plantas; Función y Absorción y movilidad. 10p.

Lambert, M. J. J. Turner, J. Knott, 1997. Boron nutrition of radiata pine plantations in Australia. In: Bell, R. W. y B. Rerkasem (Eds.). Boron in Soils and Plants. Países Bajos, Kluwer Academic Publishers. pp. 83-88

Lacertosa, G. Montemurro, F. Capotorti, G. Palazzo, D. 1997. Influencia del factor ambiental y de la disponibilidad de zinc sobre las concentraciones de nitratos en lechuga (*Lactuca sativa L.*). *Rev. Agron.* 31:1, 72-77 pp.

- Ling, H. Q. A. Pich, G. Scholz, M. W. Ganal, 1996. Genetic analysis of two tomato mutants affected in the regulation of iron metabolism. *Mol. Gen. Genet.* 252:87-92 pp.
- Loué, A. 1988. Los microelementos en agricultura. Mundi-Prensa, Madrid.
- López, C. C. (2005). *Fertirrigación Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales*. Paracuellos de Jarama (Madrid): Aedos. S.A.
- Lucena, J. J. 2004. Quelatos de hierro conteniendo o, p EDDHA. Estudios sobre su eficacia. *Phytoma*, 163: 26-32 pp.
- Maroto, J. V. 1989. Horticultura herbácea espacial. 3 ed. Editorial Mundi-Prensa. España. 255-279 pp.
- Maroto, J. V. 1990 Horticultura herbácea espacial. 3 ed. Editorial Mundi-Prensa. España. 211-218 pp.
- Maroto, J. V. 1992 Horticultura (herbácea especial). Ediciones mundi-prensa. Madrid España 566pp.
- Mengel, K. Geurtzen G. 1986 Iron chlorosis on calcareous soils - alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. *Journal of Plant Nutrition* 9: 161-173 pp.
- Mengel, K. Kirkby, E. A. 1982. Principles 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.
- Morales, F. Grasa, R. Abadía, A. Abadía, J. 1998 Iron chlorosis paradox in fruit trees. *Journal of Plant Nutrition* 21: 815-825 pp.
- Mott, R. L. Steward, F. C. 1972. Solute accumulation in plant cells V. An aspect of nutrition and development. *Ann. Bot.* 36, 915-937 pp.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. San Diego, Academic Press. 889 p.
- Pérez, K. M. 1997. La lechuga, cultivo y comercialización. 2º ed. Barcelona, España. Oikos-tav ediciones. 147 – 165 pp.
- Piaggese, D. A. 2004. Microelementos en la nutrición vegetal. Lanciano Italia: Meta Srl, Corso Trento 28-35 pp.

- Pomares, F. Aguilar, M. J. Tarazona, F. Canet, R. Baixauli, C. Iranzo, B. Valero, L. M. Ginen, J. 1996. Efecto de la fertilización nitrogenada en el contenido de nitratos en lechuga y coliflor. *Phytoma España* 84: 26-30 pp.
- Prause, J. Y. Ferrero, A. 1992. Bases para la fertilización de cultivos. Cátedra de Cultivos I - FCA - UNNE. Mimeografiado CEIA - UNNE. 25 p.
- Rincón, S. L. 2010. La fertirrigación de la Lechuga Iceberg. Universidad de Murcia. 85-93 pp.
- Rincón, L. 2001. Necesidades hídricas, absorción de nutrientes y respuesta a la fertilización nitrogenada de la lechuga iceberg. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Robson, A. D. 1999. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Rodríguez, S. J. D. Pinochet, T. F. Matus, B. 2001. Fertilización de los Cultivos. Santiago, LOM Ediciones. 117 p.
- Rodríguez, L. P., Hernández, A. L. Lucena, J. J. 2008. Comparison of chelates and complexes as iron chlorosis correctors in foliar sprays and nutrient solution applications. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*.158-189.
- Rodríguez, G. P. Marchante, J. M. García, J. I. Sanz, M. A. 2005 Isotope dilution analysis for elemental speciation: A tutorial review. *Spectro chimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy* 60: 151-207 pp.
- Römheld, 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.
- Roorda Van Eysinga, J. P. N. L. Smilde, K. W. 1981. Nutritional disorders in glasshouse tomatoes, cucumbers and lettuce. Ctr. Agr. Pub. Docum. Wageningen, Netherlands.130 pp.
- Roorda Van Eysinga, J. 1984. The nitrate content in vegetables under protected cultivation. *Acta Horticultura* 145, 251-256 pp.
- Salazar. O. L 2011. Identificación de Razas de *Bremia lactucae* y caracterización de variedades de lechuga. 1-2 pp.
- Scaife, A. Turner, M. 1883. Diagnosis of mineral disorders in plants. Vol.II Vegetables. London Her Majesty's Stationery Office: 96 pp.

- Schalscha, B. E. R. Riquelme, G. G. Vergara, H. I. Vergara, S. 1968. Elementos trazas en suelos derivados de cenizas volcánicas; I. Disponibilidad de Zinc, cobre, hierro y manganeso. Estudio comparativo de diversos métodos de extracción. *Agricultura Técnica* (Chile) 28(4): 137-143 pp.
- Schraeder, L. E. 1978. Uptake, accumulation, assimilation and transport of nitrogen in higher plants: 101-114 pp. In: D.R. Nielsen and J.G. MacDonald (Eds.). *Nitrogen in the environment 2*. Academic, New York.
- Sierra, M. A. Gómez, G. M. Escudero, R. Lucena, J. J. García, M. S. 2006. New non-symmetrical ethylene diamino hydroxyphenyl acetic acid products for the treatment of the iron chlorosis. Wo patent 2008077897.
- SINGH. 1995 Cadmio metálico VP Tóxico: fitotoxicidad y la tolerancia de las plantas. En: TRIVEDY, RK (Ed.). *Los avances en la tecnología de las ciencias ambientales*. Nueva Delhi: Ashish Publicación House, 1995. p. 225-256 pp.
- Subramanya, R. Vest, G. Honna, S. 1980. Inheritance of nitrate accumulation in lettuce. *Hortscience* 15, 525-526 pp.
- Takkar, P. N. and Walker, C. D. 1993. The distribution and correction of zinc deficiency. 151-165 pp.
- Valadez, L. A. 1990. Producción de hortalizas. 1 Reinpresion, Editorial Limusa.
- Váldez, L. A. 1985. Boletín meteorológico V3, Buenavista Saltillo, Coah. México.
- Van Der Boon, J. Steenhuizen, J. W. Steingröver, E. G. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH₄/NO₃- ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *J. Hort. Sci.* 65 (3), 309-321.
- Vasconcelos, M. Grusak, M. A. Status and future Developments Involving Plant Iron in Animal and Human Nutrition, en Barton, L. L. y Abadía, J. (Eds): *Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2006; pp. 1-22.
- Vigliola, M. 1988. Manual de horticultura 1° ed. Buenos Aires, Argentina. Editorial Hemisferio Sur. p 81 - 89.

- Walwort, J. L. Summer, M. E. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil. Sci.* 6: 149 - 188.
- Wild, A. 2005. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Russell. 97p.
- Yunta F, García, M. S. Lucena J. J. 2003. Theoretical speciation of ethylenediamine-N-(*o*-hydroxyphenylacetic)-N'-(*p*-hydroxyphenylacetic) acid (*o,p*-EDDHA) in agronomic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 5391-5399
- Zuang, H. 1982. La fertilisation des cultures légumières. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. Paris

VII. APÉNDICE

Análisis de varianza de las variables medidas a las plantas de lechuga tratadas con diferentes agentes quelantes.

Tabla 2. Contenido de clorofila de las plantas de lechuga.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	Valor F	Pr > F
Tratamiento	7	165.4483333	23.6354762	1.11	0.4252
Error	10	212.7366667	21.2736667		
Total Correcto	17	378.185			

C.V=19.5853

Media=23.55000

Tabla 3. Contenido de nitratos de plantas de lechuga.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GI	Suma De Cuadrados	Cuadrado de la Media	Valor F	Pr > F
Tratamiento	7	699250	99892.857	1.26	0.358
Error	10	794600	79460		6
Total Correcto	17	1493850			

C.V=23.9228

Media=1178.333

Tabla 4. Peso de órgano de interés comercial de las plantas de lechuga.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrado de la Media	Valor F	Pr > F
Tratamiento	7	0.08843889	0.01263413	0.32	0.9274
Error	10	0.39325556	0.03932556		
Total Correcto	17	0.48169444			

C.V=14.6834 Media=1.350556

Tabla 5. Diámetro basal de tallo de las plantas de lechuga.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrado de la Media	Valor F	Pr > F
Tratamiento	7	2822.9623	403.280329	1.3	0.3413
Error	10	3102.8725	310.28725		
Total Correcto	17	5925.8348			

C.V=10.05708 Media=175.1500

Tabla 6. Diámetro basal del tallo de las plantas de lechuga

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrado de la Media	Valor F	Pr > F
Tratamiento	7	13039.94689	1862.84956	6.37	0.0048
Error	10	2924.78236	292.47824		
Total Correcto	17	15964.72924			

C.V=9.6854

Media=176.5756

Tabla 7. Longitud de Raíz de las plantas de lechuga.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrado de la Media	Valor F	Pr > F
Tratamiento	7	71.0988889	10.1569841	0.73	0.6499
Error	10	138.4388889	13.8438889		
Total Correcto	17	209.5377778			

C.V=15.368

Media=24.21111

Tabla 8. Biomasa total de las plantas de lechuga.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	DF	Suma De Cuadrados	Cuadrado de la Media	Valor F	Pr > F
Tratamiento	7	0.00125556	0.00017937	0.49	0.8215
Error	10	0.00365556	0.00036556		
Total					
Correcto	17	0.00491111			

C.V=30.728

Media=0.062222

Análisis Estadístico (Prueba Tukey)

Tabla 9. Comparación de medias (Tukey $p \leq 0.05$) de la variable Cantidad de Clorofilas de las plantas de lechuga.

Tukey Agrupamiento	Media SPAD	Tratamiento
A	27.367	5
A	27.167	3
A	23.600	6
A	22.133	2
A	20.633	1
A	20.400	4

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 10. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Cantidad de Nitratos de las plantas de lechuga.

Tukey Agrupamiento	Media (Pmm)	Tratamiento
A	1566.7	2
A	1233.3	3
A	1133.3	6
A	1116.7	1
A	1043.3	4
A	976.7	5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 11. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Peso de Cabeza de las plantas de lechuga.

Tukey Agrupamiento	Media (g)	Tratamiento
A	1.4533	4
A	1.3933	5
A	1.3500	1
A	1.3333	3
A	1.3200	2
A	1.2533	6

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 12. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Diámetro Basal de tallo de las plantas de lechuga.

Tukey Agrupamiento	Media (mm)	Tratamiento
A	186.67	5
A	186.67	3
A	177.20	2
A	176.67	4
A	173.33	6
A	150.36	1

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 13. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Diámetro Basal de tallo de las plantas de lechuga.

Tukey Agrupamiento	Media (mm)	Tratamiento
A	200.00	3
A	196.67	6
A	196.67	4
A	180.00	5
AB	159.53	2
B	126.59	1

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 14. Comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Longitud de Raíz de las plantas de lechuga.

Tukey Agrupamiento	Media (cm)	Tratamiento
A	27.500	3
AB	25.167	1
AB	25.167	5
AB	23.000	6
AB	22.433	2
B	22.000	4

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 15. Comparación de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable Peso Fresco Total de Planta de las plantas de lechuga.

Tukey Agrupamiento	Media (g)	Tratamiento
A	1.423300	3
A	1.536634	4
A	1.329967	6
A	1.426667	1
A	1.390000	2
A	1.469966	5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Tabla 16. Comparación de medias de la Prueba Tukey ($p \leq 0.05$) de la variable biomasa total de las plantas de lechuga.

Tukey Agrupamiento	Media (g)	Tratamiento
A	0.07667	4
A	0.06333	1
A	0.06333	3
A	0.06333	5
A	0.05667	2
A	0.05	6

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes