

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Adición de Microelementos Quelatados en la Calidad y Producción del Cultivo de la Cebolla (*Allium cepa*) Var. Cristal White

Por:

MIGUEL ÁNGEL PÉREZ CURIEL

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Adición de Microelementos Quelatados en la Calidad y Producción del Cultivo de
la Cebolla (*Allium cepa*) Var. Cristal White

Por:

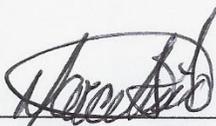
MIGUEL ÁNGEL PÉREZ CURIEL

TESIS

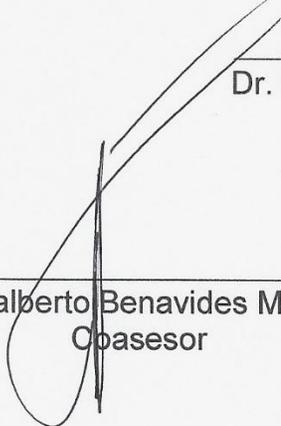
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Asesor Principal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2015

DEDICATORIAS

A ti **madre**, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. Por su esfuerzo y sacrificio para que culminara mis estudios.

A mis tíos (as).

Por sus preocupaciones, apoyo incondicional, por la motivación que me brindan día con día por sus anhelos, sus oraciones y que confiaron en mí, mis más sinceros agradecimientos, los admiro.

A mis primos.

Que siempre estuvieron presentes en mi carrera y por su motivación brindada.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS. Por permitirme la vida, y escuchar mis súplicas en los momentos difíciles y estar siempre cuidándome en las buenas y las malas ya que sin DIOS no lograría mis propósitos.

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por haberme abierto las puertas al conocimiento y por la formación ética, moral y profesional para ejercer algo que para mí había sido tan anhelado. Por brindarme sus instalaciones y brindarme a una nueva familia.

A mi señora madre, Florencia Curiel Ortiz. Por el gran amor y la devoción que me tienes, por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me has dado, por tener siempre la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como tal, y por ser la mujer que me dio la vida.

A mi familia “Curiel”. Por sus buenas palabras y deseos, especialmente a mis tíos Sixto y Eusebia, mi tía Guadalupe por su apoyo incondicional, Juan S. y Reynalda, a mis padrinos.

A mis profesores de carrera y asesores de tesis. Son parte esencial de este logro, el cual les comparto, ya que ustedes también lo trabajaron. Gracias por los conocimientos transmitidos.

A Karen Elías. Por estar siempre a mi lado, por su comprensión, paciencia y amor, dándome ánimos de fuerza y valor para seguir adelante.

A mis amigos y compañeros. Michel Franco, Cristabel Elías, H. piña, Rafael, Jonathan, Ángeles.

RESUMEN

El experimento se realizó en el campo experimental del Departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. Se estableció cebolla de la variedad Cristal White bajo malla sombra y sustrato, en un periodo de tiempo de 140 días, correspondiente octubre 2014 a marzo 2015. Se estudió la calidad y producción en respuesta de la adición de microelementos quelatados, el presente experimento constó de 7 tratamientos, los cuales son: Testigo (sin aplicación), quelato de fierro, quelato de cobre, quelato de zinc, quelato de manganeso, quelato molibdeno y quelato de boro. Utilizando un diseño completamente al azar, se utilizó el programa estadístico MINITAB 16, mediante la prueba de Tukey con significancia de 0.05. Las variables evaluadas fueron: área foliar, diámetro ecuatorial del bulbo, diámetro polar del bulbo, peso fresco del bulbo, peso fresco de la raíz, longitud la raíz, pH, sólidos solubles, firmeza y vitamina C.

Los resultados obtenidos indicaron que el zinc (Zn) quelatado, es el elemento mineral que sobresalió en la mayoría de las variables evaluadas principalmente en la síntesis de vitamina C, siendo así, que la calidad y rendimiento de cebolla está estrechamente relacionada con la fertilización a base de quelatos de zinc.

Palabras clave: cebolla, quelatos, microelementos, vitamina C.

Correo electrónico; Miguel Ángel Pérez Curiel, mapc11@hotmail.com

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Hipótesis	3
II. LITERATURA REVISADA	4
2.1 Antecedentes del cultivo	4
2.1.1 Taxonomía.....	4
2.1.2 Características generales	4
2.1.3 Características botánicas	4
2.2 Requerimientos edafoclimáticos	6
2.3 Manejo nutricional	6
2.4 Descripción y uso de quelatos	7
2.4.1 Tipos de quelatos	8
2.5 Funciones e importancia de los micronutrientes en la cebolla	9
2.5.1 Hierro	10
2.5.1.1 Formas de absorción.....	10
2.5.1.2 Funciones metabólicas y fisiológicas	11
2.5.1.3 Sinergismo y antagonismo	12
2.5.1.4 Deficiencias	12
2.5.1.5 Excesos.....	12
2.5.2 Cobre.....	13
2.5.2.1 Formas de absorción.....	13
2.5.2.2 Funciones metabólicas y fisiológicas	13
2.5.2.3 Antagonismo y sinergismo	14
2.5.2.4 Deficiencias	14
2.5.2.5 Excesos.....	15
2.5.3 Zinc.....	15
2.5.3.1 Formas de absorción.....	15
2.5.3.2 Funciones metabólicas y fisiológicas	16

2.5.3.3	Antagonismos y sinergismos.....	16
2.5.3.4	Deficiencias.....	16
2.5.3.5	Excesos.....	17
2.5.4	Manganeso.....	17
2.5.4.1	Formas de absorción.....	17
2.5.4.2	Funciones metabólicas y fisiológicas	17
2.5.4.3	Antagonismos y sinergismos.....	18
2.5.4.4	Deficiencias.....	18
2.5.4.5	Excesos.....	18
2.5.5	Molibdeno.....	19
2.5.5.1	Formas de absorción.....	19
2.5.5.2	Funciones metabólicas y fisiológicas	19
2.5.5.3	Deficiencias.....	19
2.5.6	Boro.....	19
2.5.6.1	Antagonismos y sinergismos.....	20
2.5.6.2	Formas de absorción.....	20
2.5.6.3	Funciones metabólicas y fisiológicas	20
2.5.6.4	Antagonismos y sinergismos.....	21
2.5.6.5	Deficiencias.....	21
2.6	Importancia de la calidad del cultivo de la cebolla	21
2.6.1	Peso.....	21
2.6.2	Grados brix.....	22
2.6.3	Firmeza.....	22
2.6.4	Vitamina C.....	23
III.	MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1	Ubicación del experimento.....	24
3.2	Material vegetativo.....	24
3.3	Siembra y trasplante.....	24
3.4	Riego.....	25
3.5	Fertilización.....	25
3.6	Tratamiento fitosanitario.....	26
3.7	Tratamientos evaluados.....	26

3.8	Variables evaluadas	26
3.8.1	Área foliar	27
3.8.2	Diámetro ecuatorial del bulbo	27
3.8.3	Diámetro polar del bulbo.....	27
3.8.4	Peso fresco del bulbo	27
3.8.5	Longitud de raíz	27
3.8.6	Peso fresco de raíz.....	28
3.8.7	Potencial hídrico (pH)	28
3.8.8	Solidos solubles totales (grados brix)	28
3.8.9	Firmeza.....	28
3.8.10	Vitamina C	29
3.8.11	Diseño estadístico	29
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1	Área foliar.....	30
4.2	Diámetro ecuatorial del bulbo.....	31
4.3	Diámetro polar del bulbo	32
4.4	Peso fresco del bulbo.....	33
4.5	Longitud de raíz	34
4.6	Peso fresco de la raíz.....	35
4.7	pH.....	36
4.8	Solidos solubles (grados brix)	37
4.9	Firmeza	38
4.10	Vitamina C.....	39
V.	CONCLUSIONES.....	40
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	41
VII.	APÉNDICE	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área foliar en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	30
Figura 2. Diámetro ecuatorial en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	31
Figura 3. Diámetro polar en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	32
Figura 4. Peso fresco del bulbo en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	33
Figura 5. Longitud de raíz en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	34
Figura 6. Peso fresco de raíz en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	35
Figura 7. pH del bulbo en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	36
Figura 8. Grados brix del bulbo en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	37
Figura 9. Firmeza del bulbo en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	38
Figura 10. Vitamina c en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Quelatos mostrados según su constante de disolución en orden descendente.....	9
Tabla 2. Dosis de fertilización aplicados.....	25
Tabla 3. Los tratamientos aplicados a intervalos de 8 días a cada planta como se muestra.....	26
Tabla A1. ANOVA de área foliar.....	47
Tabla A2. ANOVA de diámetro ecuatorial del bulbo.....	47
TABLA A3. ANOVA de diámetro polar del bulbo.....	47
TABLA A4. ANOVA de peso fresco del bulbo.....	48
TABLA A5. ANOVA de longitud de raíz.....	48
TABLA A6. ANOVA de peso fresco de raíz.....	48
TABLA A7. ANOVA de pH del bulbo de cebolla.....	48
TABLA A8. ANOVA de grados brix del bulbo de la cebolla.....	49
TABLA A9. ANOVA de firmeza del bulbo de cebolla.....	49
TABLA A10. ANOVA de vitamina C de la cebolla.....	49
Tabla A11. Comparación de medias de la prueba de Tukey $p \leq 0.05$ para la variable de área foliar.....	50
TABLA A12. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable diámetro ecuatorial del bulbo.....	50
TABLA A13. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable diámetro polar del bulbo.....	51
TABLA A14. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable peso fresco del bulbo.....	51
TABLA A15. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable longitud de raíz.....	52
TABLA A16. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable peso fresco de raíz.....	52
TABLA A17. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable pH del bulbo de cebolla.....	53

TABLA A18. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable grados brix.....	53
TABLA A19. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable firmeza.....	54
TABLA A20. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable vitamina C.....	54

I. INTRODUCCIÓN

La cebolla es una hortaliza que por su contenido de compuestos fenólicos y flavonoides presenta actividad antimutagénica, anticancerígena, antiespasmódica, antioxidante y antibacteriana (Skerget, *et al.* 2009).

En México, la cebolla es la quinta hortaliza más importante, principalmente por que se exporta a Estados Unidos lo que ubica a México como el primer exportador latinoamericano de cebolla. En el 2011 ocupó una superficie de 40,638.91 Ha. Con una producción de 1, 398,851.21 Ton. Los estados con mayor superficie sembrada con cebolla fueron: Baja California, Tamaulipas, Guanajuato, Chihuahua, Zacatecas, Michoacán, Puebla y Morelos (Rodríguez, 2014).

Los cultivares de cebolla que más se cultivan en México son las que producen bulbos color blanco, estableciéndose prácticamente durante todo el año en diferentes regiones del país (Rodríguez y Luján, 2003).

La fertilización de la cebolla generalmente se realiza sin un diagnóstico integral previo (históricos de rendimientos, aplicación de fertilizantes, síntomas de deficiencia, análisis suelos, análisis foliares) y se basa casi exclusivamente en la aplicación empírica mediante prueba y error de algunas enmiendas calcáreas y orgánicas, y elementos mayores (N-P-K) de forma edáfica, factor que conlleva a que el cultivo no exprese en su totalidad los potenciales genéticos de rendimientos porque se subestima la importancia fisiológica para el normal crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de elementos como el Mn, Zn y B (Gómez, 2006).

En la actualidad, existe un creciente interés por incrementar la concentración de micronutrientes en los órganos cosechados, dicho interés no sólo responde al objetivo de incrementar los rendimientos, sino también para subsanar deficiencias nutricionales, particularmente en las poblaciones rurales de ciertos países subdesarrollados (Zhao y McGrath 2009). Así por ejemplo (Who, 2002) menciona que más de la mitad de la población mundial se encuentra afectada por

deficiencias de Fe, Zn, Se. Paralelamente, se ha observado que los incrementos en los rendimientos de los cultivos en los últimos 40 años han estado acompañados por una disminución en la concentración mineral (Fan, *et al*, 2008).

En base a lo anteriormente expuesto, en el presente proyecto se evaluaron diversos microelementos quelatados y su efecto sobre la producción y calidad de la cebolla.

1.1 Objetivo

Determinar el efecto de la adición de microelementos quelatados en la calidad y producción del cultivo de cebolla.

1.2 Objetivos específicos

Determinar la calidad en base al contenido de vitamina C, pH, grados brix, peso, y firmeza de la cebolla.

Determinar el cambio en la producción con la adición de micronutrientes quelatados.

1.3 Hipótesis

La calidad y productividad de la cebolla blanca Cristal White aumenta significativamente con la adición de microelementos quelatados.

II. LITERATURA REVISADA

2.1 Antecedentes del cultivo

La cebolla es originaria de Asia central, Asia occidental y el norte de África. El cultivo de la cebolla es muy antiguo. Evidencias arqueológicas del año 3,200 a.C. muestran que los egipcios lo usaron como alimento, en rituales religiosos y en medicina. La domesticación de la cebolla estuvo basada probablemente en selección de caracteres de planta y bulbo, a través de selección masal, efectuada antes del florecimiento (Shrestha 2007).

2.1.1 Taxonomía

Reino Plantae, Clase monocotiledóneas, Superorden liliiflorae, Familia alliaceae, Tribu alliae, género allium, Especie *A. cepa* (Navarro 2008).

2.1.2 Características generales

Son plantas perennes, de porte bajo, en las que rizomas, raíces y en particular los bulbos, constituyen importantes órganos de reserva. Las hojas surgen del tallo subterráneo y a menudo presentan largas bases envainadoras que tienen la apariencia de un tallo. Esta estructura se denomina falso tallo o pseudotallo. El tallo floral no presenta hojas, excepto una única espata que protege la inflorescencia joven. La inflorescencia es una umbela. Las flores constan de un perianto de seis segmentos dispuestos en dos vértices de tres (Shrestha, 2007).

2.1.3 Características botánicas

Sistema radicular es de tipo fasciculado, capaz de llegar hasta unos 60 cm de profundidad, aunque normalmente no pasa de 20 cm. Las raíces son tiernas, finas, poco divididas, bien provistas de pelos radicales en el tercio medio inferior, de color blanco y con el típico olor a sulfuro de alilo que impregna toda la planta (Castell y Díez, 2000).

La forma del **tallo** es comprimida y aplastada, los vasos de las raíces se ramifican en la base del tallo y se interconectan con los vasos de otras raíces que constituye una capa formada por una red de tejido vascular, en la parte superior del tallo, rodeando el meristemo apical, se localiza una región de división celular denominada meristemo de engrosamiento primario, donde proliferan las células del crecimiento y anchura del tallo, (Brewster 2001).

El bulbo Es el órgano que actúa como reserva de alimento se forman como resultado del engrosamiento de las vainas de las hojas del follaje, y estas aparecen en una sección transversal como anillos concéntricos hinchados, a medida que las vainas engrosan se produce algún crecimiento de los limbos foliares, dando lugar bulbos de forma ovalada. Para la formación de bulbos se necesitan temperaturas entre 28-30 °C y fotoperiodos largos (Shrestha, 2007).

Tallo floral. El tallo floral que termina en un escapo alcanza una altura de 1 a 2 metros, son verdes, huecos y ensanchados en su parte central. El número de tallos florales por planta depende del número de yemas laterales contenidas en la base del plato, en la parte inferior del bulbo (Pike 2006).

Hojas. Tienen dos funciones la parte fotosintética que es verde, cilíndrica, fistulosa y alargada; y la parte de reserva de sustancias nutritivas constituida por las vainas foliares engrosadas conocidas como catafilos que en su conjunto forman el bulbo (Shrestha, 2007).

La inflorescencia. La inflorescencia es una umbela simple, los factores que producen la iniciación floral que son: temperatura, variedad y tamaño de planta, en tanto que el fotoperiodo y la fertilización tienen muy poca influencia en este fenómeno (Miguel y Miguel 2007).

El fruto y semilla. El fruto es una capsula trilocular, con 1 ó 2 semillas por lóculo. Éstas son de forma irregular, de unos 3 mm, con una superficie rugosa y de color negro. Maduran a los 45 días de la antesis. Cada fruto puede dar seis semillas, pero en la práctica suele haber solamente 3 ó 4. La semilla se deteriora rápidamente bajo los efectos de la humedad y temperatura debiendo almacenarse muy seca. Su poder germinativo disminuye muy rápido, pasando del 95- 100 %, en el momento de la recolección al 50 %, a los dos años si se conserva en condiciones ambientales normales (Castell y Díez, 2000).

2.2 Requerimientos edafoclimáticos

La cebolla requiere un clima templado o cálido para su desarrollo, los requerimientos de temperatura dependen de la etapa de desarrollo, para el crecimiento vegetativo; en la etapa inicial la temperatura debe situarse entre los 12.8° y 23.9° C, mientras que en la formación del bulbo las temperaturas favorables se sitúan entre 15.6 y 21° C. Las plantas jóvenes son más tolerantes al frío que las más viejas. En climas templados los rendimientos en bulbos son mayores y estos son de mejor calidad. Las altas temperaturas junto a días largos parecen acortar el tiempo necesario para el inicio de la formación del bulbo (Salunkhe y Kadam, 2004).

El cultivo de la cebolla es sensible al fotoperiodo (duración del día), la formación y desarrollo del bulbo está influenciado directamente por el fotoperiodo ya sea corto (10 a 12 h), intermedio (12 a 13 h) o largo (más de 14 h) (Mata *et al.*, 2011).

El pH óptimo está entre 6 y 6,5 y no tolera suelos ácidos. Se ha observado que la siembra en suelos muy pesados induce la formación de bulbos deformes, pero no se tiene referencia de su efecto sobre el rendimiento (Shrestha, 2007).

2.3 Manejo nutricional

Para proporcionar una nutrición balanceada se requiere hacer determinaciones del contenido de nutrientes en el suelo y en el agua de riego previo al establecimiento

del cultivo; así como determinaciones en la planta durante el ciclo de cultivo, lo cual se basa en los respectivos análisis previo al establecimiento del cultivo y el análisis foliar de extracto celular del peciolo y los análisis bromatológicos correspondientes (Navarro, 2012).

El nitrógeno está considerado como el más importante de los nutrientes en el cultivo de la cebolla, dado que tiene gran influencia en el crecimiento de la planta y en el rendimiento de la misma, mientras que el potasio está considerado como elemento fundamental en la fotosíntesis del cultivo de cebolla (Dilruba, *et al.*, 2006).

La concentración de nitrógeno (N) en base a peso seco, en bulbos de cebolla, el promedio total de absorción de N por el cultivo es de 157 Kg de N·Ha y el 70 al 90% de N se concentra en el bulbo a la cosecha. La tasa de absorción de N durante las primeras etapas de crecimiento es de 1.1 a 3.4 Kg de N·Ha·día. Se realiza aplicaciones fraccionadas de fertilizantes nitrogenadas durante el ciclo (Navarro, 2012).

Debido a que el fósforo (P) es esencial para el rápido desarrollo radicular, la deficiencia de este nutriente reduce el tamaño del bulbo y retrasa la maduración. La absorción total de P para un rendimiento de bulbos de 94 t·ha está entre 22 y 28 Kg de P ha. 50 a 60 Kg de P_2O_5 ·ha. (Dilruba, *et al.*, 2006).

La cebolla remueve a la cosecha cantidades de potasio (K) casi iguales a las de N. la remoción de K está en el rango de 145 a 210 Kg de K_2O ·ha. Aun cuando la deficiencia de K no es común en algunas áreas, se necesita la fertilización regular con K en muchos suelos arenosos con una baja capacidad de intercambio catiónico (Dilruba, *et al.*, 2006).

2.4 Descripción y uso de quelatos

Un quelato (del griego *quelo* = pinza de cangrejo) es un compuesto químico en el que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ion metálico,

de manera que lo protege de cualquier acción desde el exterior, evitando su hidrólisis y precipitación. Los quelatos, químicamente hablando, son, por tanto, moléculas muy estables (Cadaña, 2005).

Los quelatos son productos de alta estabilidad capaces de mantener los iones metálicos rodeados de una molécula orgánica (agente quelatante) de modo que rodeen salvaguardados del entorno que favoreciera su precipitación en forma de hidróxido insoluble y no disponible para la planta (Lucena, 2009).

2.4.1 Tipos de quelatos

Los más usados para el hierro son los que tienen EDDHA (Álvarez-Fernández, *et al.*, 2005). Este compuesto puede presentar dos isómeros posicionales, el orto-orto (*o,o*-EDDHA-ácido etilendiamino-*N,N'*-di[(orto-hidroxifenil)acético], que así vez presenta isomería óptica: isómeros meso y mezcla *d1*-racémica) de alta estabilidad y eficiencia a largo plazo y el orto-para (*o,p* EDDHA-ácido etilendiamino-*N*,-[orto-hidroxifenil)acético]-*N'*-[(para-hidroxifenil)acético] de menor estabilidad, pero de rápida respuesta (García-Marco, *et al.*, 2006). Recientemente también se ha propuesto el uso de IDHA-ácido imidodisuccínico, como agente quelatante biodegradable (Lucena, *et al.*, 2008).

Los quelatos más usados para los micronutrientes Mn, Zn y Cu son los de DTPA, EDTA, HEEDTA (Lindsay Sommers 1997) y también IDHA (Lucena 2009).

Tabla 1. Quelatos mostrados según su constante de disolución en orden descendente.

quelato	Constante de disolución
EDTA	Muy fuerte
ETPA	Muy Fuerte
NTA	Fuerte
TPPA	Medio
Ácido glucónico	Medio
Ácido cítrico	Medio
Ácido tartárico	Medio
Ácido Málico	Débil
Ácido láctico	Débil
Ácido acético	Débil

2.5 Funciones e importancia de los micronutrientes en la cebolla

El término micronutriente es utilizado en la agricultura para denominar aquellos elementos esenciales para los cultivos, que se presentan en concentraciones extremadamente bajas en los suelos y tejidos vegetales. Hasta el momento se ha demostrado la esencialidad de siete elementos en todas las especies vegetales: boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), y Zinc (Zn). A diferencia de los macronutrientes, su concentración en el tejido vegetal es muy baja, del orden de $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y generalmente siguen el orden $\text{Mn}>\text{Fe}>\text{Zn}>\text{B}>\text{Cu}>\text{Mo}$, aunque pueden modificarse según la especie vegetal o las condiciones de crecimiento (Zhao y McGrath 2009).

La demanda de micronutrientes depende de la especie vegetal a cultivar y los rendimientos obtenidos. Los micronutrientes cobran, comparativamente, mayor

importancia en la producción de cultivos intensivos que en los extensivos. En estos últimos, su deficiencia afecta el rendimiento, mientras que en los cultivos intensivos afecta, además, factores de calidad tales como firmeza y color de frutos, pudiendo ocasionar trastornos fisiológicos en el período de pos cosecha (IFA, 2000).

Excepto el Cl y B, los micronutrientes se encuentran asociados a enzimas que regulan distintos procesos metabólicos, principalmente la respiración (Cu, Fe, Mn, Zn), la fotosíntesis (Cu, Mn) y la síntesis de clorofila (Cu, Fe, Zn). El Fe, Mn, Cu y Mo forman parte de grupos prostéticos que catalizan reacciones de óxido-reducción, el Fe y Zn forman complejos enzima-sustrato, y el Zn cataliza ciertas reacciones enzimáticas. El Mn interviene, además, en el proceso de regulación enzimática y la permeabilidad de la membrana celular. El Mo es un componente de la nitrato reductasa, además de intervenir, junto con el Zn, en la síntesis de proteínas. Por otro lado, el B se asocia al metabolismo de azúcares y a la formación del tubo polínico (Quintero, 2006).

2.5.1 Fierro

A pesar de su abundancia en suelos y rocas, es uno de los micronutrientes más a menudo deficientes. El problema reside en la naturaleza es extraordinariamente insoluble de ciertos compuestos del ion férrico (Fe^{+++}). Tales compuestos se acumulan en suelos muy meteorizados y son unos de los principales constituyentes de los suelos rojos, en regiones tropicales (Álvarez, *et al.*, 2005).

Formas de absorción

Las plantas toman el Fe directamente de la disolución del suelo, mediante un proceso de absorción activa, a través de las raíces en forma de Fe^{++} , aunque hay algunas plantas que lo toman como Fe^{+++} quelatado. Cuando la disponibilidad de Fe es suficiente, las plantas utilizan sistemas de transporte de baja afinidad que

absorben la cantidad necesaria para su desarrollo. Altas concentraciones de Fe^{++} soluble en el suelo pueden llegar a causar toxicidad, ya que si es absorbido en altas cantidades puede reaccionar con oxígeno y formar radicales libres que dañan componentes celulares como ADN, proteínas, lípidos (Hell y Stephan, 2003).

Las plantas tienen dos diferentes vías o estrategias por medio de las cuales son capaces de aumentar la disponibilidad de Fe^{+++} 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^{++} , es decir, que incrementa la capacidad de reducción en la raíz. Con esta estrategia las plantas disponen de aminoácidos no proteicos para el transporte interno del hierro (intra e intercelular) (Ling, *et al.*, 1996).

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

Funciones metabólicas y fisiológicas

La función del hierro en el metabolismo de la planta, básicamente se debe a la facilidad de este elemento para reducirse (Fe^{+++}) y oxidarse (Fe^{++}). Debido a esta propiedad, el hierro forma parte importante de los dos grupos bien definidos de proteínas que contienen hierro: las hemoproteínas y las proteínas hierro-azufre. De las proteínas hierro-azufre, la más importante es la ferredoxina, que participa en las reacciones lumínicas de fotosíntesis.

Las hemoproteínas mejor conocidas son los citocromos, las cuales contienen un complejo heme hierro-porfirínico como un grupo prostético. Los citocromos son constituyentes de los sistemas redox en los cloroplastos y en las mitocondrias.

En la biosíntesis de la clorofila también está involucrado el hierro ya que controla la síntesis del ácido aminolevulínico el cual es el precursor de la molécula de clorofila (Fukuyama, 2004).

Sinergismo y antagonismo

Las deficiencias de hierro se produce por desbalance iónico, especialmente exceso de cobre y/o manganeso que interfieren en su absorción (Cristóbal, 2009).

Deficiencias

La deficiencia de hierro (Fe), caracterizado por la falta de clorofila (clorosis), es un problema amplio y mundial en suelos calcáreos, así como sobre encalados. Debido a la insolubilidad de los compuestos que se forman cuando este elemento se pone al suelo en forma de sales simples, es necesario agregarlo en forma de quelatos (Hansen, 2006).

Cuando una sal de Fe, cualquiera que sea, se encuentra en contacto con el oxígeno del aire, tiende a oxidarse a Fe^{+2} , y al contacto con un medio de pH neutro tiende a precipitarse como hidróxido férrico extremadamente insoluble (KorcaK,1987; Mengel y Geurtzen, 1988).

Excesos

De los dos estados de oxidación que presenta el Fe, es el ion ferroso el que puede causar esta sintomatología, en condiciones aeróbicas es muy extraño que se produzca una acumulación de Fe II en el suelo, sin embargo, en condiciones anaeróbicas, el Fe III se reduce a Fe II considerándose esta la especie más abundante e incrementándose la solubilidad de fe en el suelo, por lo que la

toxicidad de hierro no se conoce en condiciones normales de cultivos (Juárez 2004).

2.5.2 Cobre

Formas de absorción

En suelos aireados, el cobre es absorbido por las plantas como ion divalente (Cu^{+2}) y en suelos húmedos con bajas concentraciones de oxígeno en forma de ion monovalente (Cu^+) (Salisbury y Ross, 1991).

El cobre presente en el suelo no siempre se encuentra totalmente disponible para su absorción por las plantas debido a que puede estar formando complejos insolubles con la materia orgánica, arcillas o con aniones como CO_3^{2-} y S^{2-} , dependiendo de las características del suelo (Palmer y Guerinot, 2009).

La absorción de cationes como el cobre comienza en la epidermis de la raíz. El movimiento de los iones de la epidermis a la endodermis de las raíces puede llevarse a cabo por difusión apoplástica, la cual es interrumpida por la banda de Caspari; siendo el transporte a través de la membrana plasmática, por medio de canales o transportadores, la única ruta para pasar a través de la endodermis y llegar a la tejido vascular (Hopkins, 1995).

Funciones metabólicas y fisiológicas

En las plantas, el cobre actúa como catalizador en reacciones de óxido-reducción. Es constituyente, como grupo prostético, de varias enzimas que participa en proceso importante para la planta como el transporte de electrones fotosintéticos,

en la respiración y lignificación de la pared celular. Para el buen funcionamiento de estas enzimas y de los procesos en los que intervienen, la planta requiere de una concentración mínima de cobre (Maksymiec, 2006).

Antagonismo y sinergismo

La presencia de hierro, manganeso y aluminio afecta su disponibilidad; dado que el cobre no se trasloca los síntomas de deficiencia aparecen en las partes más jóvenes, detiene el crecimiento, deforma, decolora las hojas jóvenes, da lugar a necrosis del sistema apical, enrollamiento de las hojas (Escorcia, 2010).

Deficiencias

Cuando en los tejidos vegetales las concentraciones de cobre son menores de 2-5 ppm se considera que hay una deficiencia de este metal (Fernandes y Henriques, 1991).

Las plantas que crecen con concentraciones deficientes de cobre muestran clorosis, malformaciones e inhibición en el crecimiento de hojas y raíces, así como una reducción en la viabilidad del polen, en la productividad y calidad de los frutos y granos (Azouaou y Souvré, 1993).

A nivel celular, hay una reducción en el transporte de electrones del fotosistema I y II debido a una disminución en la síntesis de plastocianina, cambios en la composición de los lípidos y fluidez de la membrana en los cloroplastos, disminución en el contenido de clorofilas y carotenoides y una síntesis reducida de plastoquinona (Barón *et al.*, 1992). También se ha observado una desorganización en la estructura de los tilacoides (Casimiro, 1990).

Excesos

El contenido de cobre en suelos no contaminados es resultado de procesos naturales como el intemperismo, pero también se pueden observar niveles altos de este metal en el suelo ($>50\text{mg kg}^{-1}$) debido a la actividad minera, la industria petrolera, al uso de fungicidas en la agricultura y al uso de aguas residuales sin tratamiento para el riego de suelos agrícolas. Suelos de campos petroleros, tabasco: contaminado (660 mg kg^{-1}), no contaminado (480 mg kg^{-1}) (De la Cruz-Landero, 2010). Minas de plata, Guanajuato: cercanos (221 mg kg^{-1} suelo), lejanos (17 mg kg^{-1} suelo) (Landero, 2008). Minas de Pb-Zn-Ag, hidalgo dentro de 1000 m ($8,638\text{ mg kg}^{-1}$), mayor 4000 m ($<30\text{ mg kg}^{-1}$) (Ongley, *et al.*, 2003). Uso de fungicidas en suelos agrícolas, contaminado ($1,019.1\text{ mg kg}^{-1}$), no contaminado (49.8 mg kg^{-1}) (Mirlean, *et al.*, 2007).

Las plantas necesitan entre $5\text{-}30\text{ mg kg}^{-1}$ de peso seco de cobre para llevar a cabo sus funciones de forma normal (Orcutt y Nilsen, 2000). La exposición a concentraciones tóxicas de cobre causa inhibición en el crecimiento de raíces y brotes (Pasternak *et al.*, 2005; Groppa *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2010; Lequeux, *et al.*, 2010).

2.5.3 Zinc

Formas de absorción

La concentración de zinc (Zn) en el suelo depende de la composición del material parental y de la mineralogía del suelo, especialmente de la concentración de cuarzo. Solamente una pequeña fracción del Zn está en forma intercambiable o soluble. Cerca de la mitad del Zn disuelto está presente como catión Zn hidratado (Hansen, *et al.*, 2006). La fracción soluble como catión divalente hidratado está inmediatamente disponible para las plantas. Casi nunca se ha encontrado un

suelo medianamente provisto de Zn que tenga Zn soluble en ácido cítrico y que presente dificultad a las plantas para adquirir este elemento (Cadahía, 2005).

Funciones metabólicas y fisiológicas

Su función principal es la de activador enzimático, catalizando innumerables reacciones en procesos metabólicos como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas. Es además precursor del triptófano y el ácido indol acético (Fancelli, 2006).

Con un papel estabilizador de la molécula de clorofila. Las alteraciones más típicas son la disminución del crecimiento de las hojas y el acortamiento en la longitud de los entrenudos. Esta reducción del tallo se ha relacionado con la falta en la producción de ácido indolacético (AIA), una de las auxinas más importantes, ya que es un promotor de crecimiento (Chávez, *et al.*, 2003).

Antagonismos y sinergismos

La absorción del zinc por la raíz se ve influenciada por otros elementos como calcio, magnesio, hierro, manganeso y cobre (Rodríguez, 2005).

Deficiencias

La deficiencia de Zn es un problema que se manifiesta a nivel mundial en casi todos los cultivos (Cruzate, 2010). La deficiencia de Zn está íntimamente relacionada con el metabolismo del N. cuando se suprime el Zn, la concentración de proteínas disminuye y aumenta la de los aminoácidos. Al volver a promover el Zn, rápidamente se induce la síntesis de proteínas, es principalmente el resultado de la disminución del ácido ribonucleico (ARN). Esto último es tribuido a la actividad más baja de la Zn polimerasa, a una menor integridad estructural de los

ribosomas y a una mayor degradación del ARN. La fuerte disminución del crecimiento como consecuencia de la inhibición en la formación de proteínas (bajo una deficiencia de Zn) resulta a la vez en un consumo más bajo de carbohidratos lo que conduce a una disminución de la fotosíntesis y propicia una mayor producción de radicales de oxígeno, los cuales al no ser removidos promueven síntomas más fuertes de la deficiencia de Zn (Marschner, 1995).

Excesos

En casos severos, pueden aparecer plantas más pequeñas, entrenudos cortos y agrupamiento de hojas formando una roseta en la porción terminal (Fancelli, 2006).

El zinc puede causar la inhibición de la síntesis de clorofila y alteraciones en la estructura de los cloroplastos, así como la inhibición de enzimas del ciclo de Calvin (Barceló y Poschenrieder, 1999). Induciendo una reducción considerable en la producción de biomasa (Gisbert, 2006).

2.5.4 Manganeseo

Formas de absorción

El Mn está presente en las plantas principalmente en forma divalente Mn (II). Esta forma de Mn se combina rápidamente con ligandos orgánicos, en los cuales puede ser rápidamente oxidado a Mn (III) y Mn (IV) (Ferraris *et al.*, 2010).

Funciones metabólicas y fisiológicas

El Mn está presente en las plantas principales en forma divalente (Mn⁺⁺). Esta forma de Mn se combina rápidamente con ligandos orgánicos, en los cuales puede

ser rápidamente oxidado a (Mn^{+++}) y (Mn^{++++}). Además, el Mn desempeña un papel en los procesos de redox, tales como en el transporte de electrones en la fotosíntesis y en la desintoxicación de radicales oxígenos libres (Sharma, *et al.*, 1991).

Antagonismos y sinergismos

El Fe y el Mn están interrelacionados en sus funciones metabólicas, la efectividad de uno está determinada por la presencia del otro, el Mn interfiere en el transporte de Fe desde las raíces hacia el tallo. La clorosis por Fe fue observada en diferentes cultivos cuando el suelo tenía grandes cantidades disponibles de Mn (Eyal, 2008).

Deficiencias

Una leve deficiencia de Mn afecta la fotosíntesis y reduce el nivel de carbohidratos solubles en la planta, pero el suplemento de este micronutriente reactiva la evolución fotosintética de oxígeno. Una deficiencia más severa de Mn rompe la estructura de cloroplastos y esta condición no se puede revertir. Debido a la participación fundamental del Mn en la cadena de transporte de electrones durante la fotosíntesis (Fageria, *et al.*, 2002).

Excesos

La toxicidad del manganeso puede ser un importante factor limitante de la productividad agrícola, especialmente en zonas tropicales y se centra específicamente en los cloroplastos, causando síndromes similares a los de la foto inhibición (Barceló, *et al.*, 2009).

2.5.5 Molibdeno

Formas de absorción

El molibdeno es absorbido por las raíces de las plantas como un ion divalente MoO_4^{2-} . El requerimiento de molibdeno es el más bajo que para cualquiera de los demás nutrientes. Las funciones del molibdeno están relacionadas con el cambio de valencias como un componente de enzimas. En su estado oxidado existe como Mo (VI) y es reducido a Mo (V) y eventualmente a Mo (IV) (Ferraris, 2010).

Funciones metabólicas y fisiológicas

Las enzimas que contienen molibdeno como un cofactor son: xantina oxidasa-deshidrogenasa, aldehído oxidasa, sulfito oxidasa, nitrato reductasa y nitrogenasa. En la enzima nitrato reductasa existen dos átomos de molibdeno y esta enzima cataliza la reducción de nitrato a nitrito por un cambio reversible de valencias. También la molécula de la enzima nitrogenasa contiene dos átomos de molibdeno por lo que el molibdeno está directamente involucrado en la reducción del nitrógeno (Fontanetto, *et al.*, 2006).

Deficiencias

La falta de molibdeno en el suelo provoca la aparición de manchas cloróticas intervenales en las hojas inferiores, seguido de una necrosis marginal y de un repliegue de las hojas. En general las plantas deficientes en molibdeno producen hojas deformes con los márgenes irregulares lo que hace que las hojas estén menos anchas y con una menor área foliar (Ferraris y Couretot, 2005).

2.5.6 Boro

Antagonismos y sinergismos

Se ha observado interacciones entre Fe-Mo y se ha sugerido que el Mo acentúa la deficiencia de Fe debido a la formación de un precipitado de Fe molibdato en las raíces. Se ha sugerido que el Mo interfiere en la reducción del Fe en la fase sólida. En otra situación, a concentraciones adecuadas o marginales de Mo, favorece la absorción de Fe y a concentraciones más altas deprimen la absorción de Fe.

Formas de absorción

Las plantas adsorben el boro principalmente bajo la forma de ácido bórico sin disociar, H_3BO_3 , representado con mayor exactitud como $B [OH]_3$. Dentro de la planta el boro es un elemento poco móvil (Salisbury y Ross, 1994).

Funciones metabólicas y fisiológicas

El boro participa en los procesos de mantenimiento de la estructura de la pared celular, mantenimiento de la estructura de la membrana y de soporte en actividades metabólicas como funciones del crecimiento y desarrollo de las plantas (Bolaños *et al*, 2004).

Otra función atribuida a este elemento es la inhibición de la formación del almidón por medio de una combinación con la parte activa de la fosforilasa, de esta manera, el boro tiene una función protectora al prevenir la excesiva polimerización de los azúcares en las situaciones de síntesis del azúcar. El boro es requerido tanto para la división como para la elongación celular y participa en la biosíntesis de la lignina por lo que se considera también juega un papel importante en la diferenciación del xilema (Fontanetto *et al.*, 2006).

Antagonismos y sinergismos

El efecto de iones competitivos en la disminución de la retención de B sobre óxidos minerales en el siguiente orden, cloruro < sulfato < fosfato. El hidróxido de magnesio puede remover apreciables cantidades de B a partir de las soluciones (Goldberg, 1997).

Deficiencias

La carencia de este micronutriente en las plantas causa problemas tales como la muerte del centro de crecimiento, el desarrollo lento de las raíces y otros síntomas dependiendo de la severidad de la deficiencia (Camacho-Cristóbal, 2005).

2.6 Importancia de la calidad del cultivo de la cebolla

2.6.1 Peso

El balance nutricional con micronutrientes incrementa el peso fresco del bulbo, porque se mejora los procesos funcionales de síntesis de clorofila, transformación de asimilados y transferencia de energía; esto se relaciona con eficiencia en el proceso de llenado del bulbo. La mayor fotosíntesis neta del cultivo por efecto del balance con nutricional estimula el inicio de la bulbificación y el transporte equilibrado de carbohidratos al bulbo, debido a que en la fisiología de rendimiento del bulbo se establece una marcada competencia por los carbohidratos entre el estado vegetativo y el llenado de los bulbos (Mengel y Kirkby, 2000). El peso promedio de las cebollas blancas es de 250 g. (Castillo, 1991).

2.6.2 Grados brix

Los bulbos son órganos reservantes, no contiene almidón en sus tejidos y los hidratos de carbono acumulados son fructanos (polímeros de fructosa) de diferente peso molecular. Los aligofructanos constituyen más del 65% de los carbohidratos no estructurales y el resto está compuesto por azúcares simples y por una baja proporción de fructanos más complejos. La glucosa, fructosa y sacarosa son las que aportan el dulzor de las cebollas pues los fructanos no son dulces, sin embargo, se degradan en los mencionados azúcares durante los procesos metabólicos por lo que el sabor de la cebolla puede cambiar durante el almacenamiento (Jaime, *et al*, 2002). Si valor estándar de cebolla promedia 10.4 grados brix. (Castillo, 1991).

2.6.3 Firmeza

Thompson 1998, define la firmeza como un proceso no destructivo el cual es utilizado para determinar la calidad de pos cosecha de una fruta y que su técnica de determinación puede ser basada en deformación forzada, fuerza-impacto, vibración de baja frecuencia, vibración sónica y respuesta acústica, y considera que una fruta puede cambiar su firmeza durante el proceso de pos cosecha especialmente durante la madurez fisiológica cuando el producto se ablanda rápidamente.

La firmeza es el mejor indicador a nivel práctico para determinar la maduración de un fruto en sus diferentes etapas, ésta determina los niveles óptimos de consumo, transporte y manejo del producto. La fuerza de firmeza además de determinar el estado de maduración de una fruta y adicionalmente es un buen predictor de su vida útil potencial y grado de ablandamiento (Barbosa *et al*. 2003). La cebolla blanca son aptas para su conservación puesto que con 7.2 Kg de firmeza la hacen viable (Castillo, 1991).

2.6.4 Vitamina C

Es fundamental señalar la importancia que adquiere una correcta nutrición, ya que las enzimas necesitan determinados oligoelementos como zinc, cobre, manganeso, que actúan como grupos prostéticos. En una segunda línea se incluyen las sustancias antioxidantes que eliminan radicales libres. Estas sustancias son vitaminas antioxidantes tales como el ácido ascórbico (vitamina C), los tocoferoles (vitamina E), el b-caroteno; así como otros compuestos bioactivos presentes, fundamentalmente en alimentos de vegetal, tales como compuestos fenólicos o carotenoides (Zafrilla, *et al.*, 2002). El potencial efecto antioxidante en la cebolla viene dado por la presencia en su composición química de compuestos fenólicos tales como flavonoides, compuestos azufrados responsables de la pungencia de la cebolla, y vitamina C (Shon, *et al*, 2004; Lanzotti, 2006). Por cada 100 g de cebolla contiene 19 mg de vitamina C (Moreiras y Col, 2013).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

La investigación se llevó a cabo en el campo experimental del departamento de horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México entre las coordenadas geográficas 25°21'24" latitud norte y 101°2'3" longitud oeste con una altitud de 1764 msnm.

3.2 Material vegetativo

Se utilizó la cebolla blanca variedad Cristal White, la cual se caracteriza por ser una especie de fotoperiodo corto, la forma del bulbo es achatada de tamaño mediano de color blanco. La duración del ciclo es en promedio de 180 a 185 días.

3.3 Siembra y trasplante

La siembra se realizó el 20 de agosto del 2014 en una charola de plástico de 200 cavidades con semillas de la variedad cristal White.

Se trasplanto el 4 de octubre del 2014, a los 45 días después de la siembra. Se utilizaron macetas de plástico con capacidad para 5 kilogramos de sustrato (70% + 30%) peat moss y perlita respectivamente saturando previo al trasplante.

3.4 Riego

En charola se regaba cada dos días o dependiendo de la humedad que se presentaba en el medio ambiente.

Previo al trasplante se saturaron las macetas después de esto se le dieron riegos diarios a razón de 500 mililitros por maceta posteriormente a los 20 días después de trasplantar se le aumento el volumen de agua a 1 litro por maceta. Conforme la humedad del ambiente aumentaba se le prolongo más el riego cada dos o tres días conforme a las necesidades.

3.5 Fertilización

La fertilización se realizó con intervalos de 5 días entre aplicación de fertilizantes a los 20 días después del trasplante se empezó con la aplicación de los tratamientos con intervalos de cada 8 días. La dosis se muestra a continuación (tabla 2).

Se aplicó vía foliar aminoácidos para evitar algún estrés causado por cambios de temperatura.

Tabla 2. Dosis de fertilización aplicados.

Nutrientes	fertilizantes	Dosis (g aplicación)
Nitrógeno	UREA	1.6
Fosforo	MAP	0.5
Potasio	Sulfato de potasio + nitrato de potasio	2.4 + 2.4
Calcio	calitech	6.6

Magnesio	Nitrato de magnesio	1.68
Azufre	Sulfato de potasio	2.4

3.6 Tratamiento fitosanitario

Se puso énfasis principalmente en la prevención de enfermedades. Aplicando en el ciclo de manera foliar tratamientos preventivos de fungicida como Cuperhidro, Tecto y Mancozeb alternados cada 8 días, con la ayuda de un atomizador.

3.7 Tratamientos evaluados

Tabla 3. Los tratamientos se aplicaron vía sustrato a intervalos de 8 días a cada planta como se muestra a continuación.

TRATAMIENTO	Cantidad Aplicada
Testigo	S.A
Quelato de fierro	1.5 ml
Quelato de cobre	1 ml
Quelato de zinc	1.5 ml
Quelato de manganeso	0.3 g
Quelato de molibdeno	1 ml
Quelato de boro	0.3 ml

3.8 Variables evaluadas

3.8.1 Área foliar

Para esta variable se tomó 5 repeticiones de 10 de cada tratamiento para la toma de lectura con el aparato portable medidor de área foliar LI-COR LI 3000 A en centímetros cuadrados.

3.8.2 Diámetro ecuatorial del bulbo

En esta variable se tomaron 5 bulbos de cada tratamiento, y con un vernier de la marca truper de 15 centímetros se procedió a tomar lectura en centímetros.

3.8.3 Diámetro polar del bulbo

En esta variable se tomaron 5 bulbos de cada tratamiento, y con un vernier de la marca truper de 15 centímetros se procedió a tomar lectura en centímetros.

3.8.4 Peso fresco del bulbo

De las mismas muestras de bulbos de los parámetros anteriores 5 bulbos de cada tratamiento se pesaron en una balanza eléctrica marca *Scout-pro* las lecturas se tomaron en gramos.

3.8.5 Longitud de raíz

Las lecturas se les tomaron a 5 repeticiones de 10 de cada tratamiento, para tomar correctamente este parámetro se lavó con cuidado las raíces para evitar que se rompan me medio con una cinta métrica y las lecturas fueron en centímetros.

3.8.6 Peso fresco de raíz

En esta variable se tomó 5 repeticiones y se lavó para evitar errores en la lectura se pesó con una balanza eléctrica de la marca scout-pro se utilizó un recipiente para colocar las raíces se taro y se tomó las lecturas en gramos.

3.8.7 Potencial hídrico (pH)

Se tomaron 5 repeticiones de cada muestra y en un mortero se extrajo el jugo de cada una de ellas y con un potenciómetro de la marca HANNA se tomó la lectura.

3.8.8 Solidos solubles totales (grados brix)

Para este parámetro se hizo uso de un refractómetro portátil tipo HI 96801 en el cual se agregó una gota del fruto y se tomó la lectura correspondiente, aplicándosele a dos repeticiones en todos los tratamientos más testigo.

3.8.9 Firmeza

Se utilizó un penetro metro de la marca FRUIT PRESSURE TESTER FT 327 con puntilla de 11 milímetros, para determinar firmeza el cual se utilizaron 5 frutos de cebolla de todos los tratamientos más el testigo la lectura se tomó en kg.cm^2 .

3.8.10 Vitamina C

Se utilizó un matraz Erlenmeyer de 125 ml, mortero, balanza eléctrica, reactivos como ácido clorhídrico al 2%, reactivo Thielmann (0.2 gr de 2, 6, dicloroindofenol). Para esto se pesó 20 gr de muestra de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones, colocándolos en el mortero, se agregó ácido clorhídrico al 2%, se filtró el contenido de mortero a raves de una gaza. Se tomó una alícuota de 10 ml de filtrado en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. En una bureta se midió un volumen conocido del reactivo Thielmann, y se tituló la alícuota hasta la aparición de un color rosácea, se anota el volumen gastado. Por último se calcula el contenido de vitamina C. el resultado fue mg de vitamina C por 100 gramos de cebolla.

3.8.11 Diseño estadístico

El análisis de varianza se realizó bajo el diseño completamente al azar, se empleó la prueba de comparación de medias mediante la metodología de Tukey ($\alpha=0.05$) por medio del paquete estadístico MINITAB 16 y para detectar diferencia estadística en cuando a los tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Área foliar

Los datos arrojados por la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestran que si existió diferencia estadística significativa (figura 1), se puede observar que el tratamiento 3 quelato de zinc fue el que obtuvo mayor área foliar, debido a que el Zn influye sobre los procesos fotosintéticos, siendo un componente esencial de varios sistemas de enzimas para la producción de energía, la regulación y síntesis de proteínas, el mantenimiento de la integridad de la membrana de la raíz; así mismo, interviene en el crecimiento y la fisiología de la planta (Webb, 1994). Los tratamientos 2 (Q Fe), 3 (Q Cu), 5 (Q Mn), 6 (Q Mo) se comportaron de igual manera estadísticamente, solo el tratamiento 7 (Q B) se comportó igual que el testigo quienes obtuvieron poca área foliar.

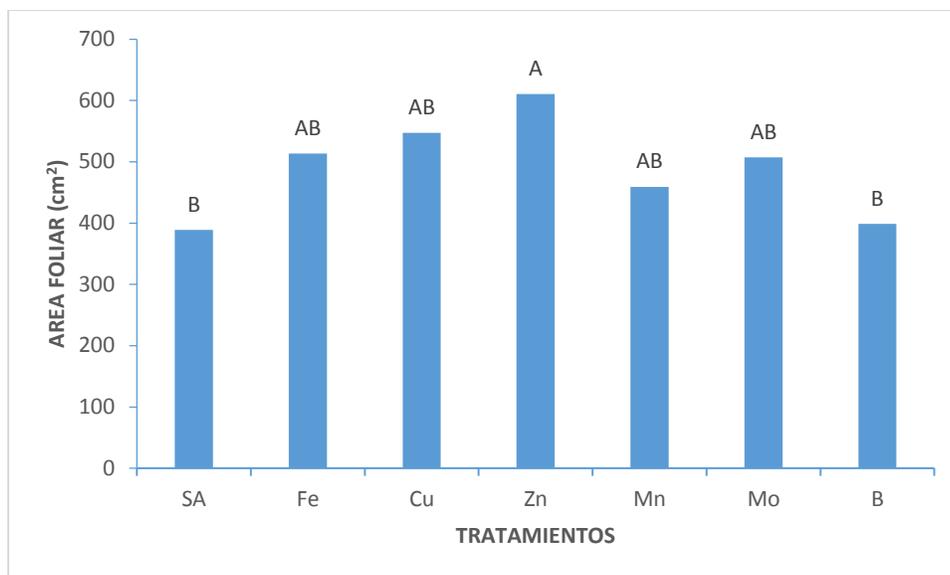


Figura 1. Área foliar en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.2 Diámetro ecuatorial del bulbo

Los resultados con respecto a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestran que si existió diferencia estadística significativa (figura 2), se puede observar que el tratamiento 4 quelato de zinc fue el que obtuvo mayor diámetro ecuatorial en el bulbo, puesto que el zinc participa en la formación de hormonas de crecimiento (auxinas), activador de enzimas (Fancelli, 2006). Los tratamientos 2 (Q Fe), 3 (Q Cu), 6 (Q Mo) y el 1 (testigo) estadísticamente se comportan igual, los tratamientos 5 (Q Mn) y 7 (Q B) son los que obtuvieron un menor diámetro ecuatorial, por debajo del testigo, puesto que el manganeso participa en el proceso fotosintético (parte aérea) (Cerveñansky, 2011) y el boro actúa en el crecimiento reproductivo, incrementando el tubo polínico para la reproducción (Lewiz, 1980).

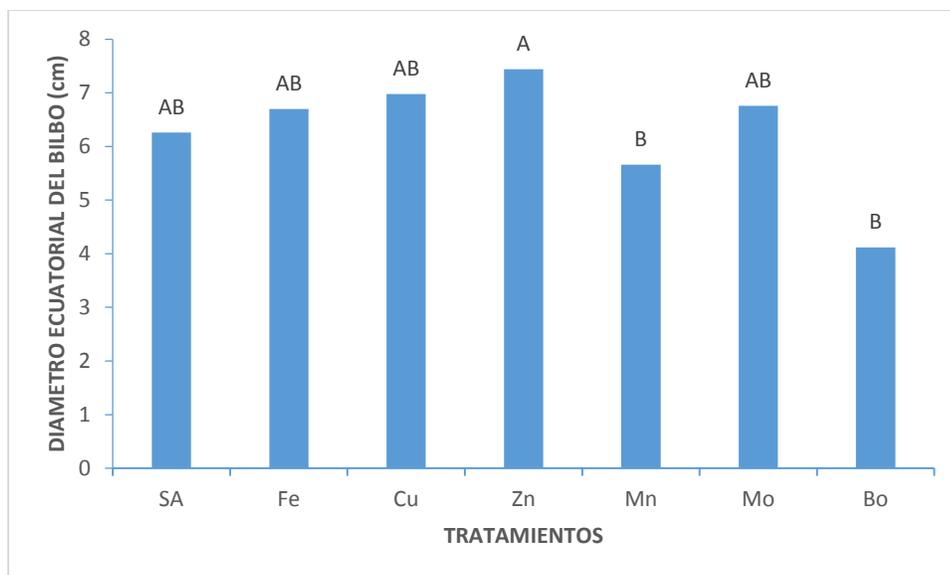


Figura 2. Diámetro ecuatorial en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.3 Diámetro polar del bulbo

Los resultados con respecto a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestran que si existió diferencia estadística significativa (figura 3), se puede observar que los tratamientos 2 (Q Fe), 3 (Q Cu), 4 (Q Zn) y 6 (Q Mo) fueron los que obtuvieron mayor diámetro polar en el bulbo, el tratamiento 5 (Q Mn) y el 1 (testigo) estadísticamente se comportan igual, el tratamiento 7 (Q B). Esto debido a que el boro tiene menor exigencia en la cebolla de acuerdo a evaluaciones hechas por (Peña, *et al*, 1999) y (Lorenz y Maynard, 1988), quienes encontraron que los efectos del boro sobre el crecimiento y rendimiento de la cebolla no fueron evidentes y describieron que la respuesta relativa de la cebolla al boro es baja, y alta a las aplicaciones de Zn.

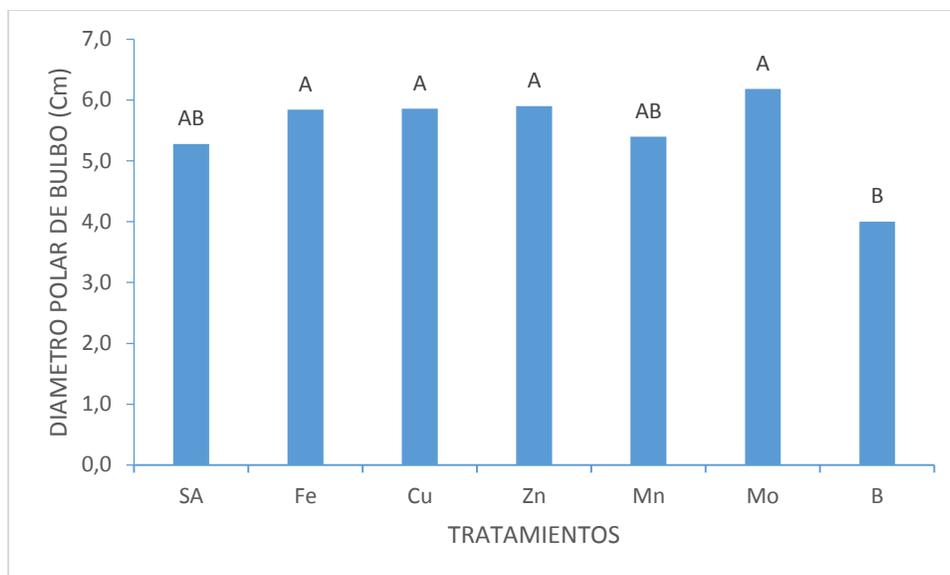


Figura 3. Diámetro polar en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.4 Peso fresco del bulbo

Los datos arrojados por la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestran que si existe diferencia significativa (figura 4), siendo el tratamiento 4 (Q Zn) el que mejor peso fresco del bulbo muestra, el zinc favorece el desarrollo del almidón e interviene en el metabolismo de los carbohidratos para incrementar el peso en la planta y garantiza un aumento en la calidad fotosintética, también una estimulación de crecimiento vegetal y un aumento en el desarrollo de proteínas (Martínez, *et al.*, 1995). Los tratamientos 2 (Q Fe), 3 (Q Cu), 6 (Q Mo) y el testigo se comportan de la misma manera aunque no son los mejores, el tratamiento 5 (Q Mn) se comportó diferente de los demás siendo obteniendo menor peso de bulbo y el tratamiento 7 (Q B) resulto ser el peor tratamiento en este parámetro por debajo del testigo.

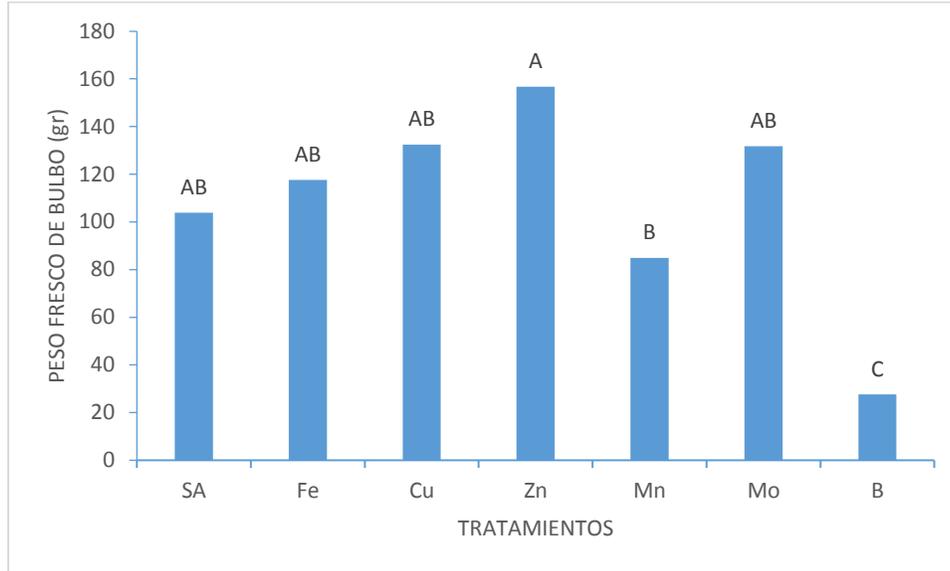


Figura 4. Peso fresco del bulbo en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.5 Longitud de raíz

Los resultados con respecto a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestran que si existió diferencia estadística significativa (figura 4), se puede observar que los tratamientos 5 (Q Mn) fue el que obtuvo mayor longitud de raíz, (Sharma, 1991) el Mn desempeña un papel importante en los procesos de redox, los tratamientos 6 (Q Mo) y 7 (Q B) con el testigo obtuvieron resultados similares, el tratamiento 3 (Q Cu) fue el peor resultado, el cobre afecta de manera negativa en la diferenciación celular y presenta antagonismo con el hierro principalmente en suelos calizos (Espinoza, *et al.*, 2010).

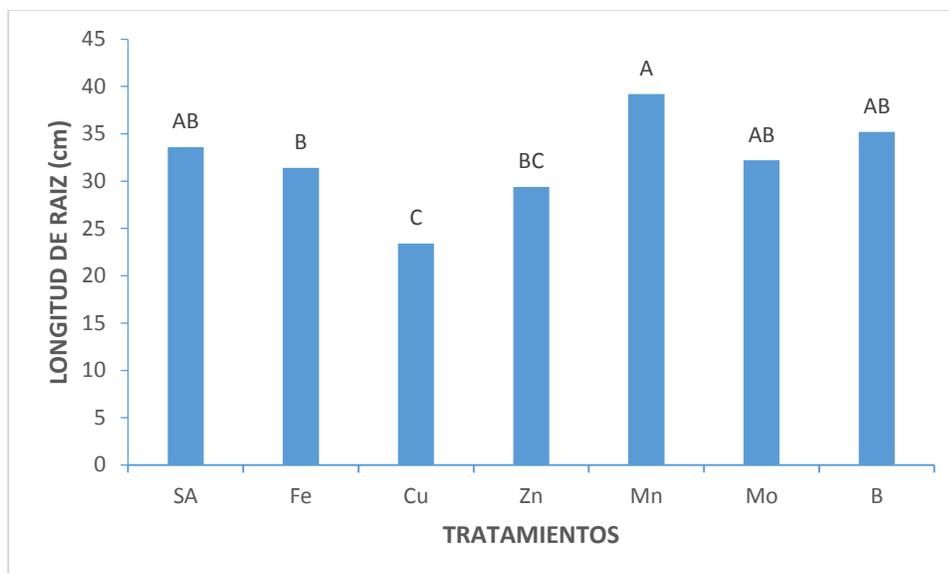


Figura 5. Longitud de raíz en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.6 Peso fresco de la raíz

Los resultados con respecto a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestran que si existió diferencia estadística significativa (figura 5), se puede observar que los tratamientos 5 (Q Mn) fue el que obtuvo mayor peso fresco de raíz al igual que el testigo, los tratamientos 2 (Q Fe), 3 (Q Cu) y 6 (Q Mo) obtuvieron resultados similares. Los tratamientos 4 (Q Zn) y 7 (Q B) se comportaron de forma negativa, Puesto que altos niveles de P disponibles inducen una deficiencia de zinc. Existen muchas explicaciones: la interacción del suelo con la formación de $Zn_3(PO_4)_2$. El antagonismo P-Zn en las raíces afecta la translocación, el efecto de “dilución” en el tejido debido a la alta tasa de crecimiento que excede la tasa de absorción,

fisiológicamente afecta debido a la interferencia del P en la función metabólica del Zn (Ronen, 2008).

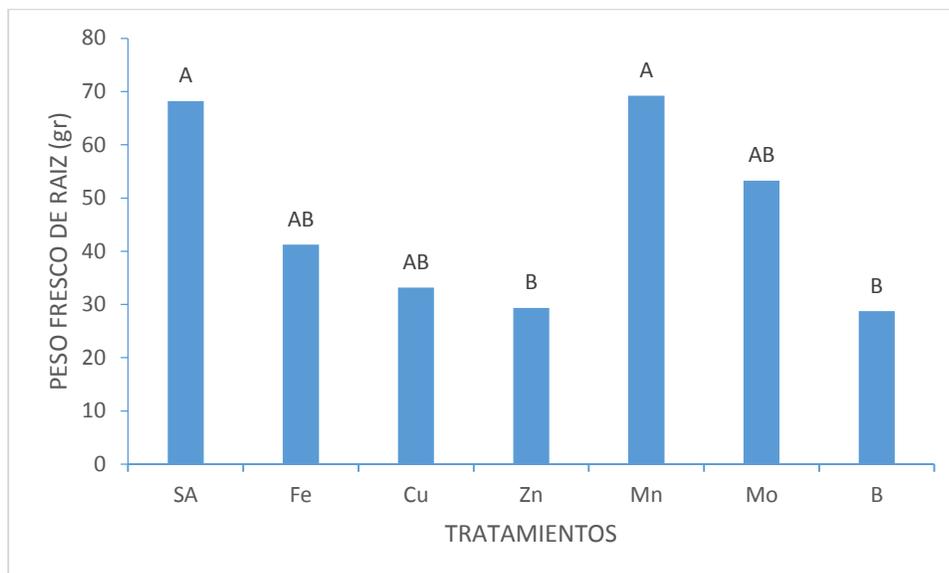


Figura 6. Peso fresco de raíz en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.7 pH

Los resultados con respecto a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestran que no se encontraron diferencias estadísticas en los tratamientos, obteniéndose valores similares entre sí. Esto difiere del criterio de Rahim y Fordham (2001) al señalar que a mayor tiempo de cosecha aumenta el pH debido a la concentración de algunos ácidos orgánicos presentes en los bulbos, entre ellos pirúvico, málico y cítrico. Las diferencias podrían atribuirse a las condiciones ambientales existentes durante el desarrollo del cultivo para cada caso.

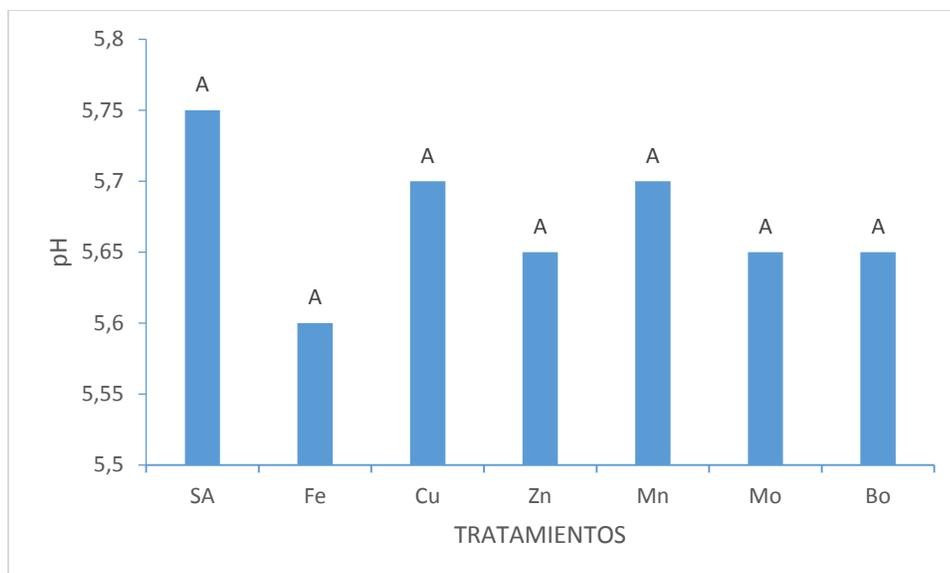


Figura 7. pH del bulbo en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.8 Sólidos solubles (grados brix)

Los resultados con respecto a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestra que en los tratamientos no hay diferencia significativa. Esto coincide con lo reportado por (Pozo, 2005) quien reporta de 7 a 8 grados brix obtenidas de algunas variedades estudiadas de cebolla.

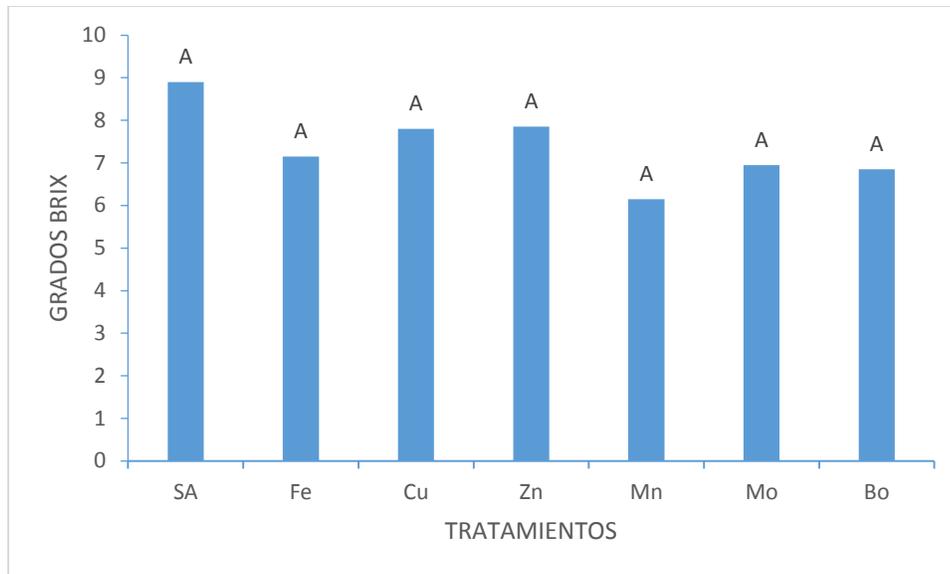


Figura 8. Grados brix del bulbo en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.9 Firmeza

Los resultados obtenidos mediante la prueba Tukey ($\alpha=0.05$) los tratamientos no muestran diferencias significativas.

Los cambios en la fuerza máxima de fractura en cebolla durante el almacenamiento, evidencian la pérdida de fracturabilidad y por tanto el ablandamiento del tejido, que está relacionado con la pérdida de frescura; este fenómeno ha sido descrito por (Toivonen et al., 2008) y (Howard et al., 1994) como

un proceso en el que las paredes celulares de las células pierden su fuerza y por lo tanto adhesión entre ellas, disminuyendo su firmeza y perdiendo la capacidad de fracturabilidad, en los vegetales frescos.

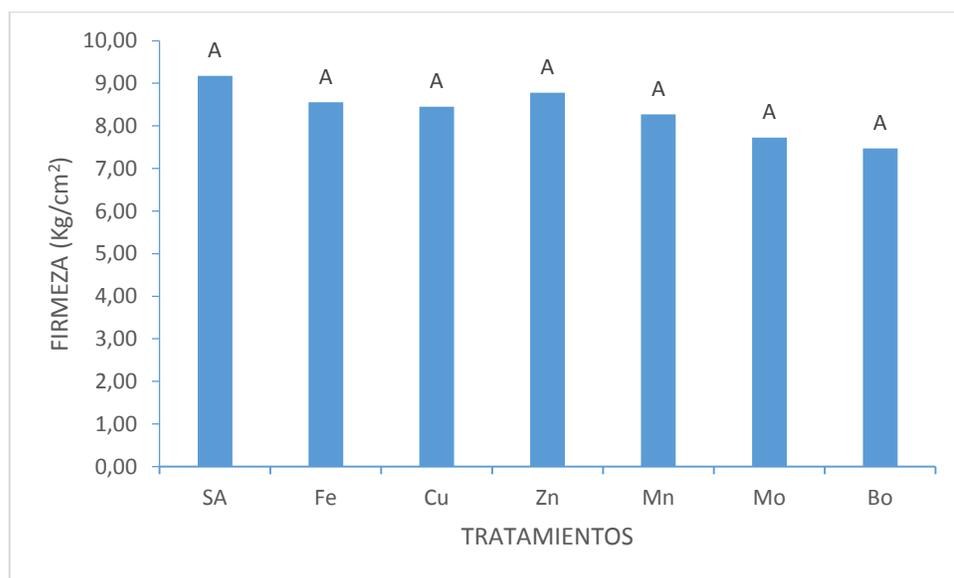


Figura 9. Firmeza del bulbo en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

4.10 Vitamina C

Los resultados obtenidos mediante la prueba Tukey ($\alpha=0.05$) muestran diferencia estadística, donde el tratamiento 4 (Q Zn) fue el mejor resultado, ya que su función principal es la de activador enzimático o antioxidantes en ello la vitamina C (Fancelli, 2006). El segundo mejor fue el testigo, los tratamientos 2 (Q Fe), 3 (Q Cu) y 6 (Q Mo) muestran un comportamiento similar, el tratamiento 7 (Q B) fue el más bajo.

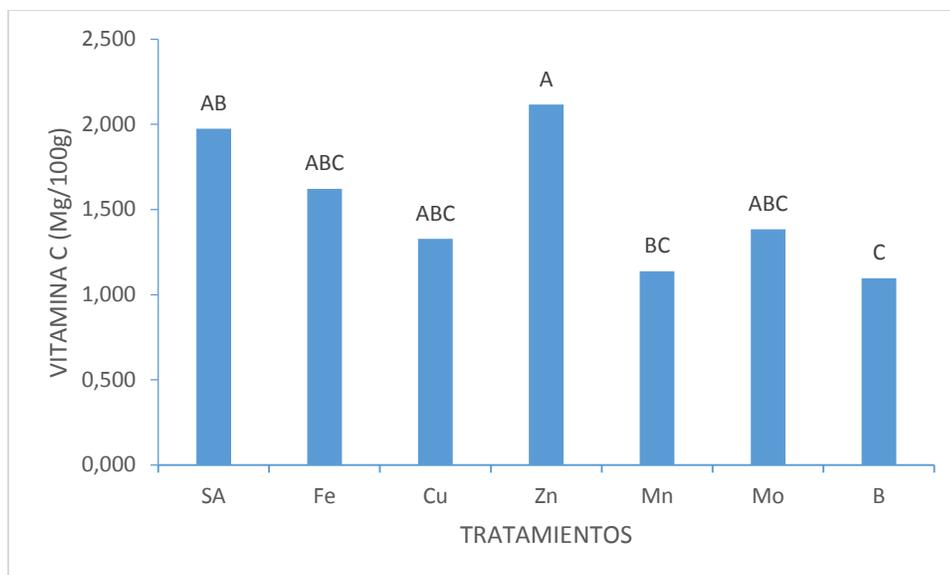


Figura 10. Vitamina c en el cultivo de cebolla tratada con diferentes micronutrientes quelatados.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de microelementos quelatados en el cultivo de cebolla Cristal White indicaron que estadísticamente hay comportamiento positivo en base a la calidad y productividad.

En las variables pH, solidos solubles (Grados Brix), y firmeza no hubo diferencia significativa en la aplicación de microelementos quelatados.

El zinc (Zn) quelatado favorece a la síntesis de vitamina C, así como a la formación de biomasa y la calidad del bulbo.

Mediante la aplicación de Manganeseo (Mn) quelatado se estimula el desarrollo radicular, tanto en peso como en elongación.

El fierro (Fe), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) en forma de quelatados favorecieron al diámetro polar del bulbo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar L. J. 2013. Evaluación de fertilizantes quelatados en la producción y productividad de berenjena (*Solanum melongena*) en condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. UAAAN.

Álvarez-Fernández A, García-Marco S & Lucena JJ 2005. Evaluation of synthetic iron (III)-chelates (EDDHA/Fe³⁺, EDDHMA/Fe³⁺ and

EDDHSA/Fe³⁺) to correct iron chlorosis. European Journal of Agronomy, 22: 119-130

Barbosa Cánovas, Gustavo; Fernández Molina, Alzamora, Juan J. Stella M. Tapia, Maria S. López Malo, Aurelio and Chanes, Jorge Welti. 2003. Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas. Roma: Agriculture Organization of the United Nations. 99 p. (Technical Manual FAO Agricultural Services Bulletin, no.149).

Bolaños, L. Lukaszewski, I. Bonilla. 2004. Boro. Física de la planta. 42(11). Pp907-912.

Brewster. J. 2001. Las cebollas y otros allium. España: Horticulture research international wellesbourne warwick CV359EF UK.

Castell, V. y Díez, M. J. 2000. Colección de Semillas de Cebolla del Centro de Conservación y Mejora de la Agro diversidad Valenciana. Monografías INIA: Agrícola No. 8. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. pp 26- 28.

Castillo, A. Mateo, 1991. Variedades tradicionales de cebollas cultivadas en España. Hortofrutícola. Pp 38-44.

Chávez, G. F. J.; Figueroa, V. U.; Medina, M. M. C. 2003. Abastecimiento de Micronutrientes en Nogal Pacanero. NOGATEC. Torreón, Coahuila, México. pp. 12-16. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México.

Campo. R. y M. Hungría. 2002. Importancia dos micronutrientes na fixação biológica do N₂. Informações Agronômicas Nº 98. Pp 6-9

Carlos Cadahía, 2005. Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Ediciones mundi-prensa libros, S. A. Madrid, España. Pp 113-131.

Campos B.E. 2013. Efecto de microelementos en la síntesis de clorofila y producción de lechuga (*lactuca sativa*). Tesis de licenciatura. UAAAN.

- De la Cruz Landero N., Hernández V.E. 2010.** Respuesta en el suelo contaminado con metales pesados desde unos campos de extracción de petróleo. Ciencia aplicada. Pp 1-5.
- Ojeda Barrios, Hernández-Rodríguez, J. Martínez-Téllez, A. Núñez-Barrio, E. Perea-Portillo. 2009.** Aplicación foliar de quelatos de zinc en nogal pacanero. Facultad de ciencias agro tecnológicas, universidad autónoma de chihuahua. Revista Chapingo serie horticultura, Vol. 2. Pp 206-210.
- Dilruba S.; Alam M. M.; Rahman M. A.; Hasan M. F. 2006.** Influence of nitrogen and potassium on yield contributing bulb traits of onion. Internatinal Journal of Agricultural Reaserch. 1: 85-90.
- Fan, M.; Zhao F.; S. Fairweather-Tait; P. Poulton; S. Dunham and S.P. McGrath. 2008.** Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years, J Trace Elements Med Biol 22: 315-324.
- Fageria N., V. Baligar y R. Clork. 2002.** Los micronutrientes en la producción de cultivos. Elsevier Science. Pp 185-288.
- Fernandes J.C. y Henriques F.S. 1991.** Biochemical, Physiological, and structural effects of excess copper in plants. Bot. Rev. 57 pp. 246-273.
- Ferraris, G., L. Couretot y J. Urrutia. 2010.** Tecnonologías para la aplicación de microelementos en maíz. Dosis y sistemas de aplicación de zinc en combinación con fuentes nitrogeno-azufradas. V Jornada de Maíz. AIANBA-INTA EEA Pergamino. 11p.
- Fancelli, AL. 2006.** Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Pp 11-27.En: M Vázquez. Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina.207pp.
- Ferraris, G., L. Couretot y J. Ponsa. 2005.** Evaluación de la utilización de molibdeno, cobalto, boro y otros nutrientes en soja de primera. En: Soja. Resultados de Unidades demostrativas del Proyecto Regional Agrícola,

año 2005. CERBAN. Áreas de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas. p.p 62-65.

Fontanetto, H.; Keller, O; Negro, C; Belotti I.; Y Giailevra D. 2006. Inoculación y fertilización con Cobalto y Molibdeno sobre la nodulación y la producción de soja. INTA, E. E. A. Rafaela. Galrão.

García C. R. 2013. Efecto de diferentes fuentes de fertilización en cultivo de fresa (*fragaria x annanassa*) bajo invernadero. Tesis de licenciatura. UAAAN.

Gómez, M.I. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. Microfertisa S.A. Produmedios, Bogotá.

Hopkins W.G. 1995. Roots, Solis, and Nutrient uptake. Introduction to plant physiology, edición 2. John Wiley y Sons, inc, new york. Pp. 77-92.

IFA. 2000. World Fertilizer Use Manual. Wichmann W (Ed), BASF AG, Germany. 600p.

JAIME L., F. Martínez, M. A. Martín-Cabrejas, E. Mollá, F. J. López-Andréu, K. W. Waldron And R. M. Esteban. 2002. Study of total fructan and frucyooligosaccharide content in different onion tissues. Journal of the Science of Food and Agriculture. Vol. 81 (2): 177 – 182.

Quintero, C.E.; E.S. Arévalo; N.G. Boschiatti y N.M. Spinelli. 2006. Clorosis en suelos con calcáreo. En: M Vázquez (Ed.) Micronutrientes en la agricultura. AACCS, Argentina. pp 113-125

Lincoln Taiz y Eduardo Zeiger, 2006. Fisiología vegetal, tercera edición, Publicacions de la universitat Jaune, pp 669-675.

Lucena Juan J. 2009. El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. Departamento de química agrícola, universidad autónoma de Madrid, Revista Ceres, edición 2009, pp 528-535.

Liliana C. Pérez, Luis E. Rodríguez y Manuel I. Gómez. 2008. Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los

micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. Agronomía Colombia, tercera edición. Pp 478-486.

Lanzotti, V. 2006. The analysis of onion and garlic. Journal of Chromatography, A1112 (1–2), 3–22.

Landero J. A., Wrobel K., 2008. Efecto de algunos metales pesados y sustancias húmicas del suelo en la producción hortícola, de las zonas de las minas de plata de Guanajuato. México. Phys UV Francia 10/ pp. 983.

Lorenz, O. y D. Maynard. 1988. Knott's handbook for vegetable growers. 3rd edition. Wiley, Nueva York.

Marroquín, P.R. 2014. Análisis de calidad de cebolla (*allium cepa*) Var. Cristal White cultivada con diferentes colores de acolchado plástico. Tesis de licenciatura. Departamento de horticultura. UAAAN.

Mata V. H.; Patishtán P. J.; Vázquez G. E.; Ramírez M. M. 2011. Fertirrigación del cultivo de cebolla con riego por goteo en el sur de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Las Huastecas. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas. México. 158p.

Maksymiec W. y Krupaz. 2006. The effects of Short term exposition to Cd, excess Cu ions and plants. Exp. Bot. 57. Pp 187-194.

Mengel, K. y E. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute. Basel. pp. 245-549.

Navarro. 2008. Manejo de cebollas bajo condiciones de stress. 1ª conferencia internacional de cebolla. Pp 7-15.

Navarro G. M. 2012. Efecto de una correcta nutrición en la calidad final de la cebolla. Memoria 3er Conferencia de Cebollas. Irapuato, Gto., México. s/p

Palmer C.M. y Guerinot M.L. 2009. Facing the Challenges of Cu, Fe and Zn homeostasis in plant. Not. Chem. Biol. Pp 333-340.

Peña C, D. Añez y M. Ávila. 1999. Respuesta de la cebolla a la aplicación de azufre, magnesio, zinc y boro en un suelo alcalino.

Revista Forestal Venezuela 43(2), 173-182.

Posada F., González L., Ulrichs Ch. 2010. Crecimiento de platas de brócoli (*Brassica oleracea* L. Var. *Itálica*) afectada por exceso de zinc. Revista colombiana de Ciencias Hortícolas-Vol. 4-No. 2, edición 2010, pp 163-174.

Rodríguez MR. 2014. INIFAP, paquetes tecnológicos, cebolla. <http://sites.securemgr.com/folder1134/index.cffuseaction=3251103&pageid=44>

Rodríguez M., R. y Luján F., M. 2003. Grano-Delicias y Globo Delicias nuevas variedades de cebolla de fotoperiodo corto para el norte centro de México. Folleto Técnico Número 11. Campo Experimental Delicias. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Delicias Chih., México. 19 p

Salunkhe, D. K. y Kadam, S. S. 2004. Tratado de Ciencia y Tecnología de las Hortalizas. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España. pp 382- 388.

Shrestha H. 2007. A plant monograph on onion (*allium cepa* L.), Pokhara University. The school of phaceutical and biomedical sciences, Nepal. Pp 90.

Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 759 p.

Salisbury F.B y Ross C. W. 1991. Mineral nutrition en plant physiology, Vol1. Wadworth Pub. Belmomt, CA. Pp116-135.

SAGARPA, 2012. Fortalece Tamaulipas producción de cebolla, Tamaulipas, boletín No. 005.

Skerget M, Majhenic L, Bezjak M and Knez Z. 2009. Antioxidant, radical savenging and antimicrobial activities of red onion (*Allium cepa* L) skin and

edible part extracts. *Chemical and Biochemical Engineering*. 23: pp 435-444.

Scheid López, A. 2006. Micronutrientes: La experiencia brasilera. Filosofía de aplicación y eficiencia agronómica. Pp 29-78.

Shon, M.-Y., Choi, S.-D., Kahng, G.-G., Nam, S.-H., & Sung, N.-J. 2004. Antimutagenic, antioxidant and free radical scavenging activity of ethyl acetate extracts from white, yellow and red onions. *Food and Chemical Toxicology*, 42, 659–666.

Thompson, A. Keith. 1998. Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas. Convenio SENA-Reino Unido, Colombia. p. 48-51.

Zhao, F, McGrath, S. 2009. Biofortification and phytoremediation. *Current Opinion in Plant Biology* 2009, 12:373–380.

Webb, J.M. 1994. Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere. pp. 183-199. En: A.J. Manthey, E.D. Crowley y G.D. Luster (eds.). *Recent aspects of Mn and Zn absorption and translocation in cereals*. CRC Press, Boca Raton, FL.

WHO 2002. The World health report 2002. Geneva. World Health Organization.

Zafrilla, P., Morillas, J., Martínez-Cacha, A., Mulero, J., Cayuela, J.M., & López Nicolás, J.M. 2002. Radicales libres y antioxidantes. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 167, 109–114

VII. APÉNDICE

Análisis de varianza y medias de las variables medidas a las plantas de cebolla con la adición de micronutrientes quelatados.

Tabla A1. ANOVA de área foliar

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	191003	31834	3.80	0.007
ERROR	28	234522	8376		
TOTAL	34	425525			

CV= 16.31 M= 489.3

Tabla A2. ANOVA de diámetro ecuatorial del bulbo

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	36.463	6.077	12.17	0.000
ERROR	28	13.984	0.499		
TOTAL	34	50.447			

CV= 17.57 M= 6.274

TABLA A3. ANOVA de diámetro polar del bulbo

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	15.879	2.646	4.61	0.002
ERROR	28	16.060	0.574		
TOTAL	34	31.939			

CV= 13.24 M= 5.494

TABLA A4. ANOVA de peso fresco del bulbo

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	53193	8866	11.28	0.000
ERROR	28	22016	786		

TOTAL	34	75210			
-------	----	-------	--	--	--

CV= 39.04 M= 107.9

TABLA A5. ANOVA de longitud de raíz

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	728.7	121.4	8.19	0.000
ERROR	28	415.2	14.8		
TOTAL	34	1143.9			

CV= 15.35 M= 32.06

TABLA A6. ANOVA de peso fresco de raíz

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	9238	1540	4.66	0.002
ERROR	28	9253	330		
TOTAL	34	18491			

CV= 38.00 M= 46.18

TABLA A7. ANOVA de pH del bulbo de cebolla

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	0.02857	0.00476	0.83	0.580
ERROR	7	0.04000	0.00571		
TOTAL	13	0.06857			

CV= 0.86 M= 5.6714

TABLA A8. ANOVA de grados brix del bulbo de la cebolla

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	9.479	1.580	2.45	0.133

ERROR	7	4.505	0.644		
TOTAL	13	13.984			

CV = 12.05 M= 7.379

TABLA A9. ANOVA de firmeza del bulbo de cebolla

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	10.40	1.73	1.29	0.293
ERROR	28	37.54	1.34		
TOTAL	34	47.94			

CV= 7.05 M= 8.348

TABLA A10. ANOVA de vitamina C de la cebolla

FUENTE	GL	SC	CM	F	PR>F
FACTOR	6	5.714	0.952	4.07	0.003
ERROR	35	8.197	0.234		
TOTAL	41	13.911			

CV= 26.17 M= 1.522

Tabla A11. Comparación de medias de la prueba de Tukey $p \leq 0.05$ para la variable de área foliar

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	388.79	B

2	513.69	AB
3	547.46	AB
4	610.36	A
5	458.91	AB
6	507.28	AB
7	398.64	B

TABLA A12. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable diámetro ecuatorial del bulbo

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	6.2600	AB
2	6.7000	AB
3	6.9800	AB
4	7.4400	A
5	5.6600	B
6	6.7600	AB
7	4.1200	C

TABLA A13. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable diámetro polar del bulbo

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	5.2800	AB

2	5.8400	A
3	5.8600	A
4	5.9000	A
5	5.4000	AB
6	6.1800	A
7	4.0000	B

TABLA A14. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable peso fresco del bulbo

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	103.92	AB
2	117.62	AB
3	132.44	AB
4	156.72	A
5	84.93	B
6	131.80	AB
7	27.63	C

TABLA A15. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable longitud de raíz

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	33.600	AB

2	31.400	B
3	23.400	C
4	29.400	BC
5	39.200	A
6	32.200	AB
7	35.200	AB

TABLA A16. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable peso fresco de raíz

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	68.21	A
2	41.26	AB
3	33.16	AB
4	29.35	B
5	69.22	A
6	53.29	AB
7	28.75	B

TABLA A17. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable pH del bulbo de cebolla

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	5.75000	A

2	5.60000	A
3	5.70000	A
4	5.65000	A
5	5.70000	A
6	5.65000	A
7	5.65000	A

TABLA A18. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable grados brix

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	8.9000	A
4	7.8500	A
3	7.8000	A
2	7.1500	A
6	6.9500	A
7	6.8500	A
5	6.1500	A

TABLA A19. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable firmeza

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	9,172	A

2	8,554	A
3	8,454	A
4	8,781	A
5	8,272	A
6	7,727	A
7	7,472	A

TABLA A20. Comparación de medias de la prueba Tukey $p \leq 0.05$ para la variable vitamina C

Tratamiento	Media	Agrupamiento Tukey
1	1,9737	AB
2	1,6212	ABC
3	1,3273	ABC
4	2,1160	A
5	1,1370	BC
6	1,3838	ABC
7	1,0972	C