

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Adiciones Suplementarias de Mg y Zn en la Producción y Calidad de Lechuga
Romana (*Lactuca sativa* L).

Por:

ROBERTO CARLOS CALDERÓN HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Adiciones Suplementarias de Mg y Zn en la Producción y Calidad de Lechuga
Romana (*Lactuca sativa* L).

Por:

ROBERTO CARLOS CALDERÓN HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA.

Aprobada por el Comité de asesoría:

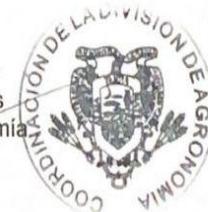

Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente
Asesor principal


Dra. Rocio Maricela Peralta Manjarrez
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coasesor


Ing. Gerardo Rodríguez Galindo.
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2021.

DEDICATORIA.

El presente trabajo de investigación está dedicado primeramente a **Dios** todopoderoso, por ser el pilar fundamental de mi vida y mis proyectos, porque siempre está conmigo.

A **mis padres Mario Calderón y Socorro Hernández** por enseñarme siempre el valor de la responsabilidad y el sacrificio que debemos hacer todos cuando emprendemos una meta, por inculcarme siempre el seguir adelante superándome tanto en lo personal como en lo profesional, nada de esto sería posible sin ustedes.

A **mis hermanos Mayra, Mario y Melissa** por darme ese gran ejemplo y por estar conmigo en todo momento.

A los docentes de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, del departamento de horticultura por brindarme sus conocimientos, experiencias y por darme las herramientas necesarias para mi vida profesional.

AGRADECIMIENTOS.

Le doy gracias a **Dios** por darme la oportunidad de terminar este proyecto, porque sé que él está conmigo en todo momento, gracias por darme salud, sabiduría, paciencia y tantas bendiciones que he recibido. ¡Gracias por todo!

A **mis Padres, Mario Calderón y Socorro Hernández**, por su apoyo incondicional a quienes les debo este triunfo profesional, porque han sido un pilar fundamental en mi vida. Todo esto es por ustedes.

A **mis Hermanos, Mayra, Mario y Melissa**, por sus consejos, compañía y motivación constantes.

Al **Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente** por brindarme de su tiempo, conocimientos y por la confianza para poder realizar este proyecto.

Al **M.C. José Refugio Méndez Vázquez** por brindarme sus conocimientos y por el apoyo en la obtención de variables.

A **T.A. Martina de la Cruz Casillas** por su tiempo y disposición para ayudarme en el laboratorio.

A **mis amigos Andre, Yair, Monserrath, Karim, Juan y Luis Carlos**, por sus consejos, apoyo, motivación y por haberse convertido en mi segunda familia.

A **María Fernanda**, por su compañía, tiempo y constante apoyo en esta etapa de mi vida.

ÍNDICE.

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE.....	III
INDICE DE TABLAS.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. LITERATURA REVISADA.....	2
2.1 Antecedentes del cultivo.....	2
2.2 Superficie establecida y volumen de producción en lechuga.....	2
2.3 Rendimientos comerciales de lechuga.....	3
2.4 Valor nutricional.....	4
2.5 Parámetros de calidad en lechuga.....	6
2.5.1 Peso.....	6
2.5.2 Diámetro polar y ecuatorial.....	6
2.5.3 Sólidos solubles.....	7
2.5.4 Firmeza.....	7
2.5.5 pH.....	8
2.6 El magnesio como elemento mineral del suelo.....	8
2.6.1 Factores que favorecen la disponibilidad de magnesio.....	8
2.6.2 Funciones del magnesio en las plantas.....	9
2.6.3 Deficiencias de Magnesio.....	10
2.6.4 Excesos de Magnesio.....	11
2.6.5 Efecto del Magnesio en el Rendimiento Agronómico de los Cultivos.....	11
2.6.6 Niveles Óptimos de Magnesio para la Planta de Lechuga.....	12
2.7 El Zinc como Elemento Mineral del Suelo.....	12
2.7.1 Factores que favorecen la disponibilidad de Zinc.....	13

2.7.2 Funciones del Zinc en las Plantas.....	14
2.7.3 Deficiencias de Zinc.....	14
2.7.4 Excesos de Zinc	15
2.7.5 Efecto del Zinc en el rendimiento agronómico de los cultivos.	16
2.7.6 Niveles óptimos de Zinc para la planta de lechuga.	16
III. MATERIALES Y METODOS.....	17
3.1 Localización del área experimental.....	17
3.2 Características del material vegetal.....	18
3.3 Manejo del cultivo.....	18
3.3.1 Siembra.....	18
3.3.2 Trasplante	19
3.3.3 Características del suelo	19
3.3.4 Requerimientos Climáticos.....	20
3.3.5 Riego.....	20
3.3.6 Nutrición (Fertilización).....	20
3.3.7 Plagas y enfermedades.....	21
3.4 Descripción de tratamientos.....	21
3.5 Frecuencia de aplicación de los tratamientos.....	22
3.6 Variables de respuesta.....	22
3.8 Análisis estadístico.....	24
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.2 Altura de la planta.....	26
4.3 Número de hojas.....	27
4.4 Peso fresco.....	28
4.5 Peso seco.....	29
4.6 Contenido de clorofila A.....	30
4.7 Contenido de clorofila B.....	31
4.8 Contenido de clorofila total.....	32
V CONCLUSION.....	33
VI LITERATURA CITADA.....	34

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Producción y superficie cosechada de estados de la república mexicana¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Tabla 2 Rendimiento promedio de estados de la república mexicana... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Tabla 3 Valor nutricional de la lechuga...¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Tabla 4 Parámetros de calidad en lechuga, variedad crespa ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Tabla 5 Influencia del magnesio en el crecimiento de raíz en frijol ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Tabla 6 Solución nutritiva empleada.....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Tabla 7 Descripción de tratamientos¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Forma estructural de la clorofila	9
Figura 2 Deficiencia de Magnesio	10
Figura 3 Deficiencia de Magnesio	10
Figura 4 Deficiencia de Zinc.....	15
Figura 5 Deficiencia de Zinc.....	15
Figura 6 Localización del área experimental.....	17
Figura 7 Material vegetal.....	18
Figura 8 Siembra del material vegetal.....	19
Figura 9 Trasplante	19
Figura 10 Proceso para la obtención del contenido de clorofila	23
Figura 11 Establecimiento del experimento.	24
Figura 12 Longitud de raíz	26
Figura 13 Altura de la planta	27
Figura 14 Numero de hojas.....	28
Figura 15 Peso fresco	29
Figura 16 Peso seco	30
Figura 17 Contenido de clorofila A	31
Figura 18 Contenido de clorofila B	32
Figura 19 Contenido de clorofila total.....	33

RESUMEN.

Existe la necesidad de un aumento en la producción de alimentos por su demanda en el incremento exponencial de la población, sin embargo, se busca producir alimentos más sanos y que aporten beneficios a la salud humana (Alzate y Loaiza, 2010). La lechuga es una de las hortalizas más cultivadas en todo el mundo con una producción mundial de 29.134'65 toneladas, sobre una superficie de 1,316,028 de hectáreas (FAOSTAT, 2019). El magnesio juega un papel muy importante en el metabolismo de las plantas, ya que es el átomo central del pigmento verde de las hojas (clorofila), además cumple funciones como activador del metabolismo de respiración de glúcidos y proteínas (Avellán y Cobeña, 2015). El Zinc en las plantas juega un papel muy importante en la síntesis de proteínas; en el metabolismo de carbohidratos existen varias enzimas dependientes de Zinc; asimismo, el Zinc podría tener influencia en la síntesis de auxinas. Al menos 2 800 proteínas son dependientes del zinc, ya sea porque es parte de su estructura o porque es activador de su función (Alcántar *et al.*, 2016). En el presente trabajo se estudió la respuesta del crecimiento de las plantas y el contenido de clorofila del cultivo de lechuga var. "Grandes Lagos" en respuesta a diferentes aplicaciones de Zinc y Magnesio. Se realizó en un espacio con malla sombra en bolsas plásticas utilizando como sustrato peat moss y perlita. Los tratamientos fueron: T1= testigo, T2= Zintrac 1 ml/L, T3= Magtrac 1 ml/L, T4= Zintrac 0.5 ml/L + Magtrac 0.5ml/L, T5= Zintrac 1 ml/L + Magtrac 1 ml/L T6= Zintrac 2 ml/L + Magtrac 2 ml/L. Se utilizó una solución nutritiva Steiner modificada al 100 %, para todos los tratamientos. Dando un total de 6 tratamientos. Se evaluaron 8 variables que fueron: longitud de raíz, altura de la planta, numero de hojas, peso fresco, peso seco, contenido de clorofila A, contenido de clorofila B, contenido de clorofila total. Los resultados se analizaron mediante un análisis completamente al azar utilizando la comparación de medias Tukey a un nivel de significancia de 0.05. Las adiciones de Magnesio (magtrac) en cantidad de 1 ml por litro ejercen efecto de manera positiva sobre la longitud de la raíz, altura de la planta, peso fresco, clorofila A y clorofilas totales, al aplicarse en la etapa de crecimiento vegetativo e inicios del desarrollo (Compactación de cabezas).

Palabras claves: Lechuga, Magnesio, Zinc, Clorofila.

ABSTRACT.

There is a need for an increase in food production due to its demand in the exponential increase in the population, however, it seeks to produce healthier foods that provide benefits to human health (Alzate and Loaiza, 2010). Lettuce is one of the most cultivated vegetables in the world with a world production of 29,134'65 tons, on an area of 1,316,028 hectares (FAOSTAT, 2019). Magnesium plays a very important role in the metabolism of plants, since it is the central atom of the green pigment of the leaves (chlorophyll), it also acts as an activator of the respiratory metabolism of carbohydrates and proteins (Avellán and Cobeña, 2015). Zinc in plants plays a very important role in protein synthesis; In carbohydrate metabolism there are several enzymes dependent on Zinc; likewise, Zinc could have an influence on the synthesis of auxins. At least 2,800 proteins are dependent on zinc, either because it is part of its structure or because it is an activator of its function (Alcántar et al., 2016). In the present work, the response of plant growth and the chlorophyll content of the lettuce cultivar var. "Great Lakes" in response to different applications of Zinc and Magnesium. It was carried out in a space with shaded mesh in plastic bags using peat moss and perlite as substrate. The treatments were: T1 = control, T2 = Zintrac 1 ml / L, T3 = Magtrac 1 ml / L, T4 = Zintrac 0.5 ml / L + Magtrac 0.5 ml / L, T5 = Zintrac 1 ml / L + Magtrac 1 ml / L T6 = Zintrac 2 ml / L + Magtrac 2 ml / L. A 100% modified Steiner nutrient solution was used for all treatments. Giving a total of 6 treatments. 8 variables were evaluated which were: root length, plant height, number of leaves, fresh weight, dry weight, chlorophyll A content, chlorophyll B content, total chlorophyll content. The results were analyzed by a completely randomized analysis using the Tukey mean comparison at a significance level of 0.05. Magnesium (magtrac) additions in an amount of 1 ml per liter have a positive effect on root length, plant height, fresh weight, chlorophyll A and total chlorophylls, when applied in the vegetative growth stage and early stages. development (Head compaction).

Keywords: Lettuce, Magnesium, Zinc, Chlorophyll.

I. INTRODUCCIÓN

Existe la necesidad de un aumento en la producción de alimentos por su demanda en el incremento exponencial de la población, sin embargo, se busca producir alimentos más sanos y que aporten beneficios a la salud humana (Alzate y Loaiza, 2010).

La producción mundial de lechuga ha sido de 29.134'65 toneladas, sobre una superficie de 1,316,028 de hectáreas (FAOSTAT, 2019).

México se ubica en el tercer lugar a nivel mundial en la exportación de lechuga, solo por debajo de España y Estados Unidos de América. Ocupa el noveno lugar en la producción de lechuga a nivel mundial (FAOSTAT, 2019).

Datos proporcionados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) indican que la producción del año agrícola 2019 fue de 515,647 toneladas en una superficie de 20,830 hectáreas. Estos datos nos indican un crecimiento del 39.3 % del año 2013 al 2019 y un valor comercial de 773.47 millones de pesos anuales.

El valor nutritivo de la lechuga difiere según su variedad. La lechuga en general provee fibra, carbohidratos, proteína, y una mínima cantidad de grasa, tiene acción antioxidante, lo cual está relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer. (Noreña, *et al.*, 2016)

La fertilización foliar en los cultivos es complementaria a la adición de fertilizantes al sustrato y se recomienda, especialmente, cuando disminuyen la tasa fotosintética y de absorción de nutrimentos por las raíces (Betancourt *et al.*, 2005).

Este trabajo de investigación busca mejorar la producción y calidad del cultivo de lechuga, aumentando la cantidad de antioxidantes en la planta, mediante aplicaciones adicionales de Magnesio y Zinc a base de dos productos (Magtrac y Zintrac) proporcionado por la empresa YARA. Así como obtener las dosis ideales de ambos productos para el cultivo de lechuga.

II. LITERATURA REVISADA.

2.1 Antecedentes del cultivo.

Según la información recabada la existencia de la lechuga data aproximadamente del año 4500 a.c en grabados de tumbas egipcias, aunque también se dice que es originaria de la India. (Martínez, *et al.*, 2008)

Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI. Existen discrepancias con respecto al origen de esta especie, ya que se encuentra en casi todas las áreas templadas un antecesor en estado silvestre de esta especie. (Del Pino, 2018)

En el año 1500 comenzaron apareciendo las primeras lechugas acogolladas, procedentes de la especie silvestre *Lactuca scariola*, clasificada como una maleza y difundida ampliamente en el centro y sur de Europa, así como en el sur de Rusia. (Valadez, 2013)

Este cultivo ingresó en América Latina por las distintas inmigraciones europeas, es probable que Colón la ingresara en América. (Martínez, *et al.*, 2008)

2.2 Superficie establecida y volumen de producción en lechuga.

La producción mundial de lechuga ha sido de 29.134'65 toneladas, sobre una superficie de 1,316,028 de hectáreas (FAOSTAT, 2019).

México es el noveno productor de lechuga con 515,647 toneladas, superado en primer lugar por China con 16,310,175 toneladas, Estados Unidos con 3,688,520 e India con 1,262,702, entre otros (FAOSTAT, 2019).

Datos proporcionados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) indican que la producción del año agrícola 2019 fue de 515, 64 toneladas en una superficie de 20,830 hectáreas. Estos datos nos indican un crecimiento del 39.3 % del año 2013 al 2019.

Guanajuato ocupa el primer lugar en la producción de esta hortaliza de hoja con 181,015 ton, seguido por zacatecas con 79,963 ton, entre otros. (SIAP,2020)

	Estado.	Superficie cosechada. (ha)	Producción obtenida. (ton)
1	Guanajuato	7,011	181,015
2	Zacatecas	3,162	79,963
3	Puebla	3,037	66,234
4	Aguascalientes	1,385	46,488
5	Baja California	1,467	31,480
6	Querétaro	808	23,905
7	Sonora	545	15,672
8	San Luis Potosí	447	14,590
9	Michoacán	540	13,644
10	Tlaxcala	496	13,525

Tabla 1. Producción y superficie cosechada de los distintos estados de la república mexicana.

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020).

2.3 Rendimientos comerciales de lechuga.

Según datos de la FAO Para el año 2019 el rendimiento medio mundial es de 2'21 kg/m². Bélgica es el país con mayor rendimiento con 4'58 kg/m², seguido por Estados Unidos de América (EE. UU.) con 3'51 kg/m² y Alemania con 3'11 kg/m². Son los países que mejor rendimiento por metro obtienen en la producción de lechuga, teniendo en cuenta los cinco mayores productores mundiales.

El rendimiento medio nacional es de 24.775 t/ha (SIAP, 2020).

En los rendimientos por estados Aguascalientes ocupa el primer lugar con un rendimiento promedio de 33.6 ton/ha, seguido por san Luis Potosí con un

rendimiento medio de 32.6 ton/ha, en sexto lugar Guanajuato con un rendimiento medio de 25.8 ton/ha (SIAP,2020).

	Estados.	Rendimiento promedio (ton/ha)
1	Aguascalientes	33.6
2	San Luis Potosí	32.6
3	Querétaro	29.6
4	Sonora	28.8
5	Tlaxcala	27.3
6	Guanajuato	25.8
7	zacatecas	25.3
8	Michoacán	25.3
9	Durango	23.6
10	Chihuahua	23.6

Tabla 2. Rendimiento promedio de los distintos estados de la república mexicana.

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020).

2.4 Valor nutricional.

Los alimentos son necesarios para tener un organismo saludable en niños y adultos. Por lo tanto, la calidad nutritiva de los alimentos debe ser evaluada y puede ser medida en términos del contenido de nutrientes, tales como proteínas, vitaminas, minerales y fibra (Alzate y Loaiza, 2010).

La lechuga es la hortaliza de hoja más consumida por su uso en fresco como ensalada, además es rica en antioxidantes como la vitamina A, C, E, B1, B2, B3 y 10 minerales (fósforo, hierro, calcio, potasio, etc.) (Noreña, *et al.*, 2016).

El aporte de calorías de esta hortaliza es muy bajo, mientras que en vitamina C es muy rica; las hojas exteriores tienen más cantidad de esta vitamina que las

interiores. También resulta una fuente importante de vitamina K; por lo tanto, protege de la osteoporosis. Está compuesta en un 94% de agua (Alzate y Loaiza, 2010).

Valor nutricional de la lechuga en 100 g de sustancia	
Carbohidratos (g)	20.1
Proteínas (g)	8.4
Grasas (g)	1.3
Calcio (g)	0.4
Fósforo (mg)	138.9
Vitamina C (mg)	125.7
Hierro (mg)	7.5
Niacina (mg)	1.3
Riboflavina (mg)	0.6
Tiamina (mg)	0.3
Vitamina A (U.I.)	1155
Calorías (cal)	18

Tabla 3. Valor nutricional de la lechuga.

Fuente: (SAGARPA, 2015).

Las hojas de la lechuga tienen distintas propiedades benéficas para el organismo, por ejemplo:

Tienen propiedades diuréticas, es decir estimulan la eliminación de líquidos desde el organismo. Otro beneficio que tienen es mejorar la circulación sanguínea y además ayuda a reducir los niveles de colesterol en la sangre. El ácido fólico que aporta la lechuga contribuye a tratar o prevenir anemias. Tiene efectos tranquilizantes, por lo tanto, calma los nervios y controla los problemas de insomnio (Müller y Steinhart, 2007).

El valor nutritivo de la lechuga difiere según su variedad. La lechuga en general provee fibra, carbohidratos, proteína, y una mínima cantidad de grasa, tiene acción antioxidante, lo cual está relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer (Noreña, *et al.*, 2016).

2.5 Parámetros de calidad en lechuga.

El término calidad es definido por la Norma ISO 9001:2010 como el conjunto de características del producto que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades del cliente tanto explícitas como implícitas (Müller y Steinhart, 2007). En este caso el producto es un alimento por lo que el concepto de calidad involucra aspectos como propiedades físicas, componentes químicos, valor nutritivo, propiedades microbiológicas, entre otros (Luning y Marcelis, 2007).

Los atributos y propiedades determinantes de la calidad en las hortalizas pueden ser clasificados en cinco: calidad fisiológica, calidad organoléptica, calidad nutricional, calidad microbiológica y calidad físico-química (Müller y Steinhart, 2007).

2.5.1 Peso.

El peso promedio general de una lechuga es de 300 gr. La lechuga variedad grandes lagos tiene un peso promedio por unidad de 450-500 gramos. Martínez, (2019), en su trabajo experimental presentó valores de 461,37 y 443,06 gramos por lechuga, corroborando los datos anteriores.

2.5.2 Diámetro polar y ecuatorial.

Martínez, (2019), obtuvo los siguientes valores en el diámetro ecuatorial a la cosecha, se registró el mayor diámetro en el tratamiento de fertilización convencional, con una media de 9,95 cm, mientras que el tratamiento 4 con 2 kg.m⁻² de biosol, presentó el menor diámetro ecuatorial, con una media de 7,73 cm. En la variable diámetro polar de repollo obtuvo que el tratamiento de fertilización convencional, registró el mayor diámetro polar, con una media de 8,99 cm.

2.5.3 Sólidos solubles.

El contenido de azúcar medido en °Brix, es un determinante del sabor del producto. En interacción con otros componentes como ácidos orgánicos (acidez), compuestos fenólicos (astringencia), entre otros determinan el sabor del producto.

Característica.	Valor.
Peso promedio (gr)	175
Contenido de humedad (%)	93
pH	6.89
Porcentaje de acidez (gac.cit/100gr)	0.12
Grados Brix.	2.80

Tabla 4. Parámetros de calidad en lechuga, variedad crespa.

Fuente: (Romero, 2014).

Los sólidos solubles (°Brix) y el porcentaje de acidez son bajos comparados con otras hortalizas, lo cual se ve reflejado en el sabor insípido (Romero, 2014).

2.5.4 Firmeza.

La calidad de la firmeza no solo es importante para su consumo en fresco, sino también para su traslado y manipulación. La temperatura y vibraciones a las que se somete el producto influyen sobre la tasa de ablandamiento del tejido (Romero, 2014).

Martínez, (2019), evaluó la compactación o firmeza de 10 variedades de lechuga, obtuvo los siguientes resultados: la variedad Grizzle con 5.15 g/cm³, grandes lagos 407 con 4.38 g/cm³ y Mirella con 2.37 g/cm³.

2.5.5 pH.

El pH promedio general de una lechuga oscila entre 6.0 y 6.2. Romero, (2014), obtuvo un pH de 6.89, explica que es un pH alto y hace que esta hortaliza sea susceptible al ataque de microorganismos.

2.6 El magnesio como elemento mineral del suelo.

El magnesio es uno de los macronutrientes secundarios esenciales para un correcto desarrollo de las plantas, y por ello es esencial en la fertilización de nuestros cultivos. Al igual que el calcio y el azufre, se considera secundario debido a la cantidad que absorbe el cultivo (Benton, 2012).

El magnesio se encuentra retenido electrostáticamente en el suelo por las arcillas y la materia orgánica cargadas negativamente (Avellán y Cobeña, 2015).

2.6.1 Factores que favorecen la disponibilidad de magnesio.

La absorción del magnesio es en forma de iones Mg^{2+} se ve favorecida por los iones NO_3 , pero es inhibido por otros cationes como NH_4 , K y Ca (Benton, 2012).

Vázquez & Pagani, (2014), mencionan que la relación Ca/Mg pueden favorecer o inhibir la disponibilidad de dichos elementos, encontraron que los valores relativos de las concentraciones de estos elementos en la solución interna del suelo recomendados para el normal desarrollo y disponibilidad se encontraban entre 3 y 15.

Se ha reportado que concentraciones balanceadas Ca/Mg aumentan el consumo de Magnesio y su concentración en hojas (Jezek, *et al.*, 2015), mientras que concentraciones elevadas de Magnesio pueden provocar disminución en el contenido foliar de Ca y viceversa (Pourranjbari, *et al.*, 2018).

Pourranjbari, *et al.*, (2018), menciona que suelos con alto contenido de materia orgánica favorecen la disponibilidad de nutrientes para la planta, un ejemplo de ello es que la mayor cantidad de magnesio disponible en el suelo se encuentra retenido en la materia orgánica.

2.6.2 Funciones del magnesio en las plantas.

Promix, (2018), menciona que el magnesio (Mg), junto con el calcio y el azufre, es uno de los tres nutrientes secundarios que requieren las plantas para un desarrollo normal, saludable. Se consideran secundarios debido a su cantidad y no a su importancia.

El magnesio juega un papel muy importante en el metabolismo de las plantas, ya que es el átomo central del pigmento verde de las hojas (clorofila), además cumple funciones como activador del metabolismo de respiración de glúcidos y proteínas (Avellán y Cobeña, 2015).

Es el único elemento mineral que forma parte de la molécula de clorofila, siendo esencial en el proceso de fotosíntesis para la producción de carbohidratos y responsable del color verde de la planta (Hurtado,2018).

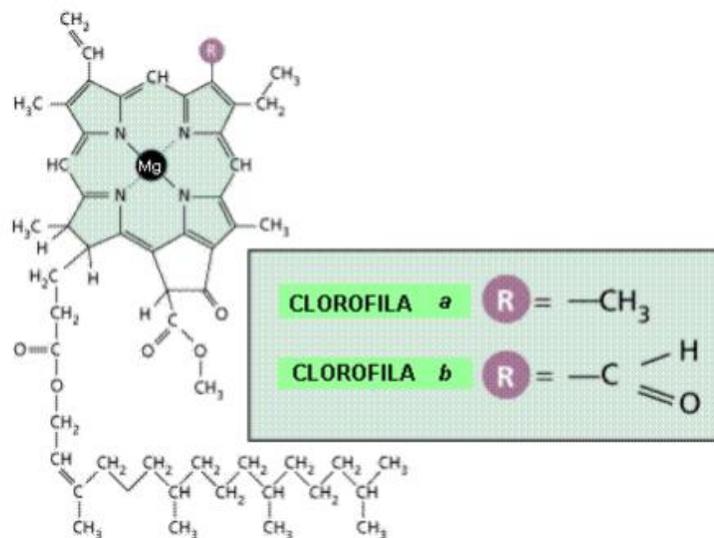


Figura 1. Forma estructural de la clorofila

Fuente: (<http://www.whfreeman.com/life/update/>)

Es necesario para la formación de carotenoides y otros pigmentos; realiza un papel fundamental en el metabolismo de las grasas y de los compuestos fosforados. Activa muchas reacciones enzimáticas como la fosforilación, componente de la estructura de ATP o ADP (Benton. 2012).

El Magnesio también estimula el desarrollo de microorganismos favorables a la planta, participa en el crecimiento de la ecología microbiana (García, *et al.*, 2012; Datnoff, *et al.*, 2013; Xiao *et al.*, 2014).

2.6.3 Deficiencias de Magnesio.

De acuerdo a Almendros, *et al.*, (2015), una gran cantidad de cultivos están afectados por la deficiencia de micronutrientes. Rizo, (2010), indica que un nivel elevado de cationes como calcio y potasio en el suelo puede causar la deficiencia de magnesio, ya que éstos son elementos antagonistas.

Promix, (2018), menciona que el magnesio es un elemento móvil dentro de la planta, así que los síntomas de su deficiencia aparecen primero en las hojas más viejas: se tornan amarillas con venas verdes (clorosis intervenal) y posteriormente se produce una necrosis del tejido.

En las siguientes imágenes se pueden observar dichas deficiencias.

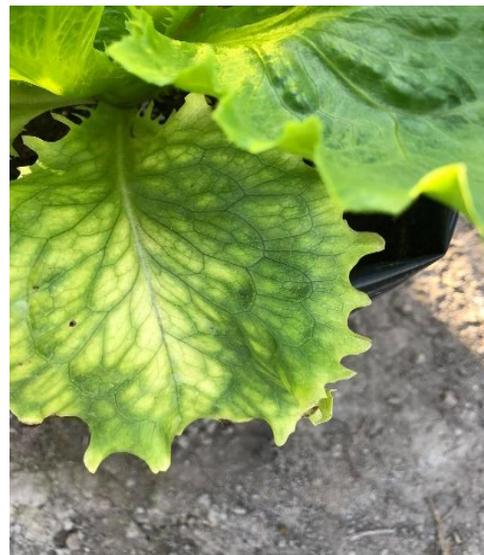


Figura 2. Deficiencia de Magnesio. **Figura 3.** Deficiencia de Magnesio.

Fuente: <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/deficiencias>.

2.6.4 Excesos de Magnesio.

La toxicidad o exceso de magnesio es muy rara en los cultivos de invernaderos y viveros, generalmente es en cultivos de campo abierto. En altos niveles, este elemento compite con el calcio y el potasio para ser absorbido por la planta, pudiendo causar deficiencia de ellos en el tejido foliar (Promix, 2018).

2.6.5 Efecto del Magnesio en el Rendimiento Agronómico de los Cultivos.

Kali, (2018), indica que el cultivo de arroz tiene las necesidades más bajas de magnesio entre los cereales, sin embargo, la fertilización del magnesio en el arroz se está convirtiendo en una práctica habitual ya que se obtienen altos rendimientos, debido al agotamiento del magnesio en muchos suelos.

Fageria, (2013), reporta que existe una relación muy estrecha entre la presencia de Mg en el suelo y el peso de la raíz en cultivos como frijol, chícharo y arroz establecidos en suelos ácidos (oxisoles).

Basado en la información anterior se puede concluir que la cantidad de Mg presente en el suelo o sustrato es proporcional al crecimiento radicular de la planta, aunque valores muy elevados se inhibe dicho crecimiento. A continuación, se presenta un cuadro donde se observa dicha relación (Fageria, 2013).

Mg reportado en el suelo.	Peso en seco de raíz.
(cmol/kg).	(gr/planta).
0.3	0.7
1.05	0.81
1.15	0.83
1.33	0.74
3.52	1
6.22	0.56

Tabla 5. Influencia del Magnesio en el crecimiento de raíz (peso seco) en frijol.

Fuente: (Fageria, 2013).

El trabajo realizado en cultivo de cebolla (*Allium cepa*) por Gómez, *et al.*, (2007), demuestra que la adición suplementaria de magnesio 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.

Lasso y Álvarez, (2011), reportaron incrementos en los rendimientos de brócoli (*Brassica oleracea* VAR. Itálica) obtenidos con la aplicación de azufre y magnesio 90 kg/ha de sulphomag. Alcanzaron incrementos de 134.3% y 215% para las zonas de La Laguna y Gualmatán Colombia.

Mendoza, (2018), evaluó el efecto de la fertilización con magnesio en el cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L) presento diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) en el rendimiento, obtuvo los siguientes resultados: el tratamiento con dosis de 12 Kg/ha de MgO alcanzo el mayor rendimiento con 26.63 t/ha.

2.6.6 Niveles Óptimos de Magnesio para la Planta de Lechuga.

Fernández, *et al.*, (2019), reporta los valores normales (0.25-0.35%) y valores deficientes (<0.20%) de Mg en la hoja de lechuga.

Los cultivos contienen alrededor de 0.15-0.35 % de Magnesio en la materia seca vegetativa en su óptimo crecimiento, siendo mayor en especies dicotiledóneas que en monocotiledóneas (Guo, *et al.*, 2016).

2.7 El Zinc como Elemento Mineral del Suelo.

El zinc se ha convertido en la deficiencia más frecuente de micronutrientes en suelos y cultivos en todo el mundo, resultando en severas pérdidas de

rendimiento y deterioro de la calidad nutricional. Se ha estimado que casi la mitad de los suelos del mundo son deficientes en zinc (Das y Green, 2016).

Está naturalmente presente en todos los suelos en concentraciones típicas entre 10 a 100 mg/kg. Las actividades humanas han enriquecido las capas superiores del suelo con Zinc mediante deposiciones atmosféricas, fertilización y aplicación de lodos cloacales (Mertens y Smolders, 2013).

Es tomado por las raíces las cuales lo absorben de la solución del suelo o sustrato, principalmente en forma de iones Zn^{+2} o con quelatos de ácidos orgánicos, y se transloca a través del xilema a la parte aérea de la planta (Sturikova, *et al.*, 2018).

Las plantas pueden absorber formas de zinc a través de las hojas, sin embargo, el mecanismo de la misma aún no se conoce por completo (Sturikova, *et al.*, 2018).

2.7.1 Factores que favorecen la disponibilidad de Zinc.

El pH influye en la concentración y disponibilidad de Zinc en el suelo, se puede apreciar en la figura 5. En los puntos a y b, se indica que, a un pH de 5, la concentración de Zn^{+2} es aproximadamente y a un pH de 8 es menor (Sadeghzadeh, 2013).

Puede haber una buena absorción de Zinc si se tiene un balance con otros cationes metálicos como Fierro, Cobre y Manganeso, ya que no compiten por el mismo sitio de entrada. El antagonismo más conocido es el de fósforo-zinc es por ellos que un balance adecuado entre ambos favorece la disponibilidad de ambos elementos (Das y Green, 2016).

2.7.2 Funciones del Zinc en las Plantas.

El Zinc es absorbido por las raíces en forma de Zn^{+2} por medio de proteínas específicas (ZIP transporters) ubicados en la membrana plasmática de las células de las raíces (Bouain, *et al.*, 2014; Alloway, 2008; Rakshit *et al.*, 2015).

En las plantas este micronutriente juega un papel muy importante en la síntesis de proteínas; en el metabolismo de carbohidratos existen varias enzimas dependientes de Zinc; asimismo, el Zinc podría tener influencia en la síntesis de auxinas. Al menos 2 800 proteínas son dependientes del zinc, ya sea porque es parte de su estructura o porque es activador de su función (Alcántar, *et al.*, 2016).

Es un mineral muy importante para los vegetales. Ejerce como un importante afianzador de la molécula de clorofila, actúa en la asimilación de proteínas y es de suma importancia en la productividad de componente genético (Tarifel, 2017).

Dicho elemento colabora en la asimilación de la clorofila, respiración, asimilación de proteínas, en control hormonal y estrés oxidativo (Alban, 2014).

El zinc es el único metal que está presente en todos los tipos de enzimas incluyendo oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas (Broadley, *et al.*, 2012).

El zinc es cofactor de diferentes enzimas. Es un cofactor de la anhidrasa carbónica, es indispensable para la fotosíntesis en plantas C4 (Sharma, 2013).

2.7.3 Deficiencias de Zinc.

Las mayores causas de deficiencia de zinc incluyen: suelos con bajo contenido de zinc (material parental), suelos con zonas restringidas, pH alto, suelos de bajo contenido de materia orgánica, inactividad microbiológica y elevado nivel de fósforo disponible (Hafeez, *et al.* 2013).

Los micronutrientes son necesarios en pequeñas cantidades, aunque su déficit puede causar serios problemas a la producción de los cultivos. La deficiencia de Zinc implica una restricción nutricional para la producción de todos los cultivos, especialmente en cereales (Drissi, *et al.*, 2015).

Cuando el suministro de Zinc a las plantas es insuficiente, el rendimiento del cultivo disminuye y la calidad nutricional también se ve comprometida (Mattiello, *et al.*, 2015; Pascual, *et al.*, 2016; Montalvo, *et al.*, 2016).

La sintomatología visual de deficiencia de Zinc se manifiesta principalmente en la disminución del tamaño de la hoja, acortamiento de los entrenudos, plantas pequeñas y en casos extremos, clorosis intervenal en hojas nuevas (Montalvo, *et al.*, 2016).



Figura 4. Deficiencia de Zinc.



Figura 5. Deficiencia de Zinc.

Fuente: <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/deficiencias>.

2.7.4 Excesos de Zinc.

La toxicidad o exceso de zinc producen varios síntomas: El primer síntoma que se presenta en la mayoría de las especies es la clorosis de hojas jóvenes y, en casos más severos zonas necróticas. La raíz principal se acorta, aparecen pequeñas raíces laterales y se observa un amarillamiento general. Se reduce el

crecimiento y cambia la morfología de hojas y raíces dando lugar a plantas raquílicas (Broadley, *et al.*, 2012).

2.7.5 Efecto del Zinc en el rendimiento agronómico de los cultivos.

Trabajos realizados en maíz como el de Espósito, *et al.*, (2010), afirman que el número de granos aumentan por metro cuadrado cuando se aplica zinc, lo que contribuye a aumentar los rendimientos en maíz, estos mismos autores explican que la deficiencia de zinc afectó el crecimiento del cultivo durante su periodo crítico para definir rendimiento.

La adición de zinc incrementa la eficiencia agronómica de otros nutrientes, ya que en conjunto se encuentran disponibles para la planta y se presentaron aumentos de rendimiento en el cultivo de maíz. (García, *et al.*, 2011). Otros de los beneficios que se reportan al agregar zinc son los aumentos de proteína en los granos de maíz (Asif, *et al.*, 2010).

López, *et al.*, (2018) evaluó la Respuesta de fresa cv. Albión a dosis crecientes de Zinc y obtuvo como resultados que la aplicación de Zinc en todas las dosis evaluadas mejoró el peso del fruto, el peso con el tratamiento sin aplicación de Zinc en la solución nutritiva, se redujo en aproximadamente 50%, comparado con el mayor peso registrado con la dosis de 7.5 $\mu\text{mol L}$.

Kromann, *et al.*, (2017) y Gabriel, *et al.*, (2015), trabajaron con aplicaciones suplementarias de zinc en el cultivo de papa y encontraron una respuesta positiva, mas sin embargo no reportan una diferencia significativa en el aumento de la producción.

2.7.6 Niveles óptimos de Zinc para la planta de lechuga.

Los contenidos de Zn en los tejidos vegetales son bajos y oscilan normalmente entre 20 y 100 ppm en peso seco. Estos valores son función de sus bajos requerimientos, pero pueden variar dentro de los límites citados según la especie, variedad y condiciones de crecimiento (Figueiredo, *et al.*, 2012).

Fernández, *et al.*, (2019), reporta los valores normales (<25 mg/kg) y valores deficientes (>22 mg/kg) de Zn en la hoja de lechuga.

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1 Localización del área experimental.

Está situado en la ex hacienda de Buenavista, municipio de Saltillo, 7 kilómetros al sur de esta ciudad, sobre la carretera 54 (Saltillo-Zacatecas) en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en las áreas experimentales del departamento de horticultura, en un espacio de malla sombre (UAAAN, 2011).

Se localiza entre las coordenadas geográficas 21°22′ de latitud norte y 101°02′ longitud oeste y una altitud de 1742msnm (UAAAN, 2011).



Figura 6. Localización del área experimental.

Fuente: (Google maps., 2018).

3.2 Características del material vegetal.

Se utilizó semilla de lechuga tipo Batavia variedad “Grandes Lagos”.

Es una variedad de 85 días, con hojas redondeadas y anchas, de color verde, sin pigmentación, muy crujientes y de exquisito sabor. Acogollado de gran tamaño, semi redondeado, muy compacto y de gran resistencia al espigado. Con una pureza del 99% y un porcentaje de germinación del 90 % (Agroactivo, 2021).



Figura 7. Material vegetal.

Fuente: <https://agroactivocol.com/wp-content/uploads/2020/08/FT-LECHUGA-GRANDES-LAGOS.pdf>

3.3 Manejo del cultivo.

3.3.1 Siembra.

La producción de plántulas en charola es una buena opción para la siembra de lechuga. Se utilizaron charolas de plástico de 200 cavidades. El sustrato que se empleó para el llenado de las charolas fue peat moss y perlita (relación 3:1). La semilla debe colocarse en el centro de la cavidad; a una profundidad del doble o triple de su tamaño. La siembra se realizó el día viernes 20 de septiembre del 2019.



Figura 8. Siembra del material vegetal.

3.3.2 Trasplante.

Se realizó el trasplante el día miércoles 23 de octubre cuando las plantas tenían una altura de 10 a 15 cm, de 3 a 4 hojas verdaderas y un buen cepellón.

Fueron trasplantadas en bolsas plásticas de 25 x 25 con un volumen de 3 L. Se llenaron con sustrato peat moss y perlita (relación 3:1).



Figura 9. Trasplante.

3.3.3 Características del suelo.

Este experimento se llevó a cabo en macetas plásticas utilizando como sustrato peat moss y perlita con una relación 3:1.

El peat moss es un sustrato de apariencia esponjosa, de color pardo claro hasta oscuro, rico en carbono y retiene gran cantidad de agua, tiene un pH de 5.5-6. En conjunto con la perlita formar un excelente sustrato ya que la perlita le brinda características como aireación en la parte radicular y mayor retención de agua.

3.3.4 Requerimientos Climáticos.

La temperatura que se tuvo para germinación oscilaba entre los 18 y 26 °C, se colocaron las charolas dentro del invernadero.

La temperatura en Saltillo, Coahuila donde se estableció el experimento fue de 18 a 24 °C, durante el día y de 5 a 12 °C durante la noche, en los meses de noviembre-diciembre. Durante cinco días se presentaron factores climáticos adversos como lo son las heladas, es decir durante cinco días la planta detuvo su crecimiento. La temperatura mínima fue de -4 °C

La humedad relativa fue variada de 50 al 80% aunque en los cinco días con heladas estuvo al 100 %.

3.3.5 Riego.

Los riegos se dieron de manera frecuente 4 veces por semana (lunes, miércoles, viernes y sábados) con poca cantidad de agua (600 ml/planta), procurando que el suelo quede aparentemente seco en la parte superficial, para evitar podredumbres del cuello (esclerotinia).

3.3.6 Nutrición (Fertilización).

Se preparaba solución nutritiva (Steiner modificada) en un contenedor de 200 L y se regaba con solución nutritiva 4 veces por semana. Se estuvo regando con solución al 25, 50, 75 y 100 % dependiendo de los DDT que tenía el cultivo.

Formula del fertilizante.	Cantidad (gramos/mililitros)
CaNO ₃ .4H ₂ O	132.2 gr
KNO ₃	48.6 gr
KSO ₄	52.2 gr
KCl	22.2 gr
MgSO ₄ .7H ₂ O	36.8 gr
HNO ₃	68.4 ml
H ₃ PO ₄	14 ml
Ultrasol Micro Mix (B,Cu,Fe,Mn,Mo,Zn)	17 gr

Tabla 6. Solución nutritiva empleada.

3.3.7 Plagas y enfermedades.

Durante los 60 días que duro el cultivo solo se presentó mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*). Se controló con una rotación de 3 productos distintos para no generar resistencia. Se aplicó extracto de ajo, confidor (imidacloprid) y Nimicide (extracto de Neem). Se recomienda utilizar productos poco tóxicos y orgánicos ya que el órgano de interés comercial de esta hortaliza son las hojas y se debe cuidar la residualidad de los productos en los alimentos.

3.4 Descripción de tratamientos.

Tratamientos.	Producto.	Cantidad (ml/L).
T1	Testigo.	0
T2	Zintrac.	1
T3	Magtrac.	1
T4	Zintrac + Magtrac.	0.5 + 0.5
T5	Zintrac + Magtrac.	1 + 1
T6	Zintrac + Magtrac.	2 + 2

Tabla 7. Descripción de tratamientos.

3.5 Frecuencia de aplicación de los tratamientos.

Se realizaron 4 aplicaciones de los tratamientos (30 DDT, 38 DDT, 46DDT, 54 DDT) el intervalo de aplicación se realizó de acuerdo a lo recomendado en la ficha técnica de los productos aplicados. Se aplicaron 500 ml de solución una vez por semana a partir de los 30 días después del trasplante.

3.6 Variables de respuesta.

La variable **longitud de la raíz** se determinó al momento de la cosecha (60 DDT), con ayuda de una regla graduada en cm. Se tuvo que lavar la raíz para quitar el sustrato.

La variable **altura de la planta** se determinó al momento de la cosecha (60 DDT), con ayuda de una regla graduada en cm.

La variable **número de hojas** se determinó al momento de la cosecha (60 DDT), contándolas manualmente.

La variable **peso fresco** se determinó al momento de la cosecha (60 DDT), con el apoyo de una balanza digital con sensibilidad de 0.1 g y capacidad de 5 kg.

La variable **peso seco** se determinó 7 días después de la cosecha, ya que se deben dejar secar las muestras en bolsas de papel. Se realizó con el apoyo de una balanza digital con sensibilidad de 0.1 g y capacidad de 5 kg.

Las variables **contenido de clorofila A**, **contenido de clorofila B** y **contenido de clorofila total** se determinó al momento de la cosecha (60 DDT). Se obtuvieron los valores mediante la siguiente metodología.

- 1.- Pesar 1g de hoja fresca por cada repetición.
- 2.- Triturar en mortero (frio).
- 3.- Añadir 40 ml de acetona al 90% y 0.5g de carbonato de Magnesio (MgCO₃).

4.- Depositar dentro de un matraz Erlenmeyer de 125 ml, cubrir con papel aluminio y dejar en refrigeración de 24 a 48 horas para extracción completa.

5.- Filtrar sobre una gasa y lavar el residuo con 60 ml de acetona al 90%, depositando el filtrado dentro de un matraz volumétrico de 100 ml.

6.- Colocar una alícuota en una celda para espectrofotómetro, se leyó a 663 (clorofila A) y 645 (clorofila B) y registrar las lecturas de absorción.

7.- Con las lecturas se calcula el contenido de clorofila (mg/g).

Formula: Clorofila A= (15.65*lectura A) – (7.34*lectura B).

Clorofila B= (27.05*lectura B) – (11.21*lectura A).

Clorofila total= Clorofila A + Clorofila B.



Figura 10. Proceso para la obtención del contenido de clorofila.

3.7 Diseño experimental.

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con 6 tratamientos, cada tratamiento consta de 6 repeticiones y a su vez esta con una planta. La unidad experimental fue de 36 plantas.



Figura 11. Establecimiento del experimento.

3.8 Análisis estadístico.

El análisis estadístico se efectuó usando el software Statistical Analysis System (SAS), versión 9.0. Se hizo un análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey a un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$).

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Longitud de raíz.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento tres (T3) fue el que obtuvo valores numéricos mayores con una media de 15.03 cm, aunque no hubo diferencia significativa en comparación con el testigo (T1). Los tratamientos dos (T2), cuatro (T4), cinco (T5) y tratamiento seis (T6) obtuvieron valores menores en comparación con el testigo (T1), como se muestra en la figura 12.

Estos resultados coinciden con lo establecido por (Rodríguez y Buitrago, 2019) donde evaluó aplicaciones con (Zinc, Cobre, Magnesio y Manganeso) como enraizante en el cultivo de arroz, los valores que obtuvieron arrojan que no hay diferencia estadísticamente significativa en la longitud de la raíz.

Por tanto, los tratamientos aplicados, por sí solos no explican el crecimiento de la raíz ya que se obtuvieron valores inferiores a los del testigo (T1).

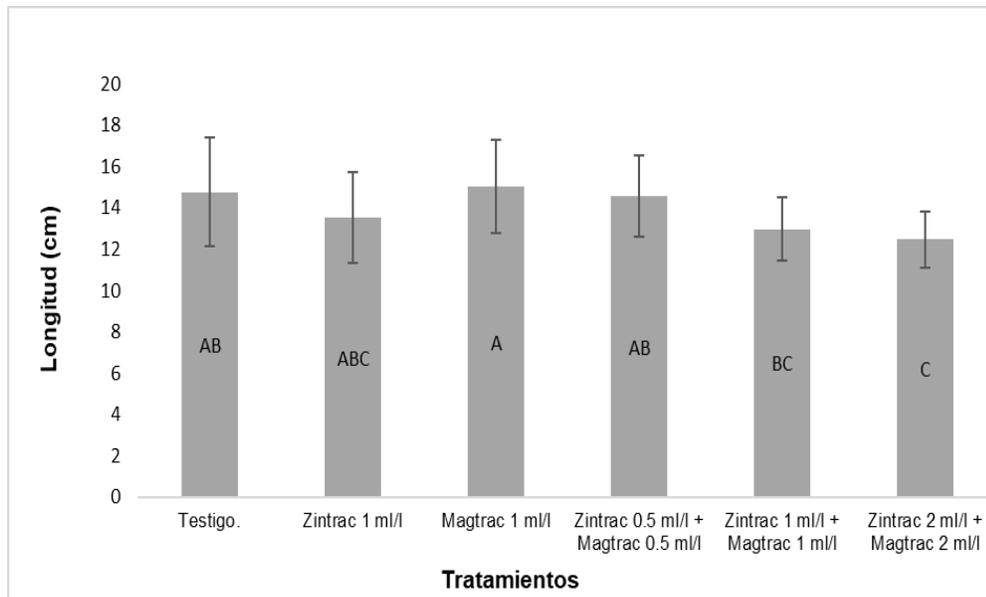


Figura 12. Longitud de raíz.

4.2 Altura de la planta.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Aunque el tratamiento tres fue el que obtuvo valores numéricos mayores en comparación con los demás tratamientos, se mostró una diferencia numérica del 4.7 % del tratamiento tres y el testigo, como se muestra en la figura 13.

Reyes, *et al.*, (2017), observaron la influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en *Lilium*, la dosis foliar de 72 mg/L de Zn y 160 mg/L de Mg generaron mayor altura de tallo obteniendo diferencias significativas entre tratamientos. Los datos obtenidos difieren con Reyes *et al* (2017), ya que no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos cuatro (T4), tratamiento cinco (T5), tratamiento seis (T6) comparados con el testigo (T1).

Hidalgo (2017) evaluó la repuesta edáfica y foliar a la aplicación de Magnesio en el híbrido de pimiento (*Capsicum annum* L.) obtuvo valores numéricos mayores en la variable altura de la planta, la aplicación con magnesio obtuvo una media de 71.75 cm en comparación con el testigo que obtuvo 70 cm. Esto

explica el comportamiento del tratamiento tres (T3) en comparación con los otros tratamientos.

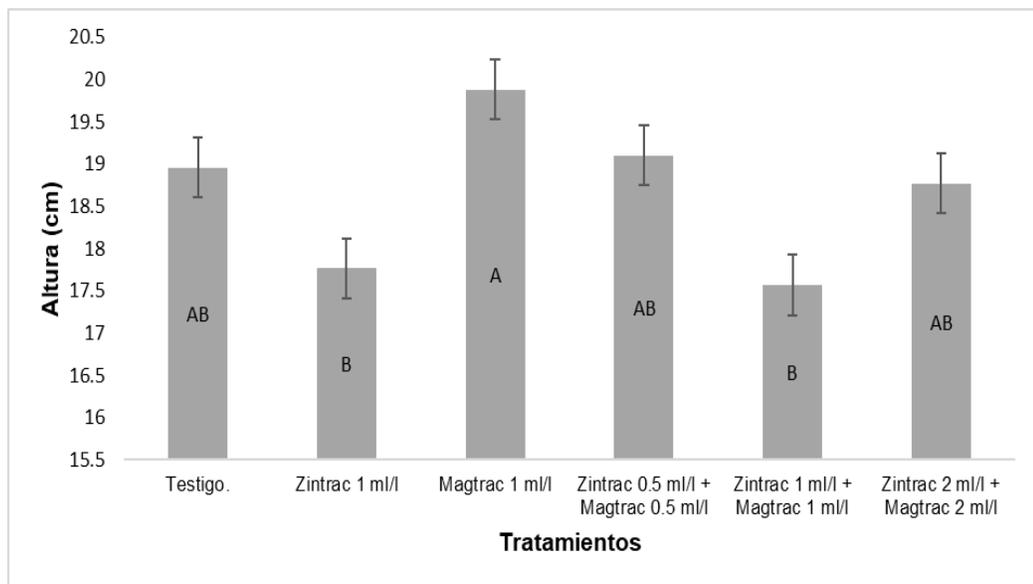


Figura 13. Altura de la planta

4.3 Número de hojas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos aplicados no mostraron efecto significativo en la variable número de hojas. El tratamiento 4 (T4) fue el que obtuvo un valor numérico más alto en comparación con el testigo (T1) existe una diferencia del 8.7 %, dichos resultados se muestran en la figura 14.

Un estudio realizado por Laje, (2016), demuestra que aplicando quelatos de zinc se obtiene una mayor respuesta en el número de hojas, obtuvo un promedio de 11,06 hojas a los 90 días en el cultivo de cacao. No se obtuvieron los mismos resultados ya que la planta encuentra mayormente disponible el Zinc en forma de quelato, aunque si hubo una diferencia numérica entre los tratamientos con Zinc que fueron el tratamiento 2 (T2), tratamiento 4 (T4), tratamiento 5 (T5) y el tratamiento 6 (T6) en comparación con el Testigo (T1).

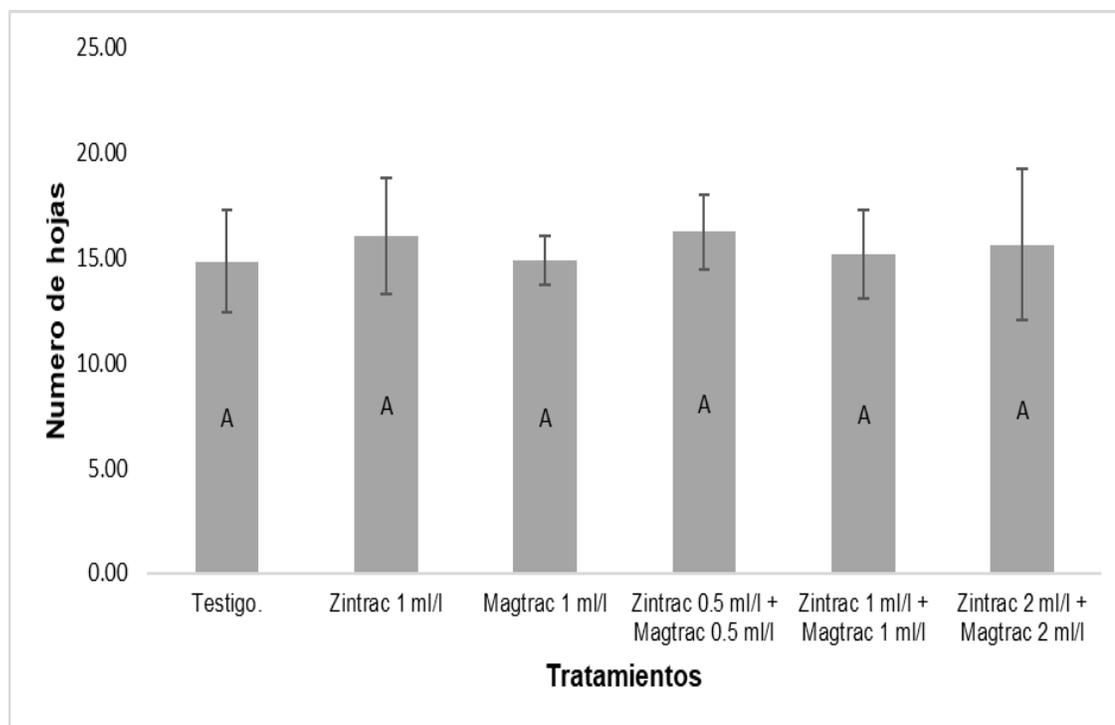


Figura 14. Numero de hojas

4.4 Peso fresco.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos mostraron efecto significativo en la variable peso fresco. El tratamiento tres (T3) obtuvo un valor numérico más alto, en comparación con el testigo (T1) existe diferencia significativa entre ambos, una diferencia del 28 %. (Gómez, *et al*, 2007) demuestra en su proyecto realizado en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) que la adición suplementaria de magnesio mejora los procesos funcionales de síntesis de clorofila, lo cual se ve reflejado en el aumento del peso fresco.

Los resultados obtenidos también coinciden con Mendoza, (2018), evaluó el efecto de la fertilización con magnesio en el cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L) donde los valores obtenidos presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) en el rendimiento.

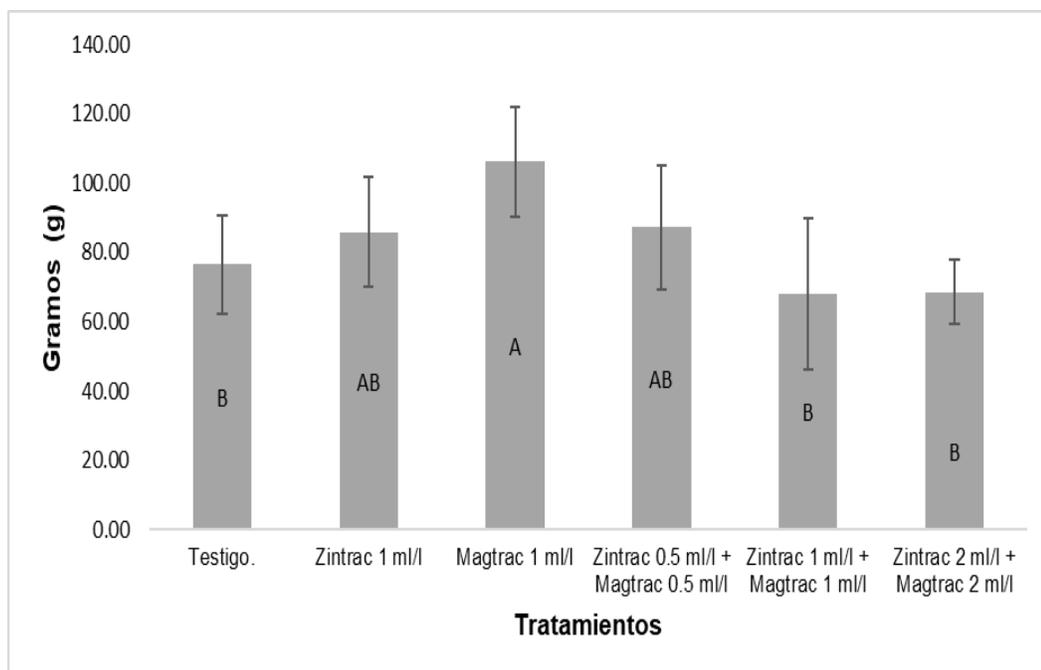


Figura 17. Peso fresco.

4.5 Peso seco.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos aplicados mostraron efecto significativo en la variable peso seco. El testigo (T1) obtuvo un valor numérico más alto en comparación con los demás tratamientos. El tratamiento tres (T3) obtuvo valores similares al testigo, con una diferencia del 16%. No se obtuvieron los resultados esperados ya que Sarandon, (2016), menciona que un cultivo con una adecuada fertilización y dosis de nitrógeno, acumula más materia seca. Esto difiere con los resultados obtenidos ya que indican que el testigo (T1) obtuvo mayor peso seco y acumulación de sólidos.

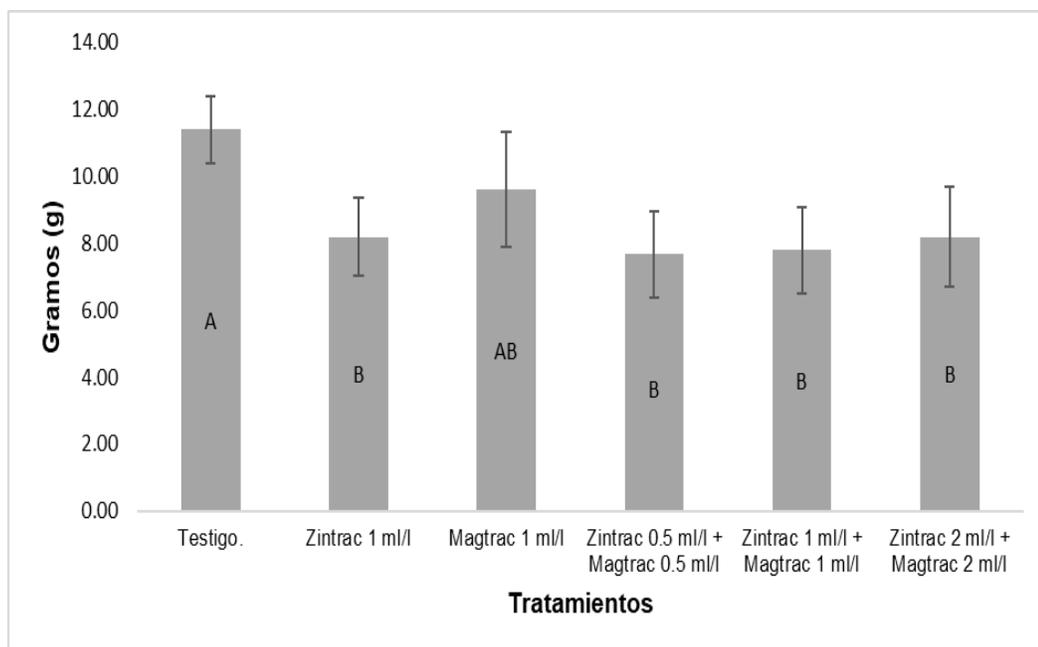


Figura 18. Peso seco.

4.6 Contenido de clorofila A

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos aplicados mostraron diferencia significativa en la variable contenido de clorofila A. El tratamiento tres (T3) obtuvo el valor numérico más alto 4.89 mg/g, en comparación con el testigo (T1) 1.34 mg/g hubo una diferencia del 73 % entre ambos tratamientos. De acuerdo a lo que menciona Hurtado, (2018), es el único elemento mineral presente en la molécula de la clorofila, por lo que se deriva su gran importancia para la fotosíntesis. Es por ello su incremento en el contenido de clorofila A en el tratamiento 3 (T3).

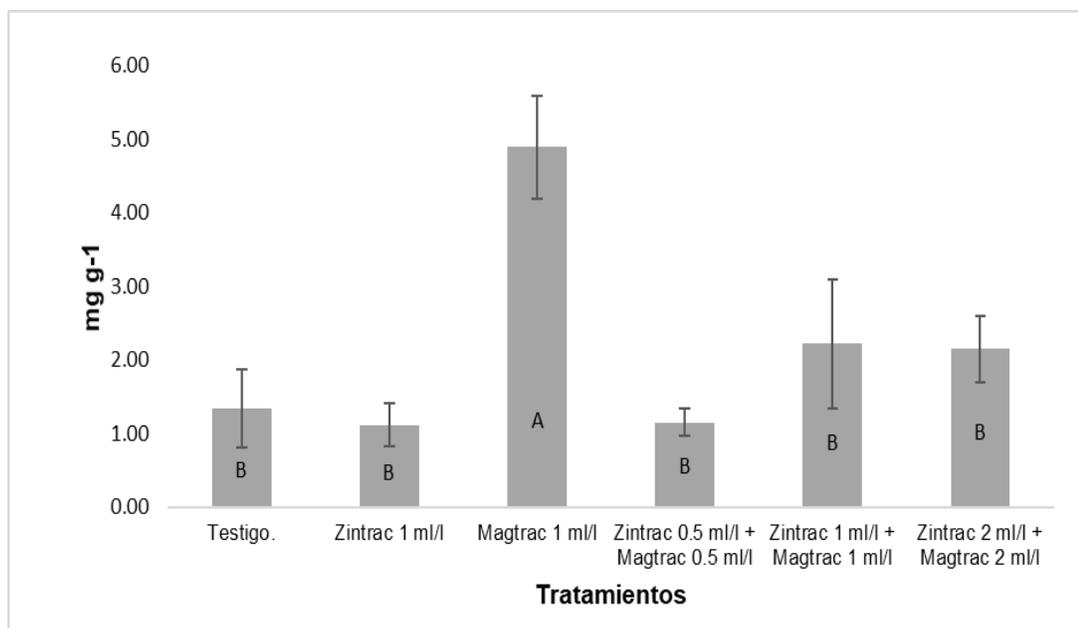


Figura 19. Contenido de clorofila A.

4.7 Contenido de clorofila B

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos aplicados no mostraron diferencia significativa en la variable contenido de clorofila B. Se obtuvieron valores muy similares entre tratamientos, aunque el tratamiento cinco (T5) obtuvo valores superiores 0.98 mg/g en comparación con el testigo (T1) que obtuvo 0.66 mg/g. El tratamiento dos (T2), tratamiento cuatro (T4), tratamiento cinco (T5) y tratamiento seis (T6) obtuvieron valores superiores al testigo (T1) como se muestra en la figura 20. Los siguientes resultados se justifican ya que Mendoza, (2018), menciona que la planta en presencia de concentraciones adecuadas de Magnesio tiende a acumular mayor contenido de clorofila en los tejidos. En el tratamiento tres (T3) no se obtuvieron los valores esperados

posiblemente porque algunas repeticiones estuvieron sometidas a sombreado en horas de la mañana cuando se sintetiza la clorofila B (400-500 nm).

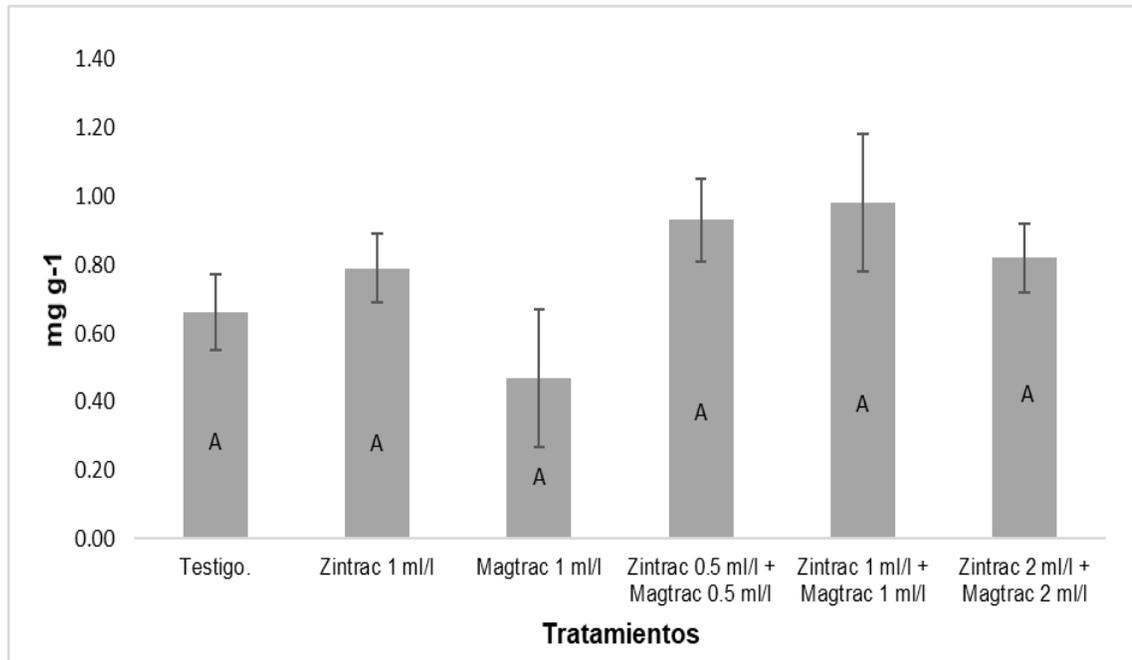


Figura 20. Contenido de clorofila B.

4.8 Contenido de clorofila total.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos aplicados mostraron diferencia significativa en la variable contenido de clorofila total. El tratamiento 3 (T3) obtuvo valores superiores 5.36 mg/g en comparación con el testigo (T1) que obtuvo 2 mg/g. Hubo una diferencia del 63 % entre ambos tratamientos. Se obtuvieron los valores esperados ya que se conoce su importancia del magnesio en la molécula de la clorofila. Avellán y Cobeña (2015), mencionan dicha importancia ya que el Magnesio es el átomo central del pigmento verde de las hojas (clorofila).

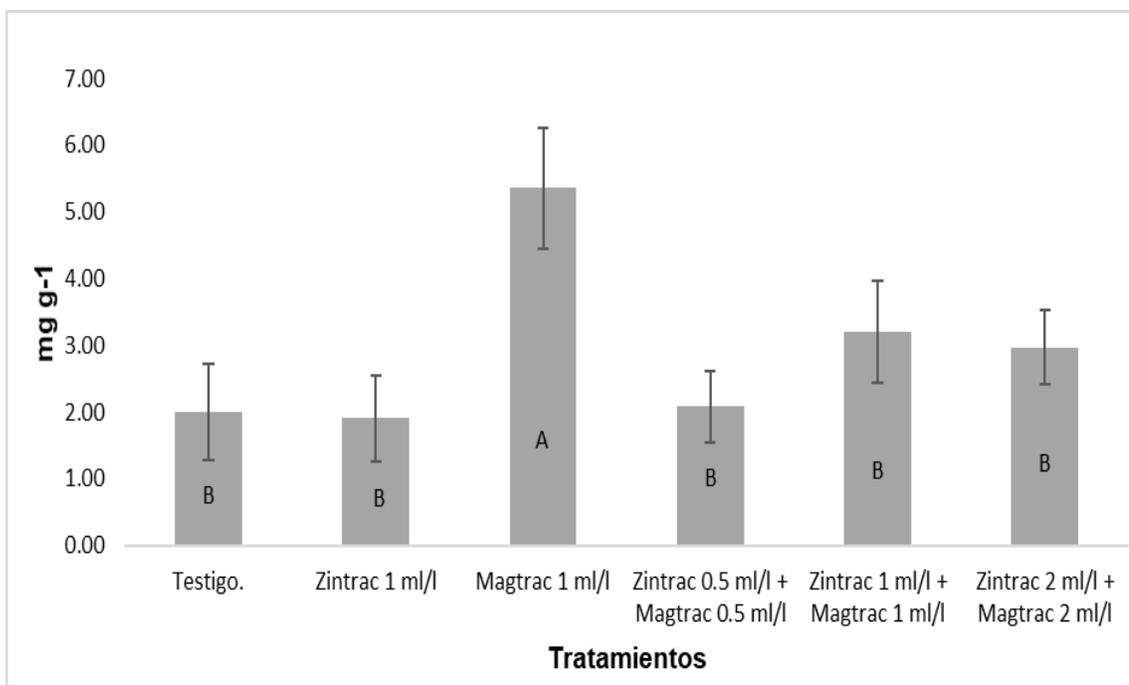


Figura 21. Contenido de clorofila total.

V CONCLUSION.

Las adiciones de Magnesio (magtrac) en cantidad de 1 ml por litro ejercen efecto de manera positiva sobre la longitud de la raíz, altura de la planta, peso fresco, clorofila A y clorofilas totales, al aplicarse en la etapa de crecimiento vegetativo e inicios del desarrollo (Compactación de cabezas). Lo que conduce a que la utilización de este nutriente de manera suplementaria a la fertilización base mejora parámetros de producción y calidad aumentado el rendimiento y el contenido de clorofila total en comparación en el cultivo de la lechuga.

Cuando se aplica de manera suplementaria este macronutriente con el zinc o incluso la adición suplementaria de zinc no muestra efectos positivos sobre la calidad y producción del cultivo.

VI LITERATURA CITADA.

Agarwala, S.C & Mehrotra, S.C. 2005. Iron-magnesium antagonism in growth and metabolism of radish.80: 355-361.

Alban, E. (2014). evaluación de la eficacia de citoquinina (cytokin) y un inductor carbónico (carboroot) en tres dosis y en dos épocas en el rendimiento de banano de exportación, en una plantación en producción variedad gran enana, cantón quininde de la provincia de esmera. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

- Alcántar, G. G.; Trejo, T. L. I.; Fernández, P. Y. L. y Rodríguez, M. M. N.** 2016. Elementos esenciales. In: nutrición de cultivos. Alcántar, G. G.; Trejo-Téllez, L. I. y Gómez-Merino, F. C. (Eds.). Segunda Edición. Colegio de Postgraduados. México. 23-55 p.
- Alloway, B.** 2008. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association. Bruselas, 139p.
- Almendros, P., Rico, M., López, L., Álvarez, J.** 2015. Deficiencia de zinc en los cultivos y correctores de carencia del micronutriente. "Vida Rural", v. 19 (n. 280); pp. 12-16. ISSN 1133-8938.
- Alzate, J, y L Loiza.** Monografía del cultivo de la lechuga. Primera. Bogotá, Colombia: Colinagro, 2010.
- Asif, M., Alil, A., Asghar, M. y Hussain, M.** (2010). Effect Of Fertilizer Levels And Plant Densities On Yield And Protein Contents Of Autumn Planted Maize. *Pak. J. Agri. Sci.*, 47(3): 201-208.
- Avellan, L., Calvache, M., Y Cobeña, N.** (2015). Curva de absorción de nutrientes por el cultivo de platano barraganete (*Musa paradisiaca* L.).
- Benton, J., Jr.** (2012). Plant Nutrition and soil fertility manual. CRC Press, Boca ratón, FL. 282 p.
- Bonnet M, Camares O, Veisseire P.** 2000. Effects of zinc and influence of *Acremonium lolu* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Apollo). *Journal of Experimental Botany* 51: 945-953.
- Broadley, M.; Brown, P.; Cakmak, I.; Rengel, Z. and Zhao, F.** 2012. Function of nutrients: Micronutrients. In: Marschner´s mineral plant nutrition of higher plants. Marschner, P. (Ed.). 3 a . (Ed.). Elsevier. London. 191-243 pp.
- Das, S; Green, A.** 2016. Zinc in crops and human health. Eds. U Singh; CS Praharaj; SS Singh; NP Singh. 31-40 p.

- Del Pino, M.** 2018. Curso de horticultura y floricultura. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Espósito, G., Balboa, G., Castillo, C., & Balboa, R.** (2010). Disponibilidad de Zinc y respuesta a la fertilización del maíz en el Sur de Córdoba. Memorias XXII. Congreso Argentino de la Ciencia de suelo. Asociación Argentina Ciencia del Suelo, Rosario marzo de 2010.
- Fageria, N. K.** 2013. Magnesium. The Role of Plant Roots in Crop Production. Editorial CRC Press. pp 325-326.
- Fernández, A., Soler, M., Molina, JM., Ruiz, A.** (2019). Resultados preliminares del estudio de la influencia de adición de harina de pórfido en la nutrición de un cultivo aplicado al caso de la lechuga (*Lactuca Sativa* L CV Neruda). Congreso Ibérico de Agroingeniería. Huesca septiembre 2019.
- Figueiredo, DD; Barros, PM; Cordeiro, AM; Serra, TS; Lourenço, T; Chander, S; Oliveira, MM; Saibo, NJM.** 2012. Seven zinc-finger transcription factors are novel regulators of the stress responsive gene OsDREB1B (en línea). Journal of Experimental Botany 63(10):3643-3656.
- García, J., Coral, D y Molina, C.** (2011). Nutrición del cultivo de maíz. p71-103. En Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. (Ed.), Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia, Fondo Nacional Cerealista, Bogotá.
- García-Avila, C. d. J.** (2012). Nitrógeno, calcio y magnesio y su relación con el desarrollo, calidad y estado nutrimental en *Lilium* 'Casablanca'. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Edo. De México, México.
- Guaman-Zuniga, R.E.,** (2010). Estudio bioagronómico de 10 cultivares de lechuga de cabeza (*Lactuca sativa*), utilizando dos tipos de fertilizantes orgánicos. Tesis licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Guo, W, H Nazimc Z, Lianga & D Yanga.** 2016. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. The Crop Journal 4: 83-91.

- Hafeez, B; Khanif, YM; Saleem, M.** 2013. Role of Zinc in Plant Nutrition-A Review (en línea). American Journal of Experimental Agriculture 3(2):374-391.
- Hidalgo-Señalín, R.D.** (2017) repuesta edáfica y foliar a la aplicación de macro y micronutrientes en el híbrido de pimiento quetzal. Tesis licenciatura. Universidad de Guayaquil, Ecuador (*Capsicum annuum* L.).
- Hurtado, N.** (2018). Microelementos en la fertilización y manejo del cultivo de arroz. Tesis licenciatura. Fondo Nacional Cerealista, Bogotá.
- Illera, V.; I. Walter; P. Souza & V. Cala.** 2000. Short-term effects of biosolid and municipal solid waste applications on heavy metals distribution in a degraded soil under a semi-arid environment. *Sci. Total, Environ.* 255:29-44.
- Jaques Hernández, Cuauhtémoc, y José Luis Hernández M.** «Valoración productiva de lechuga hidropónica con.» *Centro de Biotecnología Genómica del IPN* 3, nº 1 (2005): 12.
- Jezek, M, CM Geilfus, A Bayer & KH Mühling.** 2015. Photosynthetic capacity, nutrient status, and growth of maize (*Zea mays* L.) upon MgSO₄ leaf-application. *Frontiers in Plant Science* 5: 781.
- Kali.** (2018). El magnesio y el cultivo de arroz. Disponible en https://www.kaligmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/crops/rice.html.
- Kromann, P; Valverde, F; Alvarado, S; Velez, R; Pisuna, J; Potosi, B; Taibe, A; Caballero, D; Cabezas, A; Devaux, A.** 2017. Can Andean potatoes be agronomically biofortified with iron and zinc fertilizers? *Plant and Soil* 2017: 1-18.
- Lasso, Andrés Y Álvarez, Miguel y Ruiz, Hugo** (2011) Fertilización con azufre y magnesio en cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* VAR. Itálica) sobre suelos Vitric Haplustand y Typic Dystrandep del altiplano de pasto.
- López-Herrera, A. Castillo-González, A.M. Trejo-Téllez, L.I. Avitia-García, A. Valdez-Aguilar, L.A.** (2018). Respuesta de fresa cv. Albión a dosis crecientes de zinc. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.

- Luning P.A., Marcelis W.J.** 2007. A conceptual model of food quality management functions based on techno-managerial approach. *Trends in Food Science and Technology*, 18: 159-166.
- Martínez-Barreno, B, A.,** (2019). Evaluación del Biosol generado en la producción de biogás, como biofertilizante en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). Tesis licenciatura. Universidad Técnica de Ambato, Cevallos, Ecuador.
- Martínez-Sánchez A., Allende A., Cortes-Galera Y., Gil M.I.,** 2008. Respiration rate response of four baby Brassica species to cutting at harvest and fresh-cut washing. *Postharvest Biol. Technol.*, 47, 382-388.
- McLaughlin, M.J.** 2001. Ageing of metals in soils changes bioavailability. *Environ. Risk Assess.* 4:1-6.
- Mendoza- Ibarra D.A.,** (2018). Efecto de la fertilización con magnesio en el cultivo del plátano (*Musa paradisiaca* L). Tesis licenciatura. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabi, El Carmen, Ecuador.
- Mertens, J., & Smolders, E.** (2013). Zinc. En B. J. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. https://doi.org/DOI 10.1007/978-94-007-4470-7_17
- Muller A., Steinhart H.** 2007. Recent developments in instrumental analysis for food quality. *Food Chemistry*, 101: 1136-1144.
- Noreña-Jaramillo, Tamayo-Molano, P.L. y Aguilar-Aguilar, P.A.** Modelo tecnológico para el cultivo de Lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el oriente antioqueño. ISBN: 978-958-8955-10-0. Medellín, Colombia: Fotomontajes S.A.S, 2016.
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura [FAO]** (2019). FAOSTAT.
- Pourranjbari Saghaiesh S, M Kazem Souri & M Moghaddam.** 2018. Effects of different magnesium levels on some morphophysiological characteristics and

nutrient elements uptake in Khatouni melons (*Cucumis melo* var. *inodorus*).
Journal of Plant Nutrition 42(1): 27- 39.

Promix. (2018). La función del magnesio en las de plantas. Conferencia 74. XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos.

Rincon-Sanchez L., (2001). Pautas para una correcta Fertirrigación de la lechuga Iceberg. Vida rural, 38-40 p.

Rizo, E. (2010). Síntomas visuales de deficiencia de nutrientes: magnesio y nitrógeno. Science publishers. 94-96 pp.

Romero-Pachón L.F., (2014). Control del parámetro enzimático en lechuga morada crespa mínimamente procesada mediante la aplicación de antioxidantes. Tesis licenciatura. Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Bogotá, Colombia.

Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. Journal of soil science and plant nutrition 13(ahead): 905-927.

Santos F., B. G., A. K. S. Lobato, R. B. Silva, D. Schimidit, R. C. L. Costa, G. A. R. Alves, and C. F. Oliveira N. 2009. Growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in protected cultivation and open field. J. Appl. Sci. Res. 5: 529-533.

Sharma, A., Patni, B., Shankhdhar, D., y Shankhdhar, S. 2013. Zinc—an indispensable micronutrient. Physiology and Molecular Biology of Plants, 19(1): p11-20.

Sharma, C. P. (2006). Plant micronutrients. India: Science publishers. 136.137 pp.

SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2019. http://siapsagarpa.gob.mx/ar_comanvar.html.

Sturikova H, Krystofova O, Huska D, Adam V. Zinc, zinc nanoparticles and plants. J Hazard Mater. 2018.

Tarifel. (2017). Sulfato de Zinc. Obtenido de <http://www.tafirel.com/Docs/es/Etiquetas/sulfatodezinc.pdf>

Vaillant N, Monnet F, Hitmi A, Sallanon H, Coudret A. 2005. Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress. *Chemosphere* 59; 1005-1013.

Valadez A. 2013. Producción de hortalizas. México, Noriega Editores, 298 pp.

Vazquez, M.S.; Pagani, A. (2014) Calcio y magnesio. Fertilidad de suelos y fertilidad de cultivos, INTA. EEA. Balcarce, Argentina. pp.317-355.