

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Efecto de la interacción Ca:Mg en el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate cv Moctezuma en un sistema de cultivo sin suelo

Por:

OCTAVIO ZAVALA GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Efecto de la interacción Ca:Mg en el crecimiento y rendimiento del cultivo
de tomate cv Moctezuma en un sistema de cultivo sin suelo

Por:

OCTAVIO ZAVALA GARCÍA

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

En el presente trabajo de investigación el Dr. José de Jesús Rodríguez
Sahagún, presidente de jurado, reconoce a Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
como director de tesis de Octavio Zavala García.



Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún

Presidente

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Efecto de la interacción Ca:Mg en el crecimiento y rendimiento del cultivo
de tomate cv Moctezuma en un sistema de cultivo sin suelo

Por:

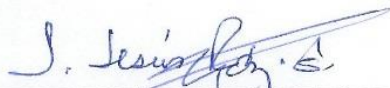
OCTAVIO ZAVALA GARCÍA

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



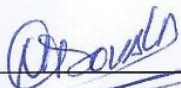
Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún

Presidente



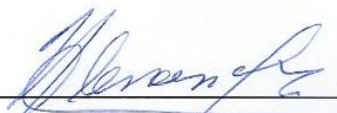
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Director



MC. Juan Manuel Cepeda Dovala

Coasesor



MC. Felipe Abencerraje Rodríguez

Coasesor suplente



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la división de ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Noviembre 2019

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme la oportunidad de estar en el lugar y momento adecuado y así lograr cosas que jamás imagine, por permitir conocer a tantas personas y aprender de cada una de ellas.

A mi **ALMA MATER**, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser mi segundo hogar y darme la oportunidad de ser un profesionista.

Al PhD. **Luis Alonso Valdez Aguilar**, por darme la confianza y oportunidad de trabajar con él y por las enseñanzas transmitidas durante mi estancia académica, siendo uno de los maestros que inspiran y que siempre se tienen presentes.

Al Dr. **José de Jesús Rodríguez Sahagún**, por los conocimientos brindados durante mi formación y por el apoyo en la revisión de este trabajo.

Al M.C. **Felipe Abencerraje Rodríguez**, por los conocimientos brindados durante mi formación académica, por su apoyo incondicional en todo momento, siendo más que un maestro, un gran amigo.

Al M.C. **Juan Manuel Cepeda Dovala**, por ser partícipe en la revisión de este trabajo, por su gran apoyo en mis primeros días en la universidad, por siempre escuchar y aconsejarme cuando era necesario.

A cada uno de mis maestros, por todo el conocimiento compartido, la paciencia y apoyo durante mi formación académica, inspirando a ser mejor persona día con día.

DEDICATORIAS

A mi Madre, **Elena García Guevara**, gracias a ella logre todo lo que hasta hoy eh realizado, siempre alentándome a seguir estudiando desde niño, con todo mi amor te dedico mis logros, Dios te tenga en su santa gloria.

A mi padre **J. Guadalupe Zavala Pizano**, por ser un gran ejemplo en todos los sentidos, su confianza y su apoyo incondicional en todo momento.

A Familia, por su apoyo económico y emocional, así como la confianza otorgada durante este tiempo, en especial a mis hermanos **Salvador, Angélica, Guadalupe, Mónica, Fabián, Mariela, Isela, Alexis, Kelly y Lizandro**.

A mis Tíos, **Jaime García, Serafín y Natividad Zavala**, por cada uno de sus consejos y apoyo durante mi vida.

A mi Novia, **Nancy** por su apoyo en todos mis planes, por su comprensión, tiempo y atención en todo momento.

A mi Amigo, compadre y maestro, Dr. **Armando**, por todas las enseñanzas y apoyo desde mis primeros semestres de preparación, por sus consejos y momentos vividos, así como su familia.

A mis compañeros y amigos de generación, por todas las experiencias vividas, en especial a **Odon, Guadalupe, Marcelo, Pablo, Rocio y Yanel**.

A mis amigos, que ahora considero hermanos **Edgar, Carina y Ramiro**, por su gran apoyo y momentos vividos durante este tiempo, por sus consejos y siempre estar cuando más los necesité.

A **Elizabeth Gomez, Arturo Gomez “Turis”, Francisco Arguello y Rogelio**, por su hospitalidad, compañerismo y amistad desde mis primeros días en Saltillo.

Al M.C. **Martín Tucuch**, por su amistad y consejos.

A **Jorge Alberto Esquivel**, por ser uno de mis mejores amigos desde niño, por su apoyo y los momentos vividos.

A **Daniel “El rojo” y Ricardo Baeza**, por su apoyo en este trabajo, por las experiencias vividas y el tiempo compartido.

A mis amigos, **Joshua, Leonel, Rubén “el joven”, Ali**, por todos los buenos momentos vividos y experiencias.

A mis primos, **José y Serafín Zavala**, por su apoyo y confianza.

A **Patricia García** y su esposo el M.V.Z. **Alfonso Miranda**, por su gran apoyo y motivación.

A mis amigos **Eduardo Serrato, Marisol Miranda, Mitzuki, Susiki, Alan García, Sthepany Buitrón, Nayeli Solís, Paola López, Jaime Torres, Faustino Pérez, Antonio Esquivel, Iván Sánchez y Heriberto López**, que a pesar de la distancia nunca dejaron de estar en comunicación y estuvieron para apoyarme.

Al **Departamento de Ciencias del Suelo** y quienes pertenecen a él, por acogerme durante todo este tiempo y brindarme el mejor servicio cuando lo necesité.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE DE CUADRO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
El cultivo del tomate en invernadero	4
Importancia económica.....	4
Consumo mundial	5
Comercio internacional	5
Producción nacional.....	5
Consumo nacional	6
Intercambio comercial.....	6
Precios a nivel nacional	6
Calidad nutracéutica	7
Nutrición de cultivos.....	7
Hidroponía	9
Cultivo hidropónico	9
Cultivo semi-hidropónicos.....	10
Ventajas y desventajas de la hidroponía con respecto al suelo.....	10
Ventajas	10
Desventajas.....	12
Nutrición del cultivo de tomate sin suelo.....	13
El calcio como nutriente de cultivos.....	18
Absorción del calcio.....	18
Factores de absorción del calcio	19
Transporte de calcio dentro de la planta	19

Deficiencia de calcio.....	19
Síntomas de exceso de calcio.....	20
Antagonismo de calcio	20
El Magnesio como nutriente de cultivos.....	20
Antagonismo entre calcio y magnesio	21
MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
Localización del área experimental.....	22
Material vegetal	22
Siembra	22
Trasplante.....	22
Tratamientos.....	23
Diseño experimental	23
Condiciones ambientales.....	24
Manejo del cultivo	24
Riego.....	24
Control de plagas y enfermedades.....	24
Control malezas.....	25
Tutoreo	25
Polinización	25
Podas	25
Cosecha	26
Variables evaluadas.....	26
Análisis Estadístico.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
CONCLUSIÓN	35
BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Concentración de macronutrientes de las soluciones nutritivas evaluadas en el experimento con diferentes niveles de Ca: Mg.....	23
Cuadro 2. Efecto de las concentraciones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en la solución nutritiva sobre crecimiento de las plantas de tomate cv. Moctezuma.	30
Cuadro 3. Efecto de las concentraciones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en la solución nutritiva sobre rendimiento y la pudrición apical de los frutos de las plantas de tomate cv. Moctezuma.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto entra la concentración de Ca y Mg en las soluciones nutritivas en el rendimiento del racimo 1 al 6 de las plantas de tomate cv. Moctezuma. Las barras indican el error estándar de las medias.	33
Figura 2. Efecto entra la concentración de Ca y Mg en las soluciones nutritivas en el rendimiento total de las plantas de tomate cv. Moctezuma. Las barras indican el error estándar de las medias.	33
Figura 3.- Efecto entre la relación de peso seco de raíz y el rendimiento de las plantas de tomate cv. Moctezuma.	34

RESUMEN

La relación a la que se suministra los nutrientes de la misma carga es fundamental para un adecuado crecimiento y rendimiento de las plantas, ya que puede provocar antagonismos y con ello desequilibrios nutricionales en la planta, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar los efectos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate cv Moctezuma. Se evaluaron 3 concentraciones de Ca (9, 11 y 13 me L⁻¹) y Mg (3, 4 y 5 me L⁻¹) respectivamente, bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las variables evaluadas fueron peso seco de raíz, altura de planta, diámetro de tallo, pudrición apical de fruto, rendimiento de racimo 1 al 6, del 7 al 12 y rendimiento total. El peso seco de raíz, diámetro de tallo y altura de plantas no fueron afectados por las diferentes concentraciones de Ca y de Mg, mientras que el peso seco del fruto se incrementó en un 14% con 4 y 5 me L⁻¹ de Mg. El rendimiento del racimo 1 al 6 y del 7 al 12 se redujo un 6% y un 11% al aumentar la concentración de Ca a 11 y 13 (me L⁻¹) respectivamente, mientras que el rendimiento total disminuye 10% con 13 (me L⁻¹) de Ca. La pudrición apical se incrementó un 78% y 125% con 11 y 13 me L⁻¹ de Ca. La concentración de Mg incrementó un 4% del rendimiento con 4 me L⁻¹ y la pudrición apical aumento 38% con 5 me L⁻¹ de Mg en la solución nutritiva. El incremento de la concentración de Mg aumento el rendimiento del racimo 1 al 6 con 9 me L⁻¹ de Ca, superior a esta concentración disminuye el rendimiento a excepción con 4 me L⁻¹ de Mg y 11 me L⁻¹ de Ca, sin embargo, el rendimiento total fue mayor con 9 y 4 me L⁻¹ de Ca y Mg respectivamente. Nuestros resultados sugieren que el exceso de Ca y Mg afectan de manera negativa el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate.

Palabras clave: Nutrición mineral, antagonismo, toxicidad, interacción iónica, cultivos sin suelo.

INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las especies hortícolas con mayor importancia económica a nivel mundial, convirtiéndose en una de las más cultivadas y la base de una importante agroindustria. Además de consumirse en fresco, se destina a la obtención de varios subproductos, como purés, salsas, jugos, conservas, concentrados, entre otros (Martínez *et. al.*, 2012; USDA y ERS, 2017). A partir de ello, se ha incrementado la superficie de producción en los últimos años en ambientes protegidos, aunado a diferentes sistemas de producción, para incrementar el rendimiento por unidad de superficie y calidad de la misma (FIRA y FAO, 2017).

La producción de esta especie en cultivo sin suelo ha permitido incrementar los rendimientos por unidad de superficie, así como mayor calidad de fruto, debido a que permite suministrar los requerimientos nutricionales de manera adecuada y puntual, evitando equilibrios nutricionales siempre y cuando los aportes de estos nutrimentos se proporcionen de manera balanceada.

Unos de los nutrimentos más importantes para la nutrición de estas plantas cultivadas son el calcio (Ca) y magnesio (Mg), pero un desbalance entre estos afecta de manera negativa la absorción y por ende el crecimiento de las plantas. El Ca juega un papel vital en el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares, actúa como agente cementante en las paredes celulares en forma de pectato de calcio (Adams, 1986). Por tal razón, un adecuado suministro de Ca a los frutos es esencial para su firmeza, vida de anaquel (Dorais *et al.*, 2001), un aumento de la concentración de Ca puede reducir la incidencia del rajado de frutos, pudrición apical y otros trastornos fisiológicos que conducen a un deterioro de la calidad de la fruta (Passam *et al.*, 2007).

La principal función del Mg en las hojas verdes es como el átomo central de la molécula de clorofila (Maschner, 2012)., por lo anterior un bajo contenido de este elemento podría bajar de manera considerable la actividad fotosintética y con ello la producción

del cultivo de tomate, ya que está aumenta significativamente mediante la aplicación de Mg (Sainju *et al.*, 2003).

La tasa de absorción de Mg puede ser presionado por Ca y viceversa (Paiva *et al.*, 1998; Hao y Papadopoulos, 2003). El Ca es fuertemente competitivo con el Mg, y los sitios de unión en la membrana plasmática de la raíz parecen tener menos afinidad por el Mg altamente hidratado que para Ca (Maschner, 1986). El nivel elevado de Ca externo resulta una disminución de la absorción de Mg debido al antagonismo catiónico o sus interacciones. En base con lo anterior, se propone el siguiente trabajo de investigación.

Objetivo General

Determinar los efectos de Calcio y Magnesio en el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate cv Moctezuma en un sistema de cultivo sin suelo.

Objetivos Específicos

- Determinar la concentración óptima de Calcio que permita incrementar el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate cv Moctezuma.
- Obtener la concentración óptima de Magnesio que permita incrementar el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate cv Moctezuma.
- Conseguir la mejor relación de Calcio y Magnesio que permita obtener mayor crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate cv Moctezuma.

Hipótesis

Al menos una concentración y proporción de Calcio y Magnesio afectarán el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate cv Moctezuma.

REVISION DE LITERATURA

El cultivo del tomate en invernadero

El tomate (*Solanum lycopersium Mill*), tiene su origen en América del Sur, particularmente en la región andina, que comprende Ecuador, Bolivia y Chile, donde se encuentra su mayor variabilidad genética, precisamente en esta zona se lleva a cabo investigaciones y mejoras genéticas, para lograr cierto tipo de resistencia (Rodríguez *et al.*, 1996).

México es considerado como el centro más importante de domesticación del tomate, hecho ampliamente aceptado por la comunidad científica, ya que la utilización de formas domesticas en nuestro país, tiene bastante antigüedad y sus frutos eran bien conocidos y empleados como alimentos por las culturas indígenas que habitaban la parte central y Sur de México, antes de la llegada de los españoles (León y Arosemena, 1980).

Importancia económica

De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la superficie cosechada de tomate a nivel mundial creció a una tasa promedio anual de 1.7 % entre 2004 y 2014, para ubicarse en 5.0 millones de hectáreas. En el mismo período, los rendimientos promedio crecieron a un ritmo menor, de 1.2 % anual, al ubicarse en 2014 en 34.0 toneladas por hectárea.

El 54.5% de la superficie cosechada de tomate en 2014 se concentró en cuatro países: China (19.8%), India (18.8%), Nigeria (10.8%) y Turquía (6.4%). México ocupa la décima posición mundial, con el 1.9% de la superficie cosechada de esta hortaliza (FAO, 2017).

Consumo mundial

Entre 2003 y 2013, el consumo mundial de tomate creció a una tasa promedio anual de 3.2%, al ubicarse en 159.4 millones de toneladas. La demanda de esta hortaliza creció a un ritmo mayor en China e India: 5.6 y 9.0% promedio anual, respectivamente. En Estados Unidos, el crecimiento del consumo ha sido moderado, con una tasa promedio anual de 0.9% (FAO, 2017).

Comercio internacional

Entre 2005 y 2015, las exportaciones mundiales crecieron a una tasa promedio anual de 3.8%. En este rubro destaca México y Holanda, que participaron en 2015 con 20.9 y 15.1% del volumen mundial exportado, respectivamente. Las exportaciones de estos países crecieron a tasa promedio anuales de 5.6 y 3.5% durante la citada década (FAO,2017).

Por otra parte, 50.1% del volumen mundial importado en 2015 se concentró en cuatro países: Estados Unidos (22.3%), Alemania (10.7%), Rusia (9.4%), y Francia (7.7%). El volumen de compras estadounidense creció a una tasa promedio anual de 5.2 entre 2005 y 2015, mientras que las importaciones de Alemania y Rusia lo hicieron a tasas promedio anuales de 1.2 y 6.6%, respectivamente.

Producción nacional

El cultivo de tomate es el quinto en importancia por su contribución en el valor de la producción agrícola primaria de México, en 2016, participó con 4.6% del valor total, después del maíz grano (19.4%), la caña de azúcar (6%), el aguacate (5.9%) y el chile verde (4.7%).

De acuerdo con información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción de tomate rojo en México creció a una tasa promedio anual de 4.8% entre 2006 y 2016, para ubicarse en un volumen máximo histórico de 3.3 millones de toneladas.

Entre 2012 y 2016 se registró una mayor proporción de la superficie establecida de este cultivo con tecnologías de agricultura protegida (malla sombra e invernaderos), en promedio de 26% de la superficie total. Así, durante ese período, en cultivos con esos tipos de tecnología se produjo en promedio el 58% de la producción total nacional (SIAP-SAGARPA, 2017).

Consumo nacional

Durante 2016, el consumo nacional aparente de tomate se ubicó en un máximo histórico de 1.74 millones de toneladas, volumen que presentó el 52% de la producción nacional. Las variaciones en el consumo nacional aparente de tomate dependen de las fluctuaciones de la producción, así como del nivel de exportaciones. Por otra parte, el consumo per cápita anual de tomate en México se ubica en alrededor de 15 kilogramos por año, volumen que es inferior al consumo per cápita promedio mundial, de 18 kilogramos (SIAP-SAGARPA, 2017).

Intercambio comercial

Durante 2016, el tomate fue el producto hortícola más importante en el valor de las exportaciones agropecuarias mexicanas, con una participación de 13.2%, al ubicarse en 1,939.1 millones de dólares y en un máximo histórico de 1.61 millones de toneladas (SIAVI, 2017).

Precios a nivel nacional

Los precios del tomate al productor reportan diferencias significativas entre variedades. Los precios de las variedades saladette y bola, producidos a cambio abierto, registraron un promedio nacional de 5,747 y 5,094 pesos por tonelada durante 2016, respectivamente. Sin embargo, los precios del tomate producido en invernadero, para dichas variedades, registran promedios de 7,265 y 6,090 pesos por tonelada, respectivamente. Es decir, los precios del producto obtenidos en esta tecnología de

agricultura protegida fueron 26.4 y 19.5% mayores que los obtenidos a campo abierto (SIAP-SAGARPA, 2017).

Calidad nutracéutica

El tomate está compuesto principalmente por agua y su macronutriente mayoritario son los hidratos de carbono. Entre las vitaminas podemos destacar las del tipo A, C, E, Y B. Los minerales que más destacan son el fósforo, hierro, calcio, magnesio, zinc, cobre, potasio y sodio. Entre los carotenoides no provitamina A, están los licopenos cuya cantidad depende de la variedad cultivada, del grado de madurez y del modo de cultivo y forma de maduración (Fen, 2011).

El consumo regular de tomates se ha correlacionado con un menor riesgo de varios tipos de cáncer (Franceschi *et al.*, 1994; Gerster, 1997; Weisburger, 1998) y enfermedades del corazón (Lavelli *et al.*, 2000; Pandey *et al.*, 1995). Se cree que estos efectos positivos son atribuibles a los antioxidantes, particularmente los carotenoides, flavonoides, licopeno y b-caroteno (Lavelli *et al.*, 2000). Además, la Sociedad Americana del Cáncer (1984), Steinmetz y Plotter (1991), Block *et al.* (1992) y el World Cancer Research Fund (1997) recomiendan aumentar la ingesta diaria de frutas y verduras ricas en nutrientes como carotenoides y vitaminas C y E para reducir el riesgo de cáncer y las enfermedades cardiovasculares. Giovannucci y Clinton (1998) revisaron varios estudios epidemiológicos y concluyeron que la ingesta de productos de tomate se asoció consistentemente con un menor riesgo de una variedad de cánceres y en particular cáncer de próstata.

Nutrición de cultivos

La nutrición de cultivos inicia en nuestro país a principios del siglo 20, no obstante, desde tiempos prehispánicos las culturas del sureste de la República Mexicana, como la Olmeca y la Maya, habían desarrollado prácticas de fertilización, sistemas de riego y drenaje, e incluso una clasificación de suelos (Tovar, 1986).

Esta área de investigación es central para la agricultura moderna y protección del medio ambiente. Los altos rendimientos agrícolas dependen en gran medida en fertilización con nutrientes minerales. De hecho, los rendimientos de la mayoría de las plantas de cultivo aumentan linealmente con la cantidad de fertilizante que absorben (Loomis y Conner 1992).

Para el crecimiento normal de las plantas se consideran en la actualidad a 17 elementos como esenciales, incluyendo al carbono, oxígeno e hidrógeno. De acuerdo con Arnon y Stout (1939), deben ser satisfechos los siguientes requisitos para que un elemento sea considerado como esencial:

- a). Con la ausencia del elemento en cuestión no es posible un desarrollo normal de la planta y ésta es incapaz de completar su ciclo vital.
- b). Los síntomas de deficiencia deben de ser corregidos únicamente cuando la planta es abastecida con el elemento correspondiente, el elemento no puede de ser sustituido o remplazado totalmente por otro elemento.
- c). Las funciones sobre el metabolismo deben ser conocidas.
- d). El elemento debe tener una acción directa en la nutrición de la planta, lo cual significa que no debe actuar a través de variaciones en el substrato.

Los minerales esenciales incluyen: a) C, H, O, N y S (principales constituyentes de la materia orgánica), b) P, B y Si (esterificados con alcoholes en las plantas), c) K, Na, Mg, Ca, Mn y Cl (absorbidos como iones de la solución del suelo), y d) Fe, Cu, Zn y Mo (absorbidos como iones o quelatos). La adición más reciente al grupo de minerales esenciales es el níquel, involucrado en el metabolismo de la urea y de los ureidos, la absorción de hierro, la viabilidad de las semillas, la fijación de nitrógeno y el crecimiento reproductivo (Vinicio, 2002). Por su parte, Marschners (2012) señala que el Si y Na, así como el Co, Al, Se, V, I, Ti, La y Ce son considerados como elementos benéficos. Si bien estos tipos de elementos estimulan el crecimiento, pero no son esenciales, o si es el caso serían solo para ciertas especies de plantas, o aquellas que están bajo condiciones específicas (Maschners, 2012).

El principal objetivo de la nutrición mineral de cultivos es mantener en el suelo el contenido adecuado de elementos minerales, de una forma balanceada y asimilable, para que la planta pueda tomarlos en el momento preciso y en las cantidades necesarias (Urbano, 1992). El papel de la fertilización es atender estas necesidades mediante la incorporación de los nutrientes necesarios (Lemaire *et al.*, 2005).

Hidroponía

El término hidroponía deriva de los vocablos griegos “hydro” o “hudor”, que significa agua, y “ponos”, equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como “trabajo del agua” o “actividad del agua” (Sánchez y Escalante, 1983).

En términos prácticos se puede definir a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutrimentales esenciales, disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución (Sánchez y Escalante, 1983).

Existen otros términos que se usan como sinónimos de la hidroponía, tales como: cultivos sin suelo, nutricultura, quimicultura, cultivos artificiales, agricultura sin suelo, etc. (Sánchez y Escalante, 1983).

Cultivo hidropónico

En México, y en otros países de América Latina, este término se utiliza para indicar la nutrición de la planta mediante una solución nutritiva, junto con el uso de sustratos orgánicos o inertes (o una mezcla de ambos) para el anclaje de las raíces y de tutores para mantener el o los tallos erguidos y los frutos sin contacto con el suelo o sustrato (Sandoval *et al.*, 1992).

En su concepción más amplia, los cultivos hidropónicos engloban a todo sistema en el que a las plantas se les hace crecer y desarrollarse en sustrato sólido diferente al suelo o en solución, el concepto es equivalente al de “cultivo sin suelo”, (Sandoval *et al.*, 1992).

Cultivo semi-hidropónicos

En esta modalidad se emplean sustratos no inertes (turba acida, fibra de coco, corteza de pino, y otros sustratos orgánicos en mezclas con fertilizantes de liberación controlada o liberación lenta) que suministran una parte de los nutrimentos a la planta y el abastecimiento mineral se complementa con la aplicación regular de soluciones nutritivas (Sandoval *et al.*, 1992).

En México, esta modalidad se usa ampliamente en la producción de plantas ornamentales en maceta, utilizando generalmente mezclas de tierra de monte, tezontle y agrolita, como ocurre en los numerosos viveros del país.

Ventajas y desventajas de la hidroponía con respecto al suelo

Ventajas

A continuación, se enumeran las principales ventajas de los cultivos hidropónicos con respecto al sistema de cultivo en suelo. Estas ventajas se han dividido en primarias y secundarias; las primarias se refieren a aspectos tangibles relacionados con la calidad de los productos, el rendimiento y el control de las variables de la producción y las secundarias son situaciones que pueden o no representar ganancia respecto a la producción en suelo; por ejemplo, en los cultivos hidropónicos se puede ahorrar agua y nutrimentos reciclando la solución nutritiva, sin embargo, esto no siempre ocurre (Sandoval *et al.*, 1992).

Ventajas primarias de la hidroponía (Sandoval et al., 1992)

- Mayor densidad de población de plantas.
- Se alcanzan altos rendimientos por unidad de superficie.
- Mayor calidad e inocuidad de los productos.
- Balance adecuado de aire, agua y nutrimentos para las plantas en comparación con cultivo en suelo.
- Humedad uniforme y drenaje eficiente
- Control y corrección del pH de la solución y de deficiencias o toxicidades nutrimentales
- Rápida amortización de la inversión
- Mayor precocidad y uniformidad en los cultivos.
- Programación de cosechas fuera de la temporada en invernaderos y así obtener mayores precios del producto.

Ventajas secundarias de la hidroponía (Sandoval et al., 1992)

- Si se cuenta con invernadero y sistemas de calefacción y ventilación, no se depende de los fenómenos meteorológicos. No se requiere maquinaria agrícola ni grandes extensiones de tierra.
- Se aprovechan las fluctuaciones del precio, ocasionadas por la estacionalidad de la producción asociada a la temporada de lluvias.
- Se requiere menor espacio y capital para una mayor producción.
- Ahorro considerable de fertilizantes, insecticidas, fungicidas y agroquímicos en general.
- Cultivo con muy baja incidencia de bacterias, hongos, parásitos y libre de contaminantes atmosféricos.
- Posibilidad de automatización casi completa.
- Ayuda a eliminar parte de la contaminación física ocasionada por polvo movilizado por el viento o por el salpicado de tierra que ocasiona la lluvia común en cultivos en suelo al aire libre.

- Se puede utilizar agua con relativamente altos contenidos de sales.
- Se reduce en gran medida la contaminación del medio ambiente y los riesgos de erosión.
- Soluciona los problemas de producción de zonas áridas o frías.
- Ayuda a conservar los recursos naturales: agua, suelo y biota.
- Se puede cultivar en ciudades y espacios reducidos o azoteas.
- Se puede cultivar en aquellos lugares donde la agricultura normal es difícil: suelos someros o pedregosos, salinos o sódicos, agua de mala calidad, pendientes pronunciadas o escasez de terreno
- Al combinarse con control biológico se obtienen productos libres de residuos de pesticidas.

Desventajas

Los principales dos inconvenientes de la hidroponía se relacionan, fundamentalmente, con el nivel de capacitación que requieren los encargados de operar un sistema de producción de este tipo y la inversión económica inicial, (Sandoval *et. al.*, 1992).

Las desventajas más importantes de producción en hidroponía son las siguientes (Sandoval *et al.*, 1992):

- Inversión inicial elevada que incluye: sistema de riego, depósitos de agua, control de temperatura, invernadero, dispositivos para automatización y semillas híbridas de alta producción.
- Los encargados de dirigir una explotación hidropónica requieren conocimientos, al menos elementales, de agronomía, de fisiología vegetal, química y de aspectos relacionados con la planeación.
- Desconocimiento de los cultivos a desarrollar.

Nutrición del cultivo de tomate sin suelo

De acuerdo a la FAO (2013) los elementos esenciales para la nutrición de las plantas de tomate son clasificados en dos grandes grupos, macronutrientes y micronutrientes.

Macronutrientes. Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S), los cuales constituyen aproximadamente el 5 a 7 % de la materia seca de la planta (FAO, 2013).

Nitrógeno. Es el nutriente más limitante para el crecimiento del tomate y se requiere en gran cantidad para una producción óptima. La deficiencia de nitrógeno puede dar lugar a un crecimiento atrofiado, coloración amarillenta de las hojas basales de la planta, menor tamaño de hojas jóvenes y de color verde pálido, y en casos severos, las hojas más viejas se vuelven amarillas y mueren prematuramente (Winsor, 1973). Puede disminuir la producción en cantidad y tamaño del fruto, calidad de almacenamiento, color y sabor de tomate, lo cual podría ser debido a que el nitrógeno es un componente de proteínas y aminoácidos, sin los cuales las funciones vitales en el crecimiento y reproducción de las plantas no serían posibles (Winsor, 1973; Sainju *et al.*, 2003).

Fosforo. Induce el crecimiento de las raíces de tomate y por lo tanto ayuda en el establecimiento temprano de la planta inmediatamente después del trasplante o siembra. El crecimiento vigoroso de las raíces estimulada por P ayuda a una mejor utilización de agua y otros nutrientes en el suelo y promueve un crecimiento sano y robusto de tallo y follaje (Nelson, 1978; FAO, 2008).

Gran parte de la energía requerida para el metabolismo de las plantas se almacena químicamente en forma de fosfatos orgánicos complejos (por ejemplo, adenosina trifosfato, ATP) y se libera, según sea necesario, para impulsar los procesos químicos importantes involucrados en crecimiento, además juega un papel importante como constituyente de ácidos nucleicos (Adams, 1986). Las plantas deficientes en fósforo se vuelven enanas y delgadas, las hojas permanecen pequeños y rígidos, y se

desarrollan tintes morados en la parte inferior, áreas marrones puede desarrollarse al azar en las hojas más viejas, que se vuelven amarillas y mueren prematuramente ya que pierden el fosfato que es trasladado a otra parte para mantener un nuevo crecimiento (Sainju *et al.*, 2003; FAO, 2013).

El fósforo es un componente del ácido nucleico. Ayuda en la producción de gran cantidad de flores en el crecimiento temprano de tomates, frutos y semillas (Zobel, 1966; Sainju *et al.*, 2003). Como resultado, aumenta la cantidad y producción de frutos de tomate, con un aumento total de sólidos solubles y contenido de acidez (Adb-Alla, *et al.*, 1996; Sainju *et al.*, 2003). También mejora el color de piel y pulpa, sabor, resistencia y contenido de vitamina C (Su, 1974). La deficiencia en P da como resultado un retraso en el crecimiento de los tomates con tallos delgados y color verde oscuro en la superficie superior de las hojas caracterizándose con venas de color púrpura (Needham, 1973; Sainju *et al.*, 2003).

Potasio. De manera similar con N, la concentración de K en tomate es mayor que la concentración de otros nutrientes (Sainju *et al.*, 2003). El k ayuda en el crecimiento vigoroso del tomate y estimula la floración temprana y puesta de fruta, aumentando así el número y la producción de tomates por planta (Varis and George, 1985). También aumenta las concentraciones de ácidos cítricos y málicos, sólidos totales, azúcares y caroteno en frutos de tomate, mejorando así su calidad de almacenamiento (Uexkull, 1979).

La deficiencia de K resulta en un chamuscado marginal marrón con clorosis intervenal y coloración amarillenta en las hojas de tomate (Needham, 1973) y entrenudos acortados (Uexkull, 1979; Sainju *et al.*, 2003).

Calcio. Además de N, P y K, el tomate también necesita Ca en gran cantidad debido a su mayor concentración en los componentes de la planta (Sainju *et al.*, 2003). El Ca juega un papel vital en el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares y actúa como agente cementante en las paredes celulares en forma de pectato de calcio (Adams, 1986).

Un síntoma típico de deficiencia de Ca es la desintegración de las paredes celulares y el colapso de los tejidos afectados, como los pecíolos, las partes superiores de los tallos y frutas (Shear, 1975; Ho y White, 2005; Marschner, 2012). En hojas de plantas que reciben grandes cantidades de Ca durante su crecimiento, o cuando se cultiva bajo condiciones de alta intensidad de luz, una gran proporción del material péctico está en forma de pectato de Ca, esto hace que el tejido sea altamente resistente a la degradación por poligalacturonasa (Marschner, 2012). La proporción del pectato de calcio en las paredes celulares también es importante para susceptibilidad del tejido a infecciones fúngicas y bacterianas y para la maduración de las frutas (Ferguson, 1984). En la fruta de tomate, las concentraciones de Ca de la célula de las paredes aumentan a la etapa inmadura completamente desarrollada, pero esto es seguido por una disminución en la concentración de Ca y un cambio en su forma ligada justo antes de la maduración (Rigney y Wills, 1981). Aumentar la concentración de Ca en frutas, por ejemplo, rociando varias veces con sales de Ca durante la fruta desarrollo o por inmersión poscosecha en solución de CaCl_2 , conduce a un aumento en la firmeza de la fruta y retrasos maduración del fruto (Ferguson, 1984; Oms-Oliu *et al.*, 2010).

Magnesio. La principal función del Mg en las hojas verdes es como el átomo central de la molécula de clorofila (Maschner, 2012). La proporción de Mg total unido a la clorofila depende de Suministro de Mg (Michael, 1941). La deficiencia es común en los tomates cultivados en invernadero. Debido a que es un elemento móvil dentro de la planta, su carencia aparece en las hojas bajas (moteado). Los síntomas de deficiencia comienzan con una decoloración internerval en el centro del folíolo, que se mueve hacia el borde, quedando el mismo verde (FAO, 2013).

Azufre. Es un componente de proteínas y aminoácidos, este facilita la asimilación del nitrógeno (Sainju *et al.*, 2003). Los síntomas visuales de deficiencia de azufre son amarillamiento internerval en las hojas y coloración rojiza de pecíolos y tallos, además los entrenudos son más cortos y las hojas más pequeñas. Las hojas más jóvenes y

próximas a las yemas son las más afectadas. Bajo condiciones de deficiencia no solo se reduce el rendimiento, sino también la calidad de los frutos (FAO, 2013).

Micronutrientes; Hierro (Fe), Molibdeno (Mo), Boro (B), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Cloro (Cl).

Hierro. Es un componente de muchas enzimas en la nutrición y metabolismo del tomate (Sainju et al., 2003), debido a que es un elemento muy poco móvil en la planta, la deficiencia se detecta en las hojas jóvenes, apareciendo una amarillez en la parte inferior del folíolo, además de permanecer pequeñas, y el crecimiento de las plantas atrofiado (FAO, 2013).

Molibdeno. Es necesario para el metabolismo del N en el tomate (Sainju et al., 2003). Los síntomas de carencia aparecen en las hojas bajas, presentando una coloración amarilla pálida. Las hojas presentan un acartonamiento, con grandes acumulaciones de calcio, que le da características quebradizas. Se suele detectar en medios de crecimiento con altos contenidos del ión sulfato, elemento antagónico del ión molibdato, que es como lo absorbe la planta (FAO, 2013).

Boro. Este elemento juega un papel importante en la fertilidad y la reproducción del crecimiento de tomate, puede influir en la producción de flores y frutas de tomate. La deficiencia de boro es un trastorno ampliamente nutricional reportado en la producción comercial de tomate (Sainju et al., 2003). Debido a que es un elemento muy poco móvil dentro de la planta, los síntomas de carencia aparecen en las hojas jóvenes, presentando amarillez-anaranjada en el extremo de los folíolos medios de la hoja (FAO, 2013, entrenudos acortados y anormalidades en la estructura celular (Von Uexkull, 1979). También se manifiesta en el fruto a través de líneas necrosadas del grosor de un hilo que vas desde la parte apical hasta la distal del fruto. Bajo carencia, se inhibe el crecimiento de las raíces secundarias, apareciendo una gelatinización en el extremo de éstas (FAO, 2013).

Cobre. Aunque no es común en suelos de campo, la deficiencia de Cu puede ser observado en tomate cultivado en invernadero con o sin suelo, pero con bajo contenido de Cu (Sainju et al., 2003). El síntoma aparece en hojas jóvenes, de forma rizada para formar una apariencia tubular y pecíolos curvados hacia abajo, aparecen manchas necróticas cerca de las venas en las hojas (FAO, 2013).

Manganeso. Es un elemento semimóvil en la planta, apareciendo síntomas de carencia en las hojas medias, cuarta o quinta contado de arriba hacia abajo (FAO, 2013), La carencia aparece presentando una decoloración internerval y enrollamiento hacia el envés, aparece manchas necróticas marrones entre las venas en el medio hojas de tomate, que se extienden hasta las nervaduras centrales y las venas laterales principales (Sainju et al., 2003). La asimilación se ve disminuida por altos niveles de fósforo, calcio, hierro, cobre y zinc, así como temperaturas bajas (FAO, 2013).

Zinc. Es un componente esencial de la enzima (anhidrasa carbónica) para el metabolismo de nutrientes en tomate (Sainju et al., 2003). Aunque menos común en suelos de campo, la deficiencia puede ocurrir en medio sin suelo o cultivo de agua con bajo contenido de Zn. La deficiencia aparece como marrón mancha necrótica en las hojas con leve clorosis y curvatura hacia abajo de los pecíolos. El alto nivel de P en el medio de crecimiento radicular también puede reducir el Zn disponibilidad de tomate y deficiencia de resultados (Samad, *et al.*, 1996).

Cloro. Es absorbido por la planta como ión cloruro, tanto por vía radicular como por la parte aérea. La planta requiere bajas cantidades, alrededor de 5 ppm. Presenta gran movilidad dentro de la planta, donde emigra hacia las partes con actividad fisiológica. Su deficiencia se manifiesta con un menor desarrollo longitudinal y engrosamiento del ápice de la raíz, manchones cloróticos y necróticos en hojas jóvenes y marchites del ápice de la planta (FAO, 2011). Los excesos son más graves y comunes que las deficiencias y se manifiestan como un adelgazamiento de la hoja con tendencia a enrollarse llegando al extremo de quemarse, confundiendo con la sintomatología de deficiencia de potasio, razón por la cual se debe recurrir al análisis foliar (FAO, 2013).

El crecimiento de la planta puede reducirse notablemente cuando hay escasez en el medio (solución nutritiva o solución del suelo), porque resulten no asimilables o porque no mantengan un equilibrio con los otros elementos esenciales (FAO, 2013).

El calcio como nutriente de cultivos

El calcio (Ca) es un macro nutriente presente en la planta como pectato de calcio, esencial en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular (Epstein, 1961; Morard *et al.*, 2000) y la permeabilidad de la membrana; mejora la germinación del polen y el crecimiento; activa una serie de enzimas para la mitosis celular, para la división y elongación; posiblemente ayuda a la desintoxicación por la presencia de metales pesados en los tejidos que afectan la calidad del fruto, y la salud del tejido conductivo (Jones, 1999).

El Ca también está implicado en numerosas funciones celulares que son reguladas en las células de las plantas por los cambios en las concentraciones de Ca citosólico, como el equilibrio iónico, la expresión genética, y el metabolismo de hidratos de carbono (Bush, 1995). El contenido de Ca en las plantas superiores, es aproximadamente 0.5% sobre base seca. Los iones de Ca funcionan como un segundo mensajero en numerosas vías de señalización de las plantas, transportando amplia gama de estímulos ambientales y de desarrollo obteniendo las respuestas fisiológicas apropiadas (Leucorieux *et al.*, 2006).

Absorción del calcio

Las plantas adquieren Ca principalmente de la solución del suelo, a través del sistema radicular (White, 2001). La absorción de Ca por la raíz es ampliamente considerada como un proceso pasivo a lo largo del gradiente electroquímico, acoplado a la absorción o transpiración de agua durante el día y la presión de la raíz durante la noche (Morard *et al.*, 2000). La absorción de Ca hacia la raíz está vinculada al flujo de masas de agua, más que la mayoría de otros iones (Barber, 1995) que presentaron la acumulación de Ca en la superficie de la raíz (Barber y Ozanne, 1970).

Factores de absorción del calcio

Cualquier factor que inhiba el crecimiento de las raíces, como la temperatura, la poca oxigenación, desbalance nutricional, o la alta concentración de iones H^+ , pueden restringir la captación de Ca y por lo tanto efectuar su translocación debido a la ausencia de células jóvenes de la punta de la raíz. La absorción de Ca es estimulada con la presencia de NO_3^- (nitrato) y deprimidos por altos niveles de NH_4^+ (amonio), potasio (K^+) o magnesio (Mg) (Kirkby, 1979).

Transporte de calcio dentro de la planta

El Ca se transporta a las plantas a través de la corriente de transpiración, dado que este elemento no es libremente móvil en la planta, los periodos cortos de déficit de Ca rápidamente afectan activamente (Kleemann, 1999, Olle y Bender, 2009). El Ca sólo se mueve en el xilema, que se mueve unidireccionalmente desde el sistema radicular a los brotes. En un fruto de tomate el floema suministra el más del 90% del agua (Morard *et al.*, 2000). El Ca es inmóvil en el floema, que es bidireccional, así que una vez que el Ca está en una hoja o fruto no puede ser movilizado a otras partes de la planta incluso si se encuentra sometida a estrés (Hanger, 1979).

Deficiencia de calcio

La deficiencia de Ca suele estar relacionada con la incapacidad de una planta para trasladarlo hacía las partes afectadas, en lugar de ser debido a niveles insuficientes de Ca en el suelo (Olle y Bender, 2009). Las plantas con desbalances o deficiencia de este elemento suelen ser débiles, pequeñas y se vuelven susceptibles al ataque de patógenos, así como a las pudriciones, y es común cuando se excede de nitrógeno o bien cuando hay exceso o falta de humedad (Yáñez, 2002).

Las frutas son órganos de transpiración baja, que puede ser una razón de su bajo contenido de Ca. La mayor parte del Ca en plantas de tomate se transporta a las hojas

de la transpiración y permanece allí, teniendo como consecuencia una falta de Ca en el fruto por su poca transpiración, provocando así, la podredumbre apical conocida como blossom end rot (BER) (Olley y Bender, 2009).

Síntomas de exceso de calcio

Una planta con un suministro en exceso de Ca se puede reflejar en un desbalance de cationes, tales como una deficiencia de Mg o de K (Castellanos, 2009).

Antagonismo de calcio

Es considerado como uno de los más preocupantes, ya que el Ca es antagonista con multitud de elementos, ejemplos; Na/Ca, Ca/Mg y K Ca/Fe, Mn, Zn, y B (Análisis foliares, 2008)

El Magnesio como nutriente de cultivos

Se estima que el Mg constituye el 1.93% de la corteza terrestre, formando partes de minerales primarios y secundarios como biotita, dolomita, clorita, serpentitas, talco, olivino, augita y hornblenda, que al intemperizarse liberan Mg a la solución del suelo, en donde puede ser luego lixiviado, absorbido por plantas superiores o microorganismos, adsorbido en el complejo de intercambio o reprecipitado (Núñez, 2012).

Según Pratt y Harding (1957) las deficiencias de magnesio son comunes en suelos arenosos de regiones lluviosas; las adiciones abundantes de fertilizantes, especialmente de K, cloruros y sulfatos, ayudan a lavar el Mg del perfil del suelo y a desarrollar su deficiencia, lo mismo que el uso del agua de riego con una alta relación Ca/Mg.

La absorción de Mg por las plantas se ve estimulada por los nitratos (Mulder, 1958), en cambio algunos otros iones antagonizan con su absorción o agravan su deficiencia en las plantas.

Siendo el Mg un elemento esencial también para los animales, pueden desarrollar hipomagnesemia en pastizales de gramíneas creciendo en suelos ricos en K y pobres en Mg (Havlin, 1999).

Antagonismo entre calcio y magnesio

La tasa de absorción de Mg puede ser presionado por Ca y viceversa (Paiva *et al.*, 1998; Hao y Papadopoulos, 2003). El Ca es fuertemente competitivo con el Mg, y los sitios de unión en la membrana plasmática de la raíz parecen tener menos afinidad por el Mg altamente hidratado que para Ca (Marschner, 1986). El nivel elevado de Ca externo resulta una disminución de la absorción de Mg debido al antagonismo catiónico o sus interacciones. Los síntomas de deficiencia de Mg pueden ser, hasta cierto punto, por una alta relación Ca:Mg, además del contenido de Mg absoluto en las hojas (Bergmann, 1992). El Ca también se informó con frecuencia como un inhibidor de enzimas que requieren Mg, además; una alta actividad de Ca contrarresta la función de Mg (Clarkson y Sanderson, 1978). Las concentraciones excesivas de Ca en hoja podrían interferir con la fijación de CO₂ por la inhibición de las enzimas del estroma, en particular aquellos que son activados por el Mg (Grattan y Grieve, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en uno de los invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en la Calzada Antonio Narro 1923 Buenavista, CP 25084, Saltillo, Coahuila, México. Con coordenadas: 25.353611°, -101.032222° con altitud de 1785 msnm.

Material vegetal

El material genético utilizado consistió en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) híbrido Moctezuma con buenas características de sanidad y rendimiento, frutos de calidad con tamaño extra grande, excelente firmeza, gran vigor, buen cuajado en calor y buena duración en vida de anaquel. Este híbrido cuenta con una amplia gama de resistencia a enfermedades.

Siembra

Las semillas fueron sembradas el 9 de marzo del 2016 en bandejas de 66.4 cm de largo por 33.5 cm de ancho y 7 cm de alto con una cavidad tipo cónica, esquinas red y guía de raíz con dimensiones de 3.1 cm por 3.1 cm, drenaje de 5 mm con capacidad de 22 ml.

Trasplante

El trasplante se realizó el 23 de abril del 2016 en contenedores de polietileno de color negro con dimensiones 37 cm por 40 cm, calibre 600 con capacidad de 10 L. El sustrato utilizado fue turba acida y perlita, en una relación (70%:30% v/v).

Tratamientos

Se utilizaron 3 concentraciones de Ca (7, 9 y 11 me L⁻¹) y 3 concentraciones de Mg (3, 4 y 5 me L⁻¹), la combinación de estos da un total de 9 soluciones nutritivas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de macronutrientes de las soluciones nutritivas evaluadas en el experimento con diferentes niveles de Ca: Mg

NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁻²	Ca⁺⁺	K⁺	Mg⁺⁺
meq L⁻¹					
14	2	3	9	7	3
14	2	4	9	7	4
14	2	5	9	7	5
14	2	5	11	7	3
14	2	6	11	7	4
14	2	7	11	7	5
14	2	7	13	7	3
14	2	8	13	7	4
14	2	9	13	7	5

NO₃⁻= Nitratos, H₂PO₄⁻= Fosfatos SO₄⁻²= Sulfatos Ca⁺⁺= Calcio, K⁺= Potasio, Mg⁺⁺= Magnesio.

Diseño experimental

El trabajo experimental fue establecido bajo un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial de 3x3. Cada tratamiento constó de 4 repeticiones y a su vez éstas con 2 plantas por repetición, con un total de 72 unidades experimentales.

Condiciones ambientales

Durante el experimento se registró una temperatura media de 21.8°C (mínima de 2.5°C y una máxima de 48.6°C), la humedad relativa del 77% (mínima de 6% y máxima de 99%). Con una radiación fotosintéticamente activa de 455 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Manejo del cultivo

Durante el trabajo experimental es de suma importancia las actividades culturales para mantener la planta en óptimas condiciones en función de su etapa fenológica, a continuación, se describe cada una de ellas:

Riego

Se realizaron manualmente según las necesidades hídricas del cultivo, aplicando el volumen necesario para mantener un 25% de lixiviación para el lavado de sales. Las soluciones nutritivas (SN) fueron preparadas en tambos con una capacidad de 60 L, disolviendo los fertilizantes por separado y con el siguiente orden, fosfatos, sulfatos, micronutriente y al final nitratos, para evitar precipitados. Las soluciones siempre se mantuvieron tapadas para evitar contacto directo con el ambiente. El pH de las SN se ajustó en un rango de 5.8 a 6.2 con ácido sulfúrico con una pureza del 98% y densidad de 1.87 g/cm³, ácido nítrico al 55% y densidad de 1.35 g/cm³, ácido fosfórico al 85% y densidad de 1.67 g/cm³. La conductividad eléctrica (CE) varió de 2.1 a 2.7 dS m⁻¹.

Control de plagas y enfermedades

Durante el ciclo del cultivo se aplicaron insecticidas preventivos para chupadores, como lo fue Abamectina 1.80% CE con dosis de 1 ml/L y Confidor 350 SC en dosis de 0.5 ml/L. En el caso de fungicidas se aplicó Cabrio C en dosis de 3 g/L y Prozykar con dosis de 1.5 g/L, para prevención de enfermedades.

Control malezas

Las malezas que se encontraban dentro y alrededor del invernadero fueron eliminadas manualmente, para evitar su función como hospederos de plagas.

Tutoreo

Se realizó un tutoreo tipo Holandés, el cual se adaptaba más al tomate indeterminado variedad Moctezuma. Se utilizó rafia agrícola de calibre 0.75 mm y 8 m de longitud, la cual estaba sujeta a un alambre galvanizado en la parte superior y en la inferior se ató a la base del tallo haciendo un anillo para evitar ahorcamiento y se enredó en sentido contrario a las manecillas del reloj, por debajo de las hojas y racimos para evitar daños mecánicos a medida que creciera la planta. Cuando la planta rebasaba la altura del alambre galvanizado se bajaba para seguir con el manejo cultural de una manera óptima. Esta actividad se realizó cuando la planta tenía una altura en la cual no se podía mantener erguida por si sola.

Polinización

Se realizó de manera manual 3 veces al día, dándole golpes ligeros al alambre galvanizado generando una vibración, la cual favorecía la diseminación del polen y así aumentar la polinización.

Podas

Se realizaron podas en brotes axilares, hojas y frutos. La primera poda fue de brotes axilares, cuando estos tenían un crecimiento de 2 a 4 cm aproximadamente, de forma manual. Después de esto, se realizaron podas de hojas en función del crecimiento de la planta, dejando de 11 a 13 hojas fotosintéticamente activas, para el raleo o poda de frutos se dejaba que este llegara al cuaje para poder efectuarla, de tal manera que se dejaron 5 frutos del racimo 1 al 4 y los demás con 6 frutos por racimo.

Cosecha

La cosecha inicio a los 75 días después de trasplante (ddt), con un índice de maduración del 75 al 90%, según las especificaciones del mercado. Los cortes fueron divididos en 3 segmentos, del racimo 1 al 6, del 7 al 8 y la suma de los 12 racimos en los siguientes 96 días después del primer corte.

Variables evaluadas

Se evaluaron seis variables agronómicas y una de laboratorio, las cuales se describen a continuación:

Rendimiento del racimo 1 al 6: Se determinó por la suma total del primero al sexto racimo.

Rendimiento de racimo 7 al 12: Fue determinado por el peso total del racimo siete al doce.

Rendimiento total: Es la sumatoria del peso de los doce racimos al término del ciclo reproductivo.

Diámetro del tallo: Esta variable se determinó con un vernier digital, midiendo la base del tallo.

Longitud del tallo: Para medir esta variable, se tuvo que eliminar la planta haciendo un corte en la base del tallo con la ayuda de tijeras de poda, seccionando la planta en raíz, tallo y hoja, posteriormente se midió con una cinta métrica. Los órganos separados se introdujeron a una estufa de secado por 72 horas a 60 °C.

Peso seco de raíz: Después de haber medido el parámetro anterior, se tomó la sección del contenedor, el cual quitamos para poder lavar la raíz cuidadosamente con agua de la llave.

Porcentaje de pudrición apical: fue determinado en base a el número total de frutos que presentaron pudrición apical (blossom) por tratamiento.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), prueba de comparación de medias de Duncan ($p \leq 0.5$), usando el programa estadístico SAS versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de Ca y Mg en la solución nutritiva no afectaron significativamente el peso seco de raíz, el diámetro de tallo y la altura de planta, mientras que el peso seco de fruto solo fue influenciado por la concentración de Mg (Cuadro 1). Las interacciones entre estos dos factores tampoco afectaron estas variables (Cuadro 1). Las plantas nutridas con una concentración de Mg de 4 o 5 me L⁻¹ registran un peso seco de fruto 13 a 14% mayor comparando al de aquellas plantas que recibieron una concentración inferior (Cuadro 1). Lo anterior sugiere que el suministro adecuado de Mg incrementa al máximo los rendimientos de las plantas ya que son frutos de mayor tamaño. De acuerdo, con Cakmak y Yazici (2010), las plantas deficientes de Mg afectan negativamente varios procesos fisiológicos y bioquímicos, lo que conduce a alteraciones en el crecimiento y rendimiento, ya que influye en procesos metabólicos particulares y reacciones que incluyen: fotofosforilación (como la formación de ATP en cloroplastos), fijación de dióxido de carbono fotosintético (CO₂), síntesis de proteínas, formación de clorofila, carga de floema, partición y utilización de fotoasimilados, generación de especies reactivas de oxígeno y fotooxidación en tejidos foliares (Cakmak and Yazici, 2010). En plantas de cebolla nutridas adecuadamente con Mg afectó de manera positiva el rendimiento y calidad del bulbo (Kleiber *et al.*, 2012).

La concentración de Ca afectó significativamente el rendimiento del racimo 1 al 6, del 7 al 12, el rendimiento total y la pudrición apical de fruto, mientras que el magnesio sólo afectó el rendimiento total (Cuadro 3). La interacción entre estos dos factores afectó el rendimiento del racimo 1 al 6 y el rendimiento total, en tanto que las otras variables no se vieron influencias (Cuadro 3). El rendimiento del racimo 1 al 6 fue mayor al aplicar una concentración de Ca igual a 9 me L⁻¹, pues con 11 y 13 me L⁻¹ se redujo el rendimiento (Cuadro 3). Asimismo, las plantas irrigadas con una solución nutritiva que contenía 9 meq L⁻¹ de Ca mostraron un mayor rendimiento del racimo 7-12 que las que comprenden una concentración de 11 meq L⁻¹, sin embargo, estas fueron muy superiores en comparación de las que fueron nutridas con una solución de 13 meq L⁻¹ pues disminuye drásticamente el rendimiento (Cuadro 3). El rendimiento

total de las plantas nutridas con 9 me L⁻¹ registraron un mayor rendimiento, que aquellas plantas desarrolladas con una concentración distinta a este, por otra parte, las plantas irrigadas con la solución de 4 me L⁻¹ de Mg presentan mayor rendimiento que aquellas al suministrarles 3 o 5 me L⁻¹ (Cuadro 3).

El incremento de la concentración de Ca (9, 11 y 13 me L⁻¹) en las soluciones aumenta el porcentaje de pudrición apical del fruto, ya que una concentración de 13 me L⁻¹ de Ca se obtuvo el mayor porcentaje de este tipo de fisiopatía, comparado con las demás concentraciones. Este mismo efecto se observa con mayor suministro de Mg en las plantas, ya que con 5 me L⁻¹ de este nutrimento se incrementó la pudrición apical del fruto (Cuadro 3). Esto sugiere que a mayor concentración de Ca y Mg aumentan este tipo de fisiopatía, que puede ser debido a un posible antagonismo o precipitación de estos nutrimentos.

El antagonismo entre estos nutrientes con frecuencia está relacionado porque son cationes divalentes que probablemente comparten los mismos mecanismos de absorción (Rietra *et al.*, 2017). Por su parte, Hao y Papadopoulos (2003) reportan que la pudrición apical del fruto de tomate aumenta linealmente con el incremento de la concentración de Mg en condiciones de baja concentración de Ca., sin embargo, esta incidencia no se vio afectada por el Mg al aumentar la concentración de Ca en la solución nutritiva.

El incremento de la concentración de Ca aumenta la pudrición apical del fruto, esto no necesariamente se debe a la disponibilidad de este nutrimento en el medio de crecimiento, si no que puede ser por una precipitación del Ca dentro de la planta. Pues, Suzuki, Shono y Egawa (2003) señalan que la cantidad de Ca precipitado en la membrana plasmática cerca de las células colapsadas fue menor que la de las células de frutas normales o partes normales de las frutas con pudrición apical, por lo que, la deficiencia de Ca en la membrana plasmática causó colapsos celulares en los frutos de tomate (pudrición apical).

Cuadro 2. Efecto de las concentraciones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en la solución nutritiva sobre crecimiento de las plantas de tomate cv. Moctezuma.

Tratamiento	Peso seco de raíz	Diámetro de tallo	Altura de planta	PSF
Ca (me L⁻¹)	(g planta ⁻¹)	(mm)	(m)	(g racimo ⁻¹)
9	19.95	15.79	4.48	13.8
11	18.63	15.53	4.5	13.62
13	18.48	15.99	4.43	14.55
ANOVA	0.24	0.30	0.69	0.23
Mg (me L⁻¹)				
3	19.68	15.9	4.42	12.83b
4	19.03	15.65	4.49	14.5a
5	18.36	15.75	4.45	14.65a
ANOVA	P=0.38	P=0.70	P=0.51	P=0.003
Interacción	0.53	0.99	0.73	0.67
CV (%)	21.26	7.92	7.4	17.33

PSR= Peso seco de raíz; PSF= Peso seco de fruto; ANOVA= análisis de varianza; Interacción= Ca*Mg; CV= Coeficiente de variación. Las letras de la misma literal no son diferentes de acuerdo a la comparación de media con Duncan al 0.05.

Cuadro 3. Efecto de las concentraciones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en la solución nutritiva sobre rendimiento y la pudrición apical de los frutos de las plantas de tomate cv. Moctezuma.

Tratamiento	Rendimiento Racimo 1-6	Rendimiento Racimo 7-12	Rendimiento total	Incidencia de Pudrición apical de fruto
Ca (meq L⁻¹)	(g)	(g)	(g planta ⁻¹)	(%)
9	6065a	3585a	9650.3a	8.99c
11	5766b	3410ab	9169ab	15.58b
13	5726b	3078b	8803.6b	20.271a
ANOVA	p0.050	0.003	0.001	0.001
Mg (meq L⁻¹)				
3	5843.8	3163.2	9007.1b	12.58b
4	5819.1	3526.5	9345.6a	13.61b
5	5894.3	3376	9270.7ab	18.09a
ANOVA	P=0.88	P=0.045	P=0.24	P=0.001
Interacción	P=0.05	P=0.17	P=0.01	P=0.12
CV (%)	10.79	18.2	9.57	11.42

RTO 1-6= rendimiento del racimo 1 al 6; RTO 7-12= rendimiento del racimo 7 al 12; RTO= rendimiento total; ANOVA= análisis de varianza; Interacción= Ca*Mg; CV= Coeficiente de variación. Las letras de la misma literal no son diferentes de acuerdo a la comparación de media con Duncan al 0.05.

El incremento de la concentración de Mg en las soluciones nutritivas aumentó el rendimiento del racimo 1 al 6 de las plantas de tomate con 9 me L⁻¹ de Ca, mientras que aquellas nutridas con una solución de 11 me L⁻¹ Ca y 4 me L⁻¹ de Mg fue mayor el rendimiento comparado con plantas tratadas con 3.0 o 5.0 me L⁻¹ de Mg, mientras que las plantas que recibieron 13 me L⁻¹ de Ca y 4 me L⁻¹ de Mg se redujo drásticamente el rendimiento (Figura 1). El rendimiento total de las plantas fue más mayor con 9 me L⁻¹ de Ca en las diferentes concentraciones de Mg en la solución nutritiva, pero el

aumento del rendimiento fue aún más marcado con 4.0 y 5.0 me L⁻¹ de Mg (Figura 2). Aquellas plantas nutridas con 11 me L⁻¹ de Ca solo fue superior el rendimiento con 4 me L⁻¹ de Mg, mientras que, con 13 me L⁻¹ de Ca el rendimiento disminuye con 4.0 y 5.0 me L⁻¹ de Mg (Figura 2).

En general, el mayor rendimiento de racimo 1 al 6 se registró con 9 y 5 me L⁻¹ de Ca y Mg respectivamente, mientras que en el rendimiento total presento con 9 y 4 me L⁻¹ de Ca y Mg respectivamente. Nuestros resultados evidencian que una elevada concentración de Ca y Mg en las soluciones disminuye el rendimiento total, lo cual probablemente es debido al incremento de la pudrición apical del fruto (Cuadro 2) o puede ser por una competencia en la absorción de estos nutrientes (antagonismo) y por consiguiente una baja concentración en el tejido vegetal. Además, la competencia entre estos elementos puede ser también dentro de la planta, puesto que, los iones (Ca²⁺ y Mg²⁺) parecen tener interacciones antagónicas en las células vegetales, por lo tanto, para un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas dependen del equilibrio homeostático entre estos (Tang y Luan, 2017). El antagonismo puede limitar la absorción de alguno de estos elementos, y una deficiencia de Mg, a causa de lo anterior, disminuye el crecimiento de las plantas que probablemente sea por una baja actividad fotosintética (Verbruggen y Hermans, 2013). Una proporción alta de Ca:Mg causan que las raíces de las plantas absorben menos Mg (Potash y Phosphate Institute, 2003; Kopsell *et al.*, 2013), pero también, el aumento de las tasas de fertilización con Mg disminuye la absorción y acumulación de Ca en el tejido foliar de las plantas de *Betula pendula Roth* (Ericsson y Kähr, 1995; Kopsell *et al.*, 2013).

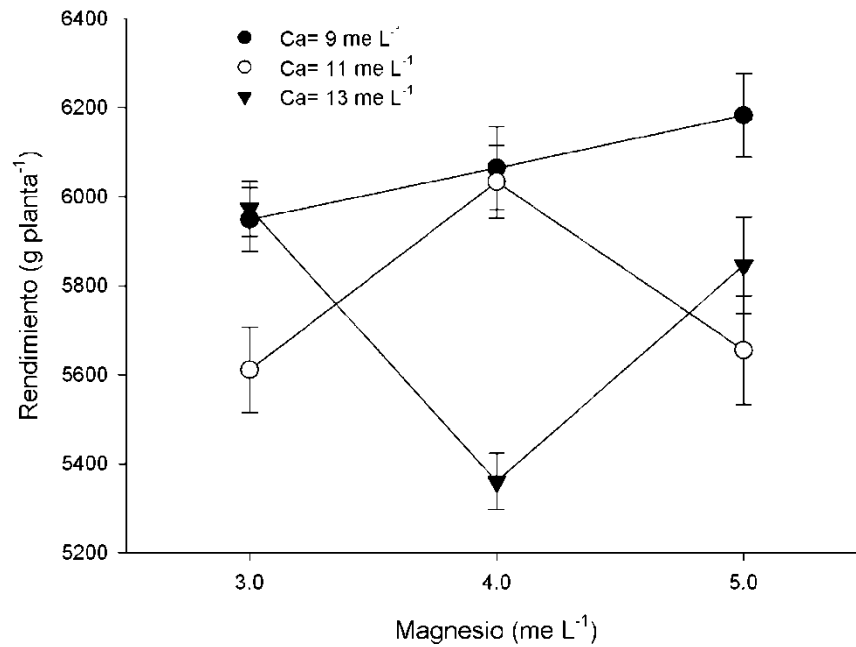


Figura 1. Efecto entra la concentración de Ca y Mg en las soluciones nutritivas en el rendimiento del racimo 1 al 6 de las plantas de tomate cv. Moctezuma. Las barras indican el error estándar de las medias.

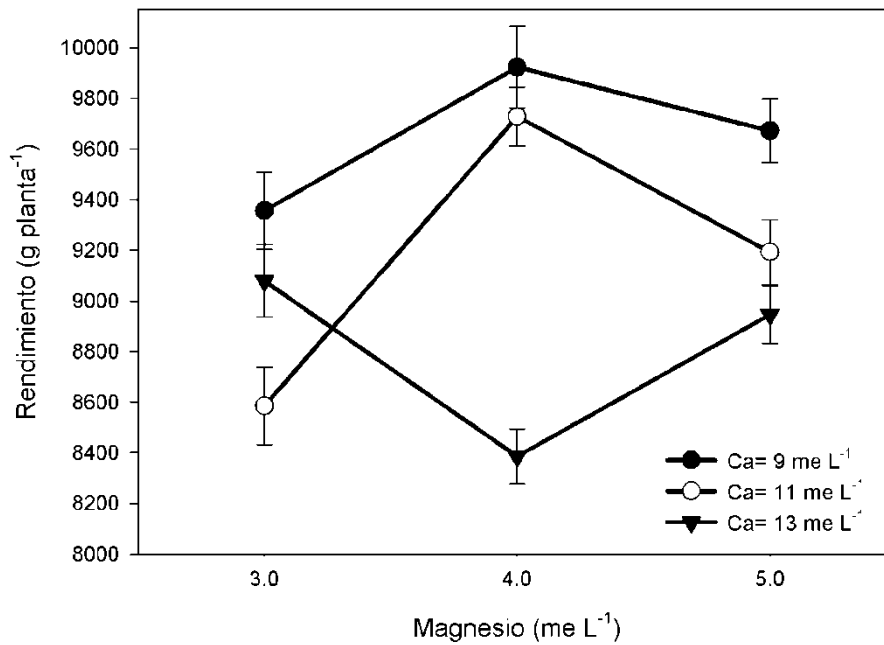


Figura 2. Efecto entra la concentración de Ca y Mg en las soluciones nutritivas en el rendimiento total de las plantas de tomate cv. Moctezuma. Las barras indican el error estándar de las medias.

El incremento de la acumulación de biomasa de raíz se asoció cuadráticamente con el rendimiento, ya que a medida que aumenta el peso seco de raíz se incrementó el rendimiento de fruto de las plantas de tomate (Figura 3). El crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas se ven significativamente afectados por las raíces de mismas (Qi *et al.*, 2019; Wang *et al.* 2014; Zhang *et al.*, 2009), ya que mejora la capacidad de absorción de nutrientes y agua (Palta *et al.*, 2007; Xue *et al.*, 2003). Además, el aumento en la longitud de la raíz y el peso seco de la raíz con la adición de P puede mejorar la absorción de nutrientes y disminuir la pérdida de macro y micronutrientes del suelo (Fageria *et al.*, 2014).

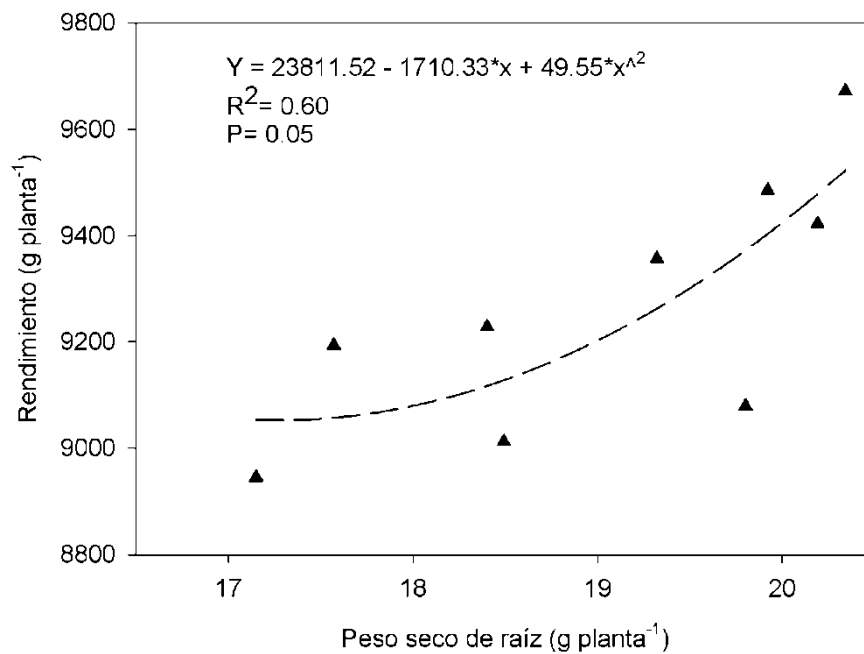


Figura 3.- Efecto entre la relación de peso seco de raíz y el rendimiento de las plantas de tomate cv. Moctezuma.

CONCLUSIÓN

Las concentraciones de Ca y Mg evaluadas en el presente estudio no influyeron en el crecimiento vegetativo de las plantas, sin embargo, el peso seco de fruto se incrementó con 4 y 5 me L⁻¹ de Mg. Las plantas nutridas con 9 y 4 me L⁻¹ de Ca y Mg respectivamente presentaron mayor rendimiento. Así mismo, la pudrición apical del fruto se incrementó con el aumento de la concentración de Ca y Mg, siendo las concentraciones de 13 y 5 me L⁻¹ respectivamente las que registran mayor incidencia de esta fisiopatía. Las plantas que produjeron mayor biomasa seca de raíz favorecieron un mayor rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams P., 1986. Mineral Nutrition. Chapter 7, 281-334.
- Adb-Alla, A.M., Adam, S.M., Abou-Hadid, A.F., and Iman, S.S.B. 1996. Temperature and fertilizer effects on tomato productivity. *Acta Hort.* 434: 113-111.
- Arnon, D. I. and P. R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14:371-375.
- Bergmann, W. 1992. Nutritional disorders of plants. Development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fisher Verlag, Jena, Germany.
- Block, G., Patterson, B., Subar, A., 1992. Fruit, vegetables, and cancer prevention: A review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer* 18: 1–29.
- Bush, D.S. 1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46: 95-122.
- Cakmak, I. and A.M. Yazici, 2010. Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production. *Better Crops Plant*, 94: 23-25.
- Castellanos, J.Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Cap. 6 Formulación de la Solución Nutritiva. 132-155 pp.
- Clarkson, D.T. and Sanderson, J. 1978. Sites of absorption and translocation of iron in barley roots. Tracer and micro-autoradiographic studies. *PlantPhysiol.* 61: 731-736.
- Dorais, M., Papadopoulus, A.P. and Gosselin, A. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. *Hort. Rev.* 26: 239-319.
- Ericsson, T., and Kähr M., 1995. Growth and nutrition of birch seedlings at varied relative addition rates of magnesium. *Tree Physiology* 15: 85–93.
- Epstein, E. 1961. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. *Plant Physiol.* 36: 437-444.
- Fageria, N. K., Moreira, A., Moraes, L. A. C., & Moraes, M. F. 2014. Root Growth, Nutrient Uptake, and Nutrient-Use Efficiency by Roots of Tropical Legume Cover Crops as Influenced by Phosphorus Fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 555–569

- FAO, 2013. El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. P 72.
- Ferguson, I. B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant Cell Environ.* 7: 477–489.
- FIRA, FAO-FAOSTAT, SIAP-SAGARPA y SIAVI, 2017. Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. P.24.
- Franceschi, S., Bidoli, E., La Vecchia, C., Talamini, R., D'Avanzo, B., Negri, E., 1994. Tomatoes and risk of digestivetract cancers. *International Journal of Cancer* 59: 181–184.
- Gerster, H., 1997. The potential role of lycopene in human health. *Journal of American College of Nutrition* 16: 109–126.
- Giovannucci, E., and Clinton, S. K. 1998. Tomatoes, lycopene, and prostate cancer. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 218: 129–139.
- Hanger, B. C. 1979. The movement of calcium in plants. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 10: 171-193.
- Havlin, V. A. 1999. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. In: R. L. Westerman soil testing and plant analysis. 3 erd edition # 3 in SSSA book series, Madison Wi, USA.
- Hao, X. and Papadopoulos, A.P. 2003. Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop grown on rockwool. *Can. J. Plant Sci.* 83: 903-912.
- Ho, L. C. and Philip J. White, 2005. A Cellular Hypothesis for the Induction of Blossom-End Rot in Tomato Fruit. *Annals of Botany*, 95: 571–581.
- Jones, J.B. 1999. Tomato plant culture: In the field, greenhouse, and home garden. CRC Press LLC, Florida. 11-53.
- Kirkby, E.A. and Mengel, K. 1976. The role of magnesium in plant nutrition. *Pflanzenern. u. Bodenkde.* 2: 209-222.
- Kleemann, M. 1999. Development of calcium deficiency symptoms in chervil (*Anthriscus* (L.) Hoffm.) y curled parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nym. Convar. *Crispum*). In: Natural and economic importance of alternative plants. Warsaw, Poland. 468: 335-348.

- Kleiber T., Golcz, A., Krzesiński W., 2012. Effect of magnesium nutrition of onion (*Allium cepa* L.). Part I. yielding and nutrient status. *Ecol chem eng S.19*: 97-105.
- Kopsell, D. E., Kopsell, D. A., Sams, C. E., and Barickman, T. C. 2013. Ratio of calcium to magnesium influences biomass, elemental accumulations, and pigment concentrations in kale. *Journal of Plant Nutrition*, 36, 2154–2165.
- Lavelli, V., Peri, C., Rizzolo, A., 2000. Antioxidant activity of tomato products as studied by model reactions using xanthine oxidase, myeloperoxidase, and copper-induced lipid peroxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 1442–1448.
- Lemaire, F., Andre, D., Louis-Maire, R., Sylvain, C. y Philippe. M. 2005. Cultivos en macetas y contenedores. Editorial Mundi Prensa. 2^{da} Edicion. España. 25pp.
- León, H. y Arosamena, M. 1980. El cultivo del tomate para consumo en fresco en el valle de Culiacán. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), México.
- Leucorieux, D., Lamotte, O., Bourque, S., Wendehenne, D., Mazars, C., Ranjeva, R. y Pugin, A. 2006. Proteinaceous and oligosaccharidic elicitors induce different calcium signatures in the nucleus of tobacco cells. *Hort. Sci.*, 38: 527-538.
- Loomis, R.S. and Connor, D.J. 1992. *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press, Cambridge, 32-59.
- Martínez, J. R., Vicente, A. A., Saenz, J. C. M., Herrera, R. R., y González, C. N. A. 2012. Un tesoro percedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 54: 57-63.
- Marschner. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition, Academic Press Elsevier, San Diego, CA 92101-4495, USA. P. 649.
- Marschner, H. 1986. *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition. Academic Press, London. 889 p.
- Morard, P.; Lacoste, L.; Silverstre, J. 2000. Effects of calcium deficiency on nutrient concentration of xylem sap of excised tomato plants. *J. Plant nutr.* 23: 1051-1062.

- Needham, P. 1973. Nutritional disorders. In: The U.K. Tomato Manual. Grower Books, London.
- Nelson, W.L. 1978. Phosphorus and moisture. In Phosphorus for Agriculture. Phosphate and Potash Institute, Atlanta, GA. P. 160.
- Olle, M., Bender, I., 2009. Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84: 557-584.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M. A., González, L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I. H., ... Martín-Belloso, O. 2010. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57: 139–148
- Paiva, E.A.S., Sampaio, R.A. and Martínez, H.E.P. 1998. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solution containing different calcium concentrations. *J. Plant Nutr.* 21: 2653-2661.
- Palta, J. A., Fillery, I. R. & Rebetzke, G. J. 2007. Restricted-tillering wheat does not lead to greater investment in roots and early nitrogen uptake. *Field Crops Res.* 104: 52-59.
- Pandey, D.K., Shekelle, R., Selwyn, B.J., Tangney, C., Stamler, J., 1995. Dietary vitamin C and beta carotene and risk of death in middle-aged men. *American Journal of Epidemiology* 142: 1269–1278.
- Papadopoulos, A. P. 2003. Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop grown on rockwool. *Canadian Journal of Plant Science*, 83: 903-912.
- Passam, H.C., Karapanos, I.C., Bebeli, P.J. and Savvas, D. 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1: 1-21.
- Potash and Phosphate Institute. 2003. Soil Fertility Manual. Norcross, GA: Potash & Phosphate Institute and the Foundation for Agronomic Research.
- Qi, D., Hu, T., Song, X. Zhang, M. 2019. Effect of nitrogen supply method on root growth and grain yield of maize under alternate partial root-zone irrigation. *Sci Rep* 9: 81-91.

- Rietra, R. P. J. J., Heinen, M., Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. 2017. Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48: 1895–1920.
- Rigney, C.J. and Wills, R.B.H. 1981 Calcium movement, a regulating factor in the initiation of tomato fruit ripening. *HortScience*. 16: 550-551.
- Rodríguez, R., J. M., Tabares y J.A. Median. 1996. Cultivo moderno del tomate. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 13-15.
- Sainju Upendra, Ramdane Dris and Bharat Singh 2003. Mineral nutrition of tomato. *Food, Agriculture & Environment*. 1: 177-184.
- Sánchez F. y Escalante E. 1983. Hidroponía. Principios y métodos de cultivo. 2 da edición. 13-18.
- Shear CB. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10: 361–365.
- Steinmetz, K.A., Plotter, J.D., 1991. Vegetables, fruit and cancer, I. *Epidemiology. Cancer Causes and Control* 2: 325–357.
- Su, N.R. 1974. Experiments involving the use of sulfur-coated fertilizer for corn and tomatoes. *Agronomic Cooperators Workshop*, Muscle Shoals, AL.
- Tang Ren-Jie and Luan S. 2017 Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: from transporters to signaling network. *Current opinion in plant biology*, 39: 97-105.
- Tovar, S. J.L. 1986. El departamento de suelos de la UACH, Chapingo, México. Mimeógrafo.
- Urbano, T.P. 1992. Tratado de Fitotecnia General. Editorial GRAFO, S.A. 2a edición España. 446 pp.
- USDA. Economic Research Service (ERS). 2017. Vegetables and Pulses Yearbook Data.
- Varis, S., and George, R.A.T. 1985. The influence of mineral nutrition on fruit yield, seed yield, and quality in tomato. *J. Hort. Sci.* 60: 373-376.
- Verbruggen N. and Hermans C. 2013. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. *Plant and soil*, 368: 87-99.

- Von Uexkull, H.R. 1979. Tomato nutrition and fertilizer requirements in the tropics. First International Symposium on Tropical Tomato. 65-78.
- Vinicio G. M. 2002. Fertilización foliar: Principios y aplicaciones. Aspectos básicos de la nutrición mineral de las plantas absorción foliar de sustancias útiles en la aplicación de agroquímicos al follaje. 1-6.
- Wang, C., Liu, W., Li, Q., Ma, D., Lu, H., Feng, W., Xie, Y., Zhu, Y., Guo, T., 2014. Effects of different irrigation and nitrogen regimes on root growth and its correlation with above-ground plant parts in high-yielding wheat under field conditions. *Field Crops Res.* 165: 138–149.
- Weisburger, J.H., 1998. Evaluation of the evidence on the role of tomato products in disease prevention. Proceedings of the Society of Experimental Biology and Medicine 218: 140–143.
- World Cancer Research Fund, 1997. Food, Nutrition and the Prevention of Cancer: A Global Perspective. American Institute for Cancer Research, Washington, DC, USA.
- Winsor, G.W., 1973. Nutrition. In: The U.K. Tomato Manual. Grower Books, London.
- the xylem. *J Exp Bot* 52:891–899.
- Xue, Q., Zhu, Z., Musick, J. T., Stewart, B. A. & Dusek, D. A. 2003. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation. *Plant and Soil* 257: 151-161.
- Zhang, H., Xue, Y., Wang, Z., Yang, J. and Zhang, J. 2009. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with shoot growth in 'super' rice. *Field Crops Res.* 113: 31-40.
- Zobel, M.B.1966. Mechanization of tomato production. Proc. National Conference on Tomatoes. Department of Horticulture, Perdue University, National Cannery Association, Lafayette.