

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de la Relación K:Ca Sobre la Calidad del Fruto, Rendimiento y Biomasa en el
Cultivo de Tomate en Condiciones de Hidropónia

Por:

JOEL ANTONIO VÁZQUEZ MORENO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de la Relación K:Ca Sobre la Calidad del Fruto, Rendimiento y Biomasa en el

Cultivo de Tomate en Condiciones de Hidropónia

Por:

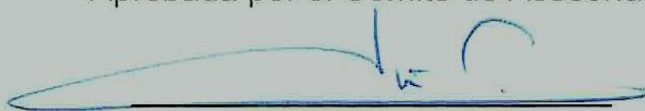
JOEL ANTONIO VÁZQUEZ MORENO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



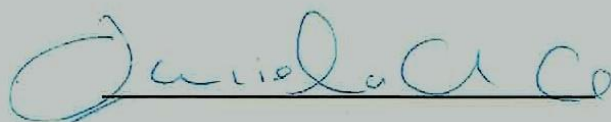
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor Principal



Dr. Armando Hernández Pérez

Coasesor



Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, por guiarme y acompañarme en esta etapa de mi vida. Por darme sabiduría e inteligencia, llenarme de alegría y colmarme de bendiciones en mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme continuar con mi formación académica.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por brindarme su apoyo incondicional y la confianza de poder trabajar con él, compartir sus conocimientos dentro y fuera del salón de clases, pero sobre todo por su amistad.

A la Dra. Daniela Alvarado Camarillo, por ser parte fundamental para que este trabajo saliera bien.

Al Dr. Armando Hernández Pérez por su apoyo brindado y contribución en este trabajo realizado.

A los profesores que conforman el Departamento de Horticultura, quienes me apoyaron y prepararon en la carrera profesional, sus consejos los llevo siempre grabados.

A todos los maestros que en el transcurso de la carrera compartieron las experiencias en el aula de clase.

A toda mi familia que siempre me estuvieron apoyando desde el primer día que decidí salir del hogar.

Al Ing. Ramiro Salas Rivera, y mi amigo Ing. Sebastián Pérez Vázquez, por su apoyo y confianza incondicional al trabajar juntos durante el experimento y compartir experiencias.

A mis amigos Lorenzo Antonio Vázquez Aguilar, Miguel Ángel Vázquez López, quienes aprecio mucho y he compartido momentos inolvidables.

Y también a los amigos que hice durante la carrera profesional Dani (hueso), Eusebio (chevis), Salomón (chalo) Daniel Heriberto (rojo).

A mis amigas que lo poco que compartí con ustedes fueron gratos e inolvidables momentos se les aprecia mucho su amistad y cariño, Amairani, Juanita y Enelda.

Y a la generación CXXIV de Horticultura, a todos mis amigos y compañeros de la Narro. **Buitres por Siempre.**

DEDICATORIAS

A mi padre **Efraín Vázquez Espinosa**, que me ha brindado su apoyo incondicional, su amor y cariño, su educación me permitió concluir este logro y sobre todo a tus consejos de seguir adelante en la vida. Te amo padre.

A mi madre **Eulalia Moreno Jiménez**, que siempre me ha brindado su apoyo y amor en todas las decisiones que he tomado, muchas gracias por todo y por enseñarme a aceptar lo bueno y malo. Te amo madre.

A mis hermanos que los quiero mucho y que gracias al trabajo que hacen día con día han podido ayudarme a salir adelante (**Francisco, Ismael, Rosi, y Margarita**), sin ustedes no hubiera sido posible, éste logro también es para ustedes.

A mis **cuñadas y sobrinas**, con su cariño y amor en todo momento, he logrado una meta más.

A mis **tíos**, que me apoyaron, con lo más valioso que uno puede recibir, sus consejos de luchar por lo que uno desea ser, seguir siempre para adelante, y no olvidarnos de dónde venimos y a donde queremos llegar, muchas gracias.

A **mis primos**, por motivarme a seguir adelante, son una parte fundamental para mí en esta etapa.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIAS	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	2
ÍNDICE DE CUADROS	3
RESUMEN	4
I.INTRODUCCIÓN	5
Objetivo general.....	6
Objetivo específicos.....	6
Hipótesis.....	6
II.REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1 Origen del tomate.....	7
2.2 Clasificación taxonómica.....	7
2.3 Características botánicas.....	8
2.3.1. El sistema aéreo	8
2.3.2. Raíz.....	9
2.3.3. Tallo.....	10
2.3.4. Hojas.....	10
2.3.5. Inflorescencia.....	10

2.3.6. La flor	11
2.3.7. El fruto.....	11
2.3.8. Las semillas	12
2.4. La Nutrición Mineral en la Hidropónia	12
2.4.1 Efecto de los Nutrimientos en la Calidad de Fruto.....	13
2.5 El Calcio.....	13
2.5.1. Absorción de calcio.....	14
2.5.2. Factores de absorción de calcio	14
2.5.3. Síntomas de deficiencia en calcio.....	15
2.5.4. Antagonismo de calcio.....	15
2.6 El Potasio.....	15
2.6.1. Absorción de potasio	16
2.6.2. Factores de absorción de potasio.....	16
2.6.3. Síntomas de deficiencia de potasio	17
2.6.4. Síntomas de exceso de potasio.....	17
2.6.5. Antagonismo del potasio.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1 Ubicación y localización	19
3.2 Material Vegetativo	19
3.3 Descripción de tratamientos.....	20

3.4 Manejo del cultivo	21
3.4.1 Tutorio	22
3.4.2 Polinización.....	22
3.4.3. Cosecha.....	22
3.4.4. Podas.....	22
3.5 Variables evaluadas.....	23
3.6 Diseño experimental	24
IV.RESULTADOS.....	25
4.1. Firmeza	25
4.2. Grados Brix	25
4.3. Peso seco de raíz	26
4.4. Peso seco de tallo.....	28
4.5 Peso seco de hoja.....	30
4.6. Rendimiento por etapas de cultivo	31
4.6.1. Rendimiento Etapa 1	31
4.6.2. Rendimiento Etapa 2	33
4.6.3. Rendimiento Etapa 3	34
4.6.4. Rendimiento Total del Cultivo	35
V.DISCUSIÓN	37
VI. CONCLUSIÓN	40

VII. LITERATURA CITADA.....	41
Páginas electrónicas.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la interacción K:Ca en peso seco de raíz en la E1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	28
Figura 2. Efecto de la interacción K:Ca en peso seco del tallo en la E1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	30
Figura 3. Efecto de la interacción K:Ca en rendimiento por planta en la E1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	33
Figura 4. Efecto de la interacción K:Ca en rendimiento por planta en la E2, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	34
Figura 5. Efecto de la interacción K:Ca en rendimiento por planta en la E3, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	35
Figura 6. Efecto de la interacción K:Ca en rendimiento total, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración de macronutrientos de las soluciones nutritivas estudiadas en la relación K:Ca.....	20
Cuadro 2. Aplicación de tratamientos de acuerdo a las etapas de desarrollo en una relación de K:Ca.....	21
Cuadro 3. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en la firmeza del fruto (kg cm ²) en el cultivo de tomate.....	25
Cuadro 4. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en el contenido de grados Brix en el cultivo de tomate.....	26
Cuadro 5. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en el peso seco de raíz (g) en el cultivo de tomate.....	27
Cuadro 6. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en el peso seco del tallo (g) en el cultivo de tomate.....	29
Cuadro 7. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en el peso seco de hojas (g) en el cultivo de tomate.....	31
Cuadro 8. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en el rendimiento (g.Planta ⁻¹) en el cultivo de tomate.....	32

RESUMEN

El objetivo del experimento fue comparar diferentes concentraciones de K (potasio) y Ca (calcio) para encontrar la relación de estos dos elementos que permita obtener rendimientos y calidad del fruto óptimo. Los tratamientos evaluados consistieron en 9 soluciones nutritivas (SN) con tres concentraciones de K (7,9 y 11 meq L⁻¹) y Ca (9,11 y 13 meq L⁻¹) respectivamente. El diseño utilizado fue de bloques completamente al azar con un arreglo factorial de 3x3 con 4 repeticiones, cada una de estas con dos plantas. Los factores fueron la concentración de K y Ca. Las concentraciones de K y Ca se aplicaron en tres etapas de fructificación; la etapa 1 comprendió del racimo 1 al 5, la etapa 2 del racimo 6 al 10 y la etapa 3 del racimo 11 al 15. La biomasa seca del tallo y raíz aumentaron con el incremento de la concentración de K en la SN. De igual manera, para la variable de peso seco de hoja (PSH) se presentó un efecto del K. El rendimiento de fruto en las etapas, mostró que a una concentración de 9 meq L⁻¹ de Ca y conforme se incrementa la concentración de K se obtienen mejores resultados de rendimiento y calidad de los frutos. A excepción de las variables de calidad, firmeza y grados Brix los cuáles no se vieron afectados por las concentraciones aplicadas durante el desarrollo del experimento con las dosis correspondientes de K:Ca.

Palabra clave: K:Ca, rendimiento, concentración, fructificación, solución nutritiva.

I. INTRODUCCIÓN

En México, el tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es considerada la segunda especie hortícola más importante debido a su demanda en el mercado así como su producción y superficie sembrada (Valadez, 1997). Además, es el cultivo de mayor relevancia ya que forma parte de los cultivos básicos que se producen en condiciones protegidas. Este cultivo ocupa el 70 % de la superficie nacional, seguida por el pimiento (16 %) y el pepino (10 %) (SAGARPA, 2010). La productividad del tomate por unidad de superficie continúa creciendo con amplio rango en función a las tecnologías aplicadas concentrándose en 5 entidades Sinaloa, Michoacán, San Luis potosí, Baja California y Jalisco (FIRA, 2016). La mayor parte de producción, corresponde a cultivo de tomate son los tipos: roma, bola y cereza siendo estos los más populares en dicha modalidad de producción (FAS, 2008). Considerando el factor de importancia que tiene este cultivo, tanto a nivel nacional como internacional, es deseable realizar un manejo eficiente para su producción intensiva, por lo que se requiere conocer los factores que condicionan al potencial de la planta. En este sentido, la aplicación correcta de los nutrimentos en la etapa correcta, es uno de los factores que impacta en el rendimiento de ésta especie (Flores, 2009). Debido a la alta demanda en el consumo de ésta especie, es necesaria la implementación de sistemas de producción favorables al medio ambiente como las condiciones protegidas con un uso y consumo mínimo tanto de fertilizante y agua. De tal manera que los sistemas hidropónicos bajo invernadero, son una alternativa para lograr tales objetivos. Los sistemas hidropónicos permiten un mejor manejo de la especie así como la obtención de frutos de calidad y un ahorro en la aplicación de los insumos requeridos por la planta. Para optimizar la calidad del fruto es importante el manejo

nutrimental del cultivo durante sus etapas de desarrollo, así como el balance de los nutrimentos más demandados por la planta como lo son K:Ca (Hernández, 2015). Los cuáles son de suma importancia para obtener frutos de alta calidad. Por lo tanto, es necesario conocer el balance entre estos iones y así determinar la relación apropiada entre ellos para generar frutos de alta calidad apropiados a la demanda tanto nacional e internacional de los mercados de hoy en día.

Objetivo general.

Comparar la relación de los niveles adecuados de K:Ca que permitan obtener rendimientos óptimos y buena calidad de frutos de tomate cultivado en hidropónia.

Objetivo específicos

- ❖ Evaluar la relación óptima de K:Ca para el cultivo de tomate en condiciones de hidropónia.
- ❖ Cuantificar el impacto en la interacción de K:Ca en la biomasa del cultivo.
- ❖ Determinar los efectos en la relación de K:Ca sobre algunos parámetros de calidad del fruto de tomate.

Hipótesis

La interacción de K:Ca afectara los parámetros de calidad y rendimiento del fruto de tomate, en un sistema de cultivo sin suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del tomate

El tomate es originario de América del Sur, de la región andina, particularmente de México, Perú y Ecuador (Nuez, 2001). Sin embargo su domesticación fue llevada a cabo en México, su nombre proviene del náhuatl “tomatl”. Fue llevado a Europa en 1519, comercializándose en el año 1835 en Estados Unidos (Valadez, 1994). El consumo de tomate ha evolucionado mucho desde hace varios centenares de años, en que esta especie era considerada como tóxica, por pertenecer a la misma familia que la belladona. Hoy en día, la producción de tomate se sitúa en el cuarto puesto mundial de las hortalizas. Su consumo de manera general está en constante aumento, generando hasta 12 kg por año/habitante. De tal manera que el rendimiento por hectárea y las superficies cultivadas están en constante aumento (Blacard *et al.*, 2009).

2.2 Clasificación taxonómica

El tomate es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas denominada científicamente (*Solanum lycopersicum L.*) potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, según la variedad.

De acuerdo a la taxonomía generalmente aceptada del tomate es:

- Clase: Dicotiledóneas.
- Orden: Solanales
- Familia: Solanaceae.
- Subfamilia: Solanoideae
- Tribu: Solaneae.

- Género: lycopersicum
- Especie: Esculentum
- Nombre científico: *Solanum lycopersicum*

2.3 Características botánicas

Al tomate, deben de aplicarse a lo largo de su periodo vegetativo una serie de labores, tendentes todas ellas a conseguir que la planta se desarrolle en las mejores condiciones posibles para que la producción sea abundante. Estas técnicas de cultivo han evolucionado a lo largo de los años, y como es natural dependen de diversos factores, como puede ser el tipo de suelo, condiciones ambientales o variedad (Rodríguez *et al.*, 1997).

La planta del tomate es perenne, arbustiva, se cultiva de forma anual y su desarrollo puede ser de forma rastrera, semierecta. Sin embargo, hoy en día existen variedades de crecimiento indeterminado las cuáles son de uso exclusivo para ambientes protegidos en un sistema hidropónico (Rodríguez *et al.*, 2001).

2.3.1. El sistema aéreo

La estructura de la planta es la de un simpodio. El tallo principal forma de 6 a 12 hojas, que crecen lateralmente con una filotaxia de 2/5, antes de que la yema principal se transforme en inflorescencia. El crecimiento subsiguiente se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente a la inflorescencia.

Los sucesivos segmentos del tallo se desarrollan de forma similar, produciendo una inflorescencia cada tres hojas. El aspecto es el de un tallo principal que crece de

forma continua con inflorescencias internodales laterales cada tres hojas. Cuando este proceso se repite indefinidamente los cultivares se llaman indeterminados (Picken *et al.*, 1986). Estos cultivares son muy adecuados para la recolección continua en invernaderos, ya que florecen y fructifican de forma regular y uniforme. Los brotes laterales, que se desarrollan de las axilas de las hojas, se eliminan y el tallo principal se enrosca alrededor de una cuerda o tutor (Picken *et al.*, 1986)

2.3.2. Raíz

El sistema radical tiene como objetivo funciones de absorción y el transporte de nutrientes, así como la sujeción o anclaje de la planta al suelo, la planta presenta una raíz principal pivotante, crece unos 3 cm al día hasta alcanzar los 60 cm de profundidad (Rodríguez *et al.*, 2001), junto a ello se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen cuando hay buenas condiciones de humedad y textura del sustrato (Gaspar, 2008). Los factores que afectan al desarrollo de la raíz son por las prácticas culturales. La característica de los tomates de producir raíces de anclajes muy profundos pueden afectar los métodos de cultivo, si son arrancados la raíz principal se daña y se desarrolla un sistema de raíces laterales secundarias, sin embargo estas pueden modificarse con las prácticas culturales de tal forma que cuando la planta procede de un trasplante, la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal (Rodríguez *et al.*, 2001). De tal manera, algunos autores mencionan que todas las raíces absorben agua mientras los minerales se absorben a través de las raíces más próximas a la superficie (Varga y Bruinsma, 1986).

2.3.3. Tallo

El tallo típico tiene 2-4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares debajo de la epidermis se encuentra el córtex o corteza cuyas células más externas tienen clorofila y son fotosintéticamente activas, mientras las más externas son de tipo colenquimático y ayudan a soportar el tallo (Picken *et al.*, 1986). Durante los primeros estadios de desarrollo el tallo es erguido pero pronto se tuerce a consecuencia del peso. Puede llegar a medir hasta 2.5 m de altura, su superficie es angulosa, provista de pelos agudos y glándulas que desprenden un líquido de aroma muy característico (Rodríguez *et al.*, 1997).

2.3.4. Hojas

Sus hojas son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos de forma alterna, el limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos. Al igual que el tallo están provistas de glándulas secretoras de la citada sustancia aromática (Rodríguez *et al.*, 2001). La iniciación de las hojas se produce a intervalos de 2-3 días, en función de las condiciones ambientales, en general la producción de hojas y de primordios foliares aumentan con la irradiación diaria y con la temperatura, siendo constantes cuando las condiciones ambientales son ideales (Kinet, 1977).

2.3.5. Inflorescencia

La diferenciación y desarrollo de la flor constituyen etapas previas en la fructificación y por consecuencia todos los factores que afectan a la floración pueden influir sobre la precocidad, rendimiento y calidad de los frutos. La floración es un proceso complejo afectado por numerosos factores entre los que destacan la variedad, la temperatura, la iluminación, la competencia con otros órganos de la planta, la

nutrición mineral y los tratamientos con reguladores de crecimiento. El tipo de ramificación de la planta también tiene una influencia determinante sobre la floración, produciéndose esta de forma prácticamente continuada en los cultivares de crecimiento indeterminados (Nuez *et al.*, 1995).

2.3.6. La flor

La flor del tomate es perfecta, regular e hipógina, y consta de 6 o más sépalos, de 5 o más pétalos dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular. Las flores, en número variable, se agrupan en inflorescencias de tipo racemoso (Greyson y Sawhney, 1972). Frecuentemente el eje principal se ramifica por debajo de las primeras flores formadas dando lugar a una inflorescencia compuesta, habiéndose descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás flores se desarrollan lateralmente por debajo de la primera, alrededor de un eje vertical (Varga y Bruinsma, 1986).

2.3.7. El fruto

El fruto de tomate es una baya bi o plurilocular que se desarrolla a partir de un ovario de unos 5-10 mg y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y los 500 g, en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. El fruto está unido a la planta por el pedicelo con un enorme engrosamiento articulado que contiene la capa de abscisión. La separación del fruto en la recolección puede realizarse por la zona de abscisión o por la zona peduncular de unión al fruto. En las variedades industriales la presencia de parte del pedicelo es indeseable por lo que se prefieren cultivares que se separan fácilmente por la zona peduncular (Nuez *et al.*, 1995). El

color de la fruta puede ser rojo, rosado o amarillo debido a la presencia de licopina y carotina, de manera distinta y proporciones variables. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada, siendo el tamaño, muy variable según las variedades que se manejen en el invernadero (Rodríguez, *et al.*, 1997).

2.3.8. Las semillas

Las semillas son grisáceas, de forma oval, aplastada y de 3-5 mm de diámetro. Cuyo desarrollo dará lugar a planta adulta, constituida, a su vez, por la yema apical, dos cotiledones, el hipocolito y la radícula. El embrión endospermo contiene los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo inicial del embrión. La testa o cubierta seminal está constituida por un tejido duro e impermeable, recubierto de pelos, que envuelve y protege el embrión y el endospermo (Rodríguez, *et al.*, 1997).

2.4. La Nutrición Mineral en la Hidropónia

La nutrición mineral tiene como objetivo, mantener un contenido adecuado de elementos minerales, en condiciones de asimilabilidad, para que la planta pueda absorberlos en el momento preciso y en las cantidades necesarias (Urbano, 1992).

Para las plantas cultivadas en condiciones intensivas, el objetivo del agricultor es, habitualmente, impedir que el suministro de los nutrientes imponga limitaciones de rendimientos. Para actuar así, es necesario que todas las plantas dispongan de todos los nutrientes minerales esenciales y que la velocidad de suministro de cada uno sea, al menos, igual a la demanda por los cultivos (Wild, 1989).

El crecimiento y desarrollo de una planta esta normalmente asegurado si se satisfacen todas las necesidades en el momento y se mantiene un equilibrio entre la

demanda y la oferta de los elementos necesarios durante el proceso de desarrollo del cultivo.

El medio donde se desarrollan las raíces, además del agua y oxígeno, deben estar presentes los elementos minerales en formas asimilables para la planta. El papel de la fertilización, es atender estas necesidades mediante la incorporación de nutrientes (Lemaire *et al.*, 2005).

2.4.1 Efecto de los Nutrientes en la Calidad de Fruto

Los nutrientes influyen sobre la calidad del fruto, ya sea de manera directa o indirecta. Los efectos directos dependen del contenido del elemento y del balance nutricional en el fruto. Para poder manipular el contenido mineral y el balance nutricional en los frutos es importante conocer la función y la dinámica de acumulación de nutrientes en los frutos en desarrollo. Se ha encontrado que para la mayoría de los nutrientes por ejemplo: N, (Nitrógeno) P, (Fosforo), y K la translocación a los frutos es vía xilema y floema; mientras que el Ca es proporcionado sólo vía xilema (Stadelbacker, 1963).

2.5 El Calcio

El Ca se presenta en la planta como pectato de Ca, componente de toda la pared celular de las plantas. Está implicado en la elongación y división celular, en la permeabilidad y estabilidad de las membranas celulares y en su tolerancia a los patógenos. Su disponibilidad está muy asociada al pH de la solución nutritiva. Ante una caída severa del pH, el primer nutriente que se afectaría sería el Ca y cuyos efectos se pueden apreciar rápidamente en el tejido meristemático de la parte aérea o de la raíz (Castellanos, 2009).

De tal manera que el Ca es un elemento importante y esencial para la formación y desarrollo inicial de todos los órganos y tejidos de las plantas ya que es indispensable para la formación de cada una de las células y su multiplicación (Yáñez, 2002). La mayor concentración de Ca en la planta se localiza en la vacuola, como oxalato de Ca, en la pared celular y lamina media asociada a la formación de pectinas.

2.5.1. Absorción de calcio

El Ca a diferencia de la mayoría de los elementos, es absorbido y transportado por un mecanismo pasivo. El proceso de transpiración de las plantas es un factor muy importante para la absorción del Ca. Se mueve hacia las zonas de alta tasa de transpiración, como las hojas en rápida expansión (Heppler y Wayne ,1985). La mayor parte de la absorción se produce en la región apical de la raíz. Puesto que el movimiento del Ca está relacionado con la transpiración éste es afectado por las condiciones ambientales.

2.5.2. Factores de absorción de calcio

Los factores de absorción para el Ca son afectados considerablemente por el ambiente ya que pueden ocurrir de manera temporal así mismo como por las enfermedades de la raíz, lo que limita considerablemente la absorción de Ca por la planta. Los periodos de alta humedad pueden conducir a que el ápice de ciertas plantas se vea quemadas debido a que la transpiración es baja y no satisface la elevada necesidad de Ca a las zonas de rápido crecimiento (Heppler y Wayne, 1985). Además, su absorción puede ser afectada por otros iones como el NH_4 (Amonio), Mg (Magnesio) y K. Estos cationes pueden competir con el Ca en la

absorción por la raíz. Para evitar la competencia los cationes mencionados no deben ser suministrados en exceso a lo requerido por la planta (Selles, 2012).

2.5.3. Síntomas de deficiencia en calcio

El Ca al ser inmóvil en la planta, los síntomas de deficiencia aparecen primero en los ápices de crecimiento debido a una baja transpiración. Las plantas con deficiencia o con desbalances de este elemento suelen ser débiles, pequeñas y susceptibles al ataque de patógenos, así como a las pudriciones, esto es común cuando se excede de N o bien cuando hay falta o exceso de humedad (Yáñez, 2002).

Una deficiencia severa de Ca se refleja en las puntas de las raíces o de las hojas en crecimiento, las que se tornan deformes, caféas y suelen necrosarse. La deficiencia de Ca más común ocurre en el fruto y se refleja en la fisiopatía clásica, conocida como pudrición apical o BER por las siglas en inglés y PAF por las siglas en español (Castellanos, 2009). Así mismo una planta con un suministro excesivo de Ca se puede reflejar en un desbalance de cationes, tales como una deficiencia de Mg o de K (Castellanos, 2009).

2.5.4. Antagonismo de calcio

La concentración de Ca es generalmente alrededor de 10 veces más que la de K, sin embargo su absorción es generalmente más baja y menor eficiente para el Ca (Kirkby y Pilbean, 1984). Los niveles elevados de Ca externo resultan en una disminución de la absorción de Mg debido al antagonismo catiónico.

2.6 El Potasio

La principal función del K se asocia con las relaciones hídricas y absorción de agua por la planta. Mantiene el potencial osmótico de las células, participa como activador

de innumerables enzimas y juega un papel importante en casi todos los procesos metabólicos de la planta. A menudo el K es descrito como el elemento de la calidad debido a que las frutas y vegetales que se producen con adecuados niveles de K presentan mejor calidad pos cosecha y mayores niveles de azúcares (Castellanos, 2009).

2.6.1. Absorción de potasio

El K se encuentra disponible como K^+ , el cual se mueve fundamentalmente por difusión. Se absorbe por difusión es decir; por el gradiente de concentración que es generado por la raíz en la solución del suelo (Vidal, 2003). Sin embargo, en contraste con otros nutrimentos como el N, P y S (azufre) casi no hay compuestos orgánicos con K como elemento constituyente. Las concentraciones más altas se encuentran en las hojas nuevas, pecíolos y tallo de la planta. Altas concentraciones de este elemento conducen a deficiencias de N, Ca y Mg. El NH_4^+ juega un papel importante en el balance de los cationes K, Ca, y Mg. La absorción de K no es afectada de manera significativa por los niveles de Ca en el suelo, debido a que éste último se mueve principalmente por flujo de masas; mientras que el K se mueve por difusión, cuya tasa es dependiente de la temperatura. De igual manera algunos mencionan que el oxígeno del suelo tiene un gran efecto sobre la absorción de K (Jones, 2003).

2.6.2. Factores de absorción de potasio

El K es asimilado por la planta en su forma catiónica K^+ , la absorción en el suelo está relacionada a la concentración de otros cationes, como es el caso de Mg, por problemas de competencia iónica, en la cual son absorbidos con mayor facilidad y velocidad los cationes que tienen una sola carga positiva que los que tienen mayor

cantidad (Rodríguez, 1992). La interacción con otros elementos puede repercutir en la absorción del K: Ca, K: Mg, K: B (Boro) K: Na (Sodio) (Havlin, 1999).

2.6.3. Síntomas de deficiencia de potasio

Debido a que el K es un elemento móvil dentro de la planta, la deficiencia de este elemento causa amarillamiento de los márgenes de las hojas más viejas, luego estas áreas se necrosan y al aumentar la severidad del síntoma se produce defoliación, los tallos son delgados y frágiles, los entrenudos se acortan, las frutas son pequeñas y de coloración desuniforme (Alcántar y Trejo, 2007).

Las hojas jóvenes se tornan verde oscuro y se enrollan hacia el envés. Las hojas viejas se tornan cloróticas y bronceadas, los márgenes de las hojas se tornan cafés y el tejido puede presentar un necrosamiento entre las nervaduras. A los frutos del tomate de plantas deficientes de K no se les desarrollan bien los lóculos y maduran desuniformemente. Esta última es una fisiopatía conocida como "Blotchy ripening", y cuyos frutos no son comerciales (Castellanos, 2009).

2.6.4. Síntomas de exceso de potasio

Un exceso de K, normalmente se expresa como una típica deficiencia de Mg en las hojas viejas. Es factible que también se refleje en una limitación en el suministro de Ca hacia el fruto, debido al desbalance de cationes que el exceso de K puede provocar (Castellanos, 2009).

La limitada absorción de Ca debido al exceso de K provoca un antagonismo debido al desbalance de cationes. Esto difícilmente sucede ya que las plantas generalmente no absorben lo que no requieren. Sin embargo, con niveles altos de este elemento

también pueden ocurrir deficiencias de elementos como Mn (Manganeso), Zn (Zinc), y Fe (Hierro), (Almodóvar, 1998).

2.6.5. Antagonismo del potasio

El antagonismo puede ocurrir durante la absorción, translocación o acumulación en el tejido o el metabolismo. Esto puede involucrar la competencia entre dos o más elementos, pero también la precipitación de nutrientes u otros fenómenos. El antagonismo durante la absorción puede presentarse entre cationes, pero en algunos casos también entre aniones. Los antagonismos más documentados se han determinado entre K:Ca, K:Mg, Ca:Mg, NH₄:Ca y NH₄:K (Maldonado, 2002).

El K compite fuertemente con otros cationes y su exceso puede originar deficiencias de Mg siempre y cuando la concentración o el aporte de este elemento sea deficiente (Wild, 1989).

Al incrementar el contenido de K se reduce la absorción de Ca, al igual que la de Mg aunque en menor medida (Parra *et al.*, 2002). De la misma manera ocurre una reducción en la absorción de K al aumentar el nivel de Ca (Parra *et al.*, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y localización

El presente trabajo se llevó a cabo en uno de los invernaderos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas geográficas de 25°21'24" Latitud Norte y 101°2'5" Longitud Oeste, a una altitud de 1761 msnm.

3.2 Material Vegetativo

El material vegetal utilizado en este experimento fueron semillas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) Híbrido tipo bola cv. Clermon, sembradas el 18 de marzo de 2016 en charolas de 200 cavidades, trasplantadas el día 26 de abril de 2016 en contenedores de polietileno color negro con una capacidad de 10 L de sustrato preparado en una relación 70%:30% (v/v) de turba ácida y perlita respectivamente. Con una densidad de plantación en invernadero de 3.1 plantas por m². Con un total de 240 plantas evaluadas.

Los riegos se efectuaron mediante un sistema de riego por goteo con un gasto de 4 L h⁻¹, según las necesidades hídricas de las plantas se aplicó un volumen suficiente para mantener a la planta en su estado óptimo de desarrollo en las etapas vegetativas. La cosecha se inició a los 77 días después del trasplante (DDT). Al final de cada etapa se tomaron las plantas de cada contenedor y se lavó la raíz con agua potable para eliminar el exceso de sustrato se utilizó agua destilada. Posteriormente se separó la planta en raíz, tallo y hojas. Los órganos separados se introdujeron a una estufa de secado por 72 h.

3.3 Descripción de tratamientos

Se evaluaron 9 tratamientos de K:Ca (Cuadro 1), con 4 repeticiones, constituidas por 2 plantas cada una. Se establecieron 240 plantas, de las cuales se dividieron en tres etapas de desarrollo, cada etapa fue conformada por 80 plantas cada una. Para la (E1) se evaluaron los racimos 1 al 5, para la (E2) se evaluó el racimo 6 al 10 y para la (E3) el racimo 11 al 15 respectivamente (Cuadro 2). De tal manera que, para la aplicación de los tratamientos, se realizó un programa de acuerdo a las 3 etapas, tomando en cuenta el racimo de fructificación. El pH de las soluciones se ajustó a 6.0 \pm 0.1 con H₃PO₄ (ácido fosfórico) y la conductividad eléctrica varió entre 2.0 a 3.0 dS m⁻¹ durante el experimento.

Cuadro 1. Concentración de macronutrientos de las soluciones nutritivas estudiadas en la relación K:Ca.

meq L ⁻¹						
Tratamientos	NO ₃	H ₃ PO ₄	SO ₄	Ca	K	Mg
1	14	2	8	9	7	4
2	14	2	8	11	7	4
3	14	2	8	13	7	4
4	14	2	8	9	9	4
5	14	2	8	11	9	4
6	14	2	9.5	13	9	4
7	14	2	8	9	11	4
8	14	2	9.5	11	11	4
9	14	2	12.5	13	11	4

Cuadro 2. Aplicación de tratamientos de acuerdo a las etapas de desarrollo en una relación de K:Ca.

Etapas	Racimos	Aplicación de:
E1	1-5	Tratamientos
	6-10	Steiner
	11-15	Steiner
E2	1-5	Steiner
	6-10	Tratamientos
	11-15	Steiner
E3	1-5	Steiner
	6-10	Steiner
	11-15	Tratamientos

Para suplir la aplicación de microelementos, se utilizó un producto de la línea de SQM; ultrasol micro. Estos microelementos eran disueltos en la solución para los tratamientos, una vez finalizada la disolución de los macroelementos, siendo aplicados primeramente los ácidos para calibrar el pH del agua.

Los fertilizantes que se estuvieron manejando durante el desarrollo del experimento fueron los más utilizados para sistemas hidropónicos. En las primeras etapas de crecimiento, los fertilizantes estaban siendo pesados cada seis días ya que las necesidades de riego eran menos frecuentes, obteniendo un 30% del lixiviado de sales para evitar la acumulación de éstas.

3.4 Manejo del cultivo

Durante la etapa de desarrollo del cultivo se realizaron trabajos culturales para mantener a la planta en su estado óptimo de desarrollo, dentro de las cuales las más importantes fueron:

3.4.1 Tutoreo

El tutoreo que se manejó en el experimento fue del tipo holandés, debido a que la variedad usada fue indeterminada, lo que da opción de manejar a las plantas guiadas con anillo desde la base del tallo sujetadas para que no corriera ningún riesgo de ahorcamiento por el hilo. El manejo de tutoreo permitió manipular a la planta durante su desarrollo. El tutoreo se inició cuando las plantas tenían una altura de 30 cm, ya que se facilitara el manejo del hilo para poder ajustar la planta.

3.4.2 Polinización

Durante los racimos 1-5 se realizó la polinización moviendo los cables galvanizados donde estaba sujetas las plantas del cultivo. Esto se realizaba por las mañanas, a medio día y por las tardes golpeando levemente los alambres para sacudir la planta y de esta manera polinizar las flores. A partir del racimo 6 se introdujeron abejorros polinizadores *Bombus Terrestris* de Koppert para dicho objetivo.

3.4.3. Cosecha

Los primeros frutos cosechados fueron a los 77 DDT. Se fueron anotando los pesos de los frutos para registrar el rendimiento de cada planta. Una vez realizado se depositaron en cajas. Regularmente se realizaban los cortes cada semana y se estableció un parámetro para un control adecuado al momento de la cosecha.

3.4.4. Podas

Las podas que se realizaron fueron de hojas, brotes, fruto y chupones los cuales fueron podados cuando estos ya se pudieran quitar con la yema de los dedos, la poda de hojas, se llevó acabo con la finalidad de mantener a la planta en su estado óptimo reproductivo/vegetativo manejando 12 o 13 hojas por planta. La poda de raleo

de flores por racimo, se realizó para un aclareo del mismo dejando un amarre de 5 flores por racimo, asegurando de esta manera estos 5 frutos los cuales eran los más uniformes.

3.5 Variables evaluadas

Las variables que fueron evaluadas durante el experimento fueron 6, de las cuales 4 son agronómicas y 2 de calidad, que a continuación se mencionan:

- I. Firmeza: Fue determinada al instante de cada corte, con un penetrómetro con una puntilla de 8 mm, con frutos seleccionados.
- II. Grados Brix: Estos fueron determinados con los frutos utilizados para la firmeza, ya que estaban seleccionados para su evaluación, con un color uniforme en punto para tomar las muestras.
- III. Peso seco de raíz: Evaluada al destruir por completo las plantas, y ser lavadas con agua para que no afecte en el peso fresco, una vez tomado el peso fresco de las raíces fueron lavadas y llevadas a una estufa de secado por 72 hrs. Al término de esto se tomó el peso seco.
- IV. Peso seco de tallo: El mismo procedimiento para esta variable se realizó como la anterior, incluyendo los racimos de fruto.
- V. Peso seco de hojas: cada vez que se realizaba un deshoje durante las tres etapas del experimento se colectaban para así registrar su peso fresco y seco total.
- VI. Rendimiento por planta: Esta variable se determinó una vez que se finalizaron los cortes del ciclo del experimento para tomar datos y referencias del rendimiento por planta durante las tres etapas establecidas.

3.6 Diseño experimental

El proyecto se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3x3 donde los niveles de Ca (9,11 y 13 meq L⁻¹) y K (7, 9 y 11 meq L⁻¹), fueron establecidos en cada etapa de fructificación (racimos del 1-5; racimos del 6-10; y racimos del 10-15). Cada tratamiento contó con 4 repeticiones y éstas a su vez consto de dos plantas por repetición.

Los datos se analizaron (ANOVA) con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS versión 9.0.

IV.RESULTADOS

4.1. Firmeza

En esta variable, las tres etapas en que se dividió el experimento, no hubo diferencias significativas (Cuadro 3), por el cual la firmeza del fruto actuó similarmente en cada una de las etapas de las relaciones de K:Ca en las soluciones nutritivas. Asimismo, la interacción entre ambos factores tampoco fue afectada en las diferentes soluciones nutritivas.

Cuadro 3. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en la firmeza del fruto (kg cm²) en el cultivo de tomate.

FIRMEZA			
meq L ⁻¹	E1	E2	E3
K			
7	2.6225 A	2.9417 A	3.3458 A
9	2.6442 A	3.1167 A	3.7958 A
11	2.6933 A	2.70285 A	3.2208 A
Ca			
9	2.7017 A	2.8067 A	3.1333 A
11	2.6600 A	2.8717 A	3.0750 A
13	2.5983 A	3.0825 A	4.1542 A
Significancia			
K	0.8801	0.3425	0.6966
Ca	0.7705	0.5901	0.2481
K:Ca	0.2453	0.7889	0.9113

*= significativo

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan (P≤0.05).

4.2. Grados Brix

En esta variable no hubo diferencia significativa debido a la concentración de K:Ca (Cuadro 4), igualmente para la interacción de estos, por lo que en las tres etapas los

grados Brix (GB) se comportaron de manera similar, sin importar la concentración de estos cationes en las soluciones nutritivas.

Cuadro 4. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en el contenido de grados Brix en el cultivo de tomate.

GRADOS BRUX			
meq L ⁻¹	E1	E2	E3
K			
7	5.0 A	5.9750 A	5.2583 A
9	4.6417 A	6.2167 A	5.2500 A
11	5.2083 A	5.6667 A	5.2083 A
Ca			
9	5.0667 A	5.5000 A	5.2167 A
11	4.7000 A	6.0250 A	4.5750 A
13	5.0833 A	6.3333 A	5.925 A
Significancia			
K	0.3232	0.4425	0.9985
Ca	0.5177	0.1613	0.3883
K:Ca	0.5849	0.4105	0.8403

*= significativo

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan (P≤0.05).

4.3. Peso seco de raíz

En la etapa 1 hubo un efecto significativo del K con 11 meq L⁻¹; sin embargo, la interacción K:Ca también afectó significativamente esta variable en la misma etapa (Cuadro 5). En la etapa 2 no se presentó una diferencia significativa para los factores, de igual manera para la interacción de K:Ca no hubo una diferencia significativa. En la etapa 3, la interacción K:Ca no presentó ninguna diferencia significativa pero los factores de K y Ca afectaron esta variable significativamente.

En cuanto a la interacción K:Ca el peso seco de raíz (PSR), la Figura 1 muestra que con 9 meq L⁻¹ de Ca hay un aumento en el peso seco de la raíz, al aumentar la

concentración de K en la solución nutritiva. En contraste, con 13 meq L⁻¹ al aumentar la concentración de K inicial se observa una disminución en el peso seco de la raíz, para posteriormente recuperarse con 11 meq L⁻¹ de K. Cuando la solución nutritiva contenía 11 meq L⁻¹ de Ca, no hubo ningún efecto de la concentración de K.

Cuadro 5. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en el peso seco de raíz (g) en el cultivo de tomate.

PESO SECO RAIZ			
meq L ⁻¹	E1	E2	E3
K			
7	13.450 AB	11.9000 A	8.0333 A
9	11.833 B	11.5250 A	6.9167 B
11	15.508 A	10.9417 A	7.5417 AB
Ca			
9	13.483 A	11.1917 A	8.0667 A
11	13.492 A	11.7167 A	6.8250 B
13	13.817 A	11.4583 A	7.6000 AB
Significancia			
K	0.0104	0.3653	0.0486
Ca	0.9427	0.7361	0.025
K:Ca	0.0296*	0.3025	0.2275

*= Significativo

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan (P≤0.05)

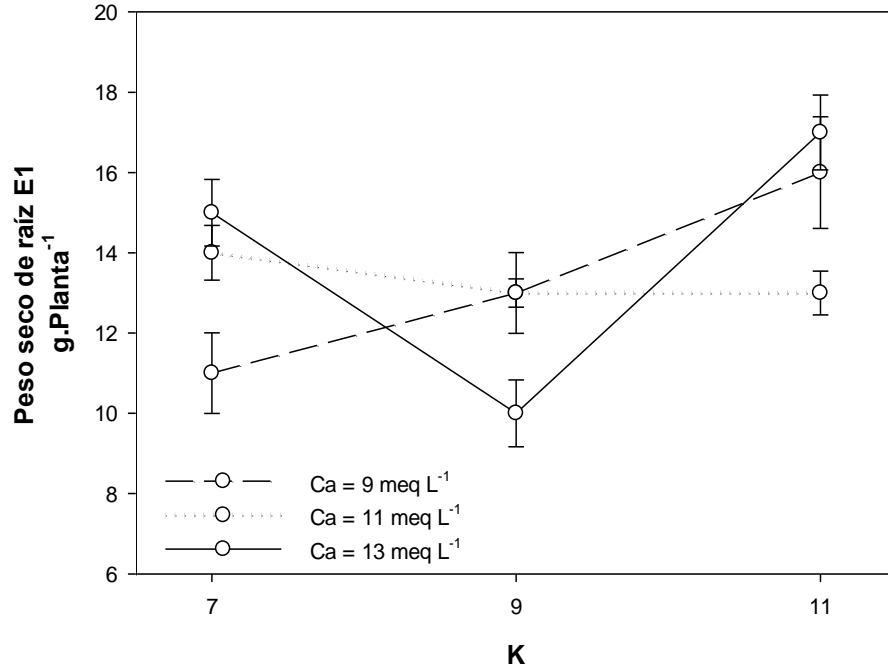


Figura 1. Efecto de la interacción K:Ca en peso seco de raíz en la E1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

4.4. Peso seco de tallo

En la E1, el factor K no afectó el peso seco del tallo (PST), mientras que el factor Ca afectó significativamente esta variable con 13 meq L⁻¹ (Cuadro 6), de igual manera para la interacción K:Ca se presentó un efecto significativo. En la etapa 2 y 3 los factores no presentaron efectos significativos en esta variable, de igual manera para las interacciones del K:Ca no hubo efectos significativos sobre el peso seco del tallo.

Cuadro 6. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en el peso seco del tallo (g) en el cultivo de tomate.

PESO SECO TALLO			
meq L ⁻¹	E1	E2	E3
K			
7	49.667 A	83.075 A	115.242 A
9	50.217 A	83.883 A	104.967 A
11	53.283 A	85.108 A	109.617 A
Ca			
9	50.467 AB	81.792 A	119.017 A
11	47.800 B	83.067 A	102.067 A
13	54.900 A	87.208 A	108.742 A
Significancia			
K	0.4048	0.8615	0.5083
Ca	0.0595	0.334	0.1689
K:Ca	0.061*	0.2158	0.3824

*= Significativo

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan (P≤0.05).

En la interacción de K:Ca, la Figura 2 muestra que con 13 meq L⁻¹ Ca y una concentración inicial de K con 7 meq L⁻¹ se obtienen los mejores resultados en peso seco de tallo pero esto disminuye considerablemente a 9 meq L⁻¹ de K, Sin embargo al aumentar nuevamente la concentración de K, este tiende a recuperarse. Contrario con 9 meq L⁻¹ de Ca y con 7 meq L⁻¹ de K se tienen resultados significativos de rendimiento de PST, pero al ir aumentando los niveles del K esto va aumentando el peso seco de tallo, en comparación con 11 meq L⁻¹ de Ca y 7 meq L⁻¹ no se obtienen resultados favorables, y al ir aumentan la concentración de K más disminuye.

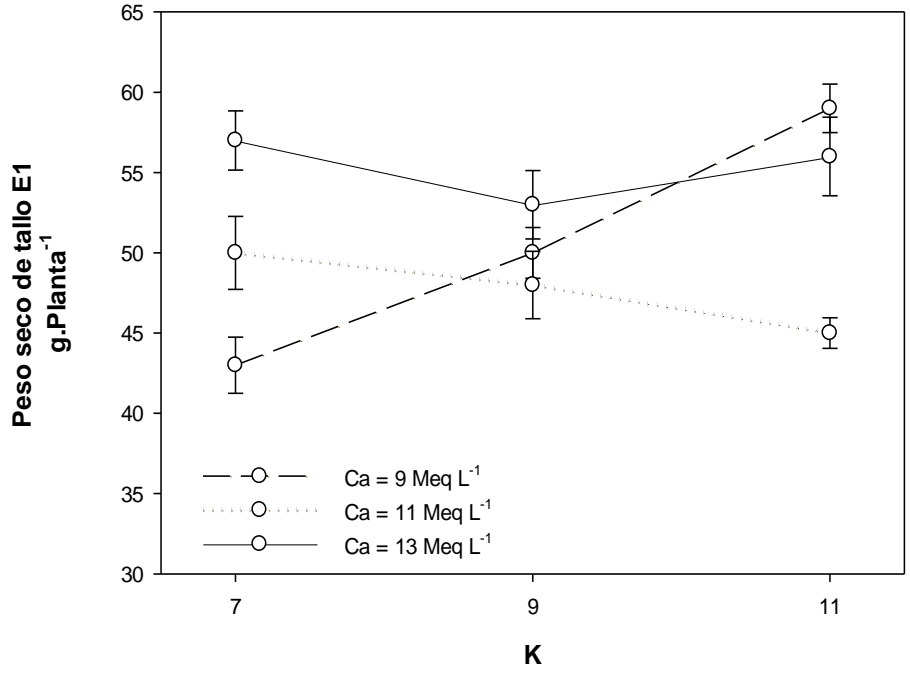


Figura 2. Efecto de la interacción K:Ca en peso seco del tallo en la E1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

4.5 Peso seco de hoja

En la etapa 1, el factor K afecto significativamente en el peso seco de hoja, mientras que el Ca no afecto significativamente esta variable. (Cuadro 7), de igual manera para la interacción K:Ca no se presentaron efectos significativos para las etapas 2 y 3.

Cuadro 7. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en peso seco de hojas (g) en el cultivo de tomate.

PESO SECO HOJA			
meq L ⁻¹	E1	E2	E3
K			
7	132.992 AB	168.00 A	199.092 A
9	126.867 B	165.39 A	191.958 A
11	147.517 A	149.98 A	180.858 A
Ca			
9	134.800 A	161.68 A	201.258 A
11	132.000 A	150.86 A	185.842 A
13	140.575 A	170.83 A	184.808 A
Significancia			
K	0.0628	0.324	0.1352
Ca	0.5959	0.3158	0.1338
K:Ca	0.30025	0.4303	0.5664

*= significativo

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan (P≤0.05).

4.6. Rendimiento por etapas de cultivo

4.6.1. Rendimiento Etapa 1

En la etapa 1, no se presentó ningún efecto significativo para los factores de K y Ca (Cuadro 8), sin embargo la interacción de estos factores tuvo un efecto en el rendimiento por planta.

En la interacción de K:Ca en rendimiento por planta la etapa 1, la Figura 3 muestra que con 11 meq L⁻¹ de Ca y 7 meq L⁻¹ de K inicialmente se obtiene un mejor rendimiento del cultivo. Pero este disminuye al aumentar la concentración a 9 meq L⁻¹ de K, sin embargo, al ir aumentar la concentración del K a 11 meq L⁻¹ se expresa de nuevo un mayor rendimiento, con 9 meq L⁻¹ de Ca y 7 meq L⁻¹ de K el rendimiento es

mínimo pero conforme estos dos van aumentando su concentración, existe un rendimiento que tiende a recuperarse en forma lineal.

Cuadro 8. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de K:Ca en las diferentes soluciones nutritivas en rendimiento (g.Planta⁻¹) en el cultivo de tomate.

RENDIMIENTO POR PLANTA				
meq L ⁻¹	E1	E2	E3	RENDIMIENTO TOTAL
K				
7	3590.97 A	2657.31 B	1610.68 A	7858.9 A
9	3543.96 A	2851.38 A	1579.83 A	7975.1 A
11	3643.76 A	2757.55 AB	1510.13 A	7911.4 A
Ca				
9	3571.83 A	2811.07 A	1617.10 A	8000.0 A
11	3676.52 A	2722.23 A	1512.05 A	7910.8 A
13	3530.30 A	2732.94 A	1571.50 A	7834.7 A
Significancia				
K	0.4894	0.112	0.2349	0.7275
Ca	0.2079	0.5582	0.2207	0.5301
K:Ca	0.0494*	0.0531*	0.0031*	0.0078*

*= Significativo

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan (P≤0.05).

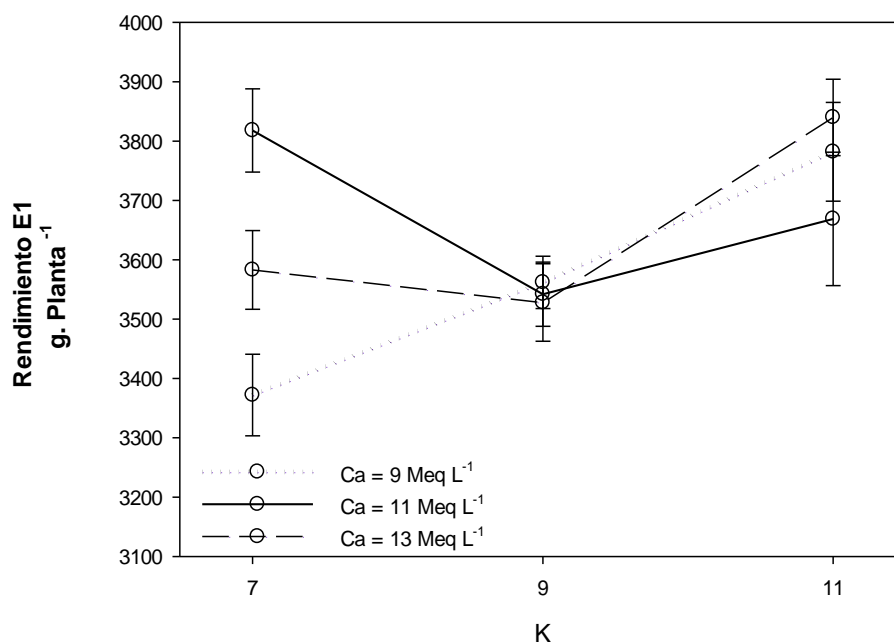


Figura 3. Efecto de la interacción K:Ca en rendimiento por planta en la E1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

4.6.2. Rendimiento Etapa 2

En la etapa 2, la interacción K:Ca se presentaron diferencias significativas (Cuadro 8). Mientras que los factores de K y Ca no afectaron esta variable. La Figura 4 muestra que con 13 meq L⁻¹ de Ca y 7 meq L⁻¹ de K inicialmente se obtienen los mejores rendimientos al llegar a 9 meq L⁻¹ de K , pero esta se detiene y empieza a disminuir al llegar a 11 meq L⁻¹ de K. En comparación con 9 meq L⁻¹ de Ca se presenta un mayor rendimiento iniciando con 7 meq K L⁻¹ al ir aumentando la solución con 11 meq L⁻¹ de K en la solución. El rendimiento obtenido con la solución de 11 meq L⁻¹ de Ca se comportó similar con 13 de Ca, ya que al ir amentando la concentración de K ambas líneas descendían conforme se aumentaba la concentración de K.

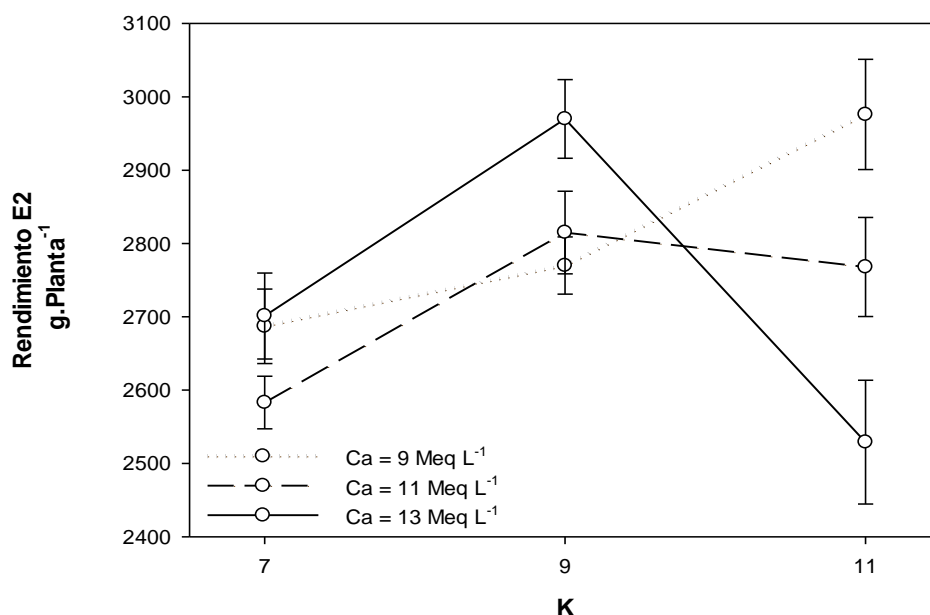


Figura 4. Efecto de la interacción K:Ca en rendimiento por planta en la E2, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

4.6.3. Rendimiento Etapa 3

En la etapa 3, no se presentó efecto significativo de los factores K y Ca, pero la interacción de estos factores si tuvieron efecto significativo en el rendimiento. La Figura 5 muestra que con 11 meq L⁻¹ de Ca y 9 meq L⁻¹ de K, inicialmente se obtienen los mejores rendimientos, pero al aumentar la concentración de K el rendimiento va disminuyendo; por el contrario, con 9 meq L⁻¹ de Ca al aumentar el K se observa un rendimiento considerable pero al aumentar su concentración con 11 meq L⁻¹ de K tiene a aumentar su rendimiento. Mientras tanto, cuando la solución nutritiva con 13 meq L⁻¹ de Ca no hubo afectó en esta variable.

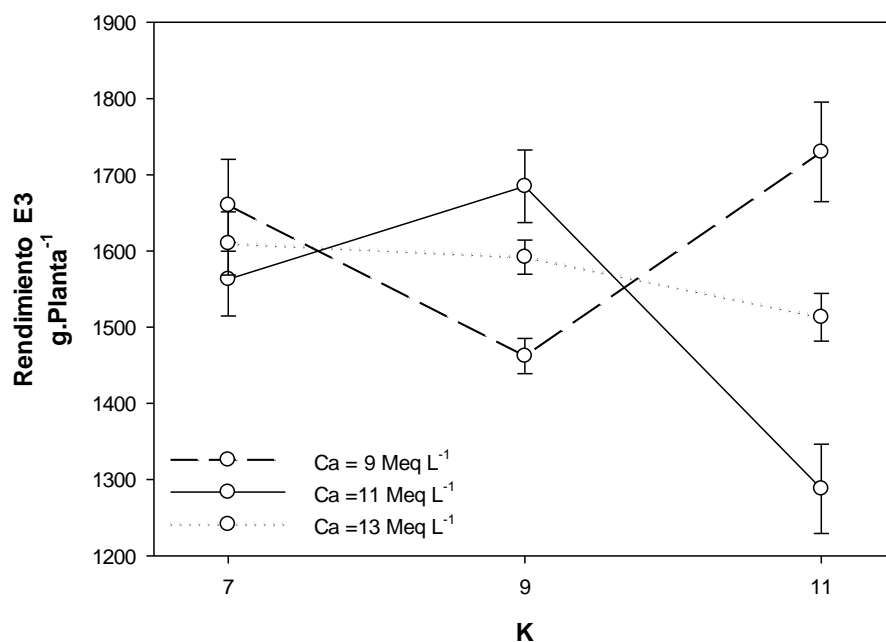


Figura 5. Efecto de la interacción K:Ca en rendimiento por planta en la E3, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

4.6.4. Rendimiento Total del Cultivo

Para el rendimiento total no se presentaron diferencia en los factores, pero la interacción K:Ca si afectó esta variable. En la Figura 6 se observa como el efecto de la interacción de 9 meq L⁻¹ Ca y 7 meq L⁻¹ de K hay un aumento del rendimiento, conforme este se aumenta su rendimiento cada vez es mayor. Al mantener una concentración de 11 y 13 meq L⁻¹ de Ca con 9 meq L⁻¹ de K se observa un pequeño aumento, pero estos disminuyen drásticamente al ir aumentando la concentración de K, por lo tanto, estos se mantuvieron iguales.

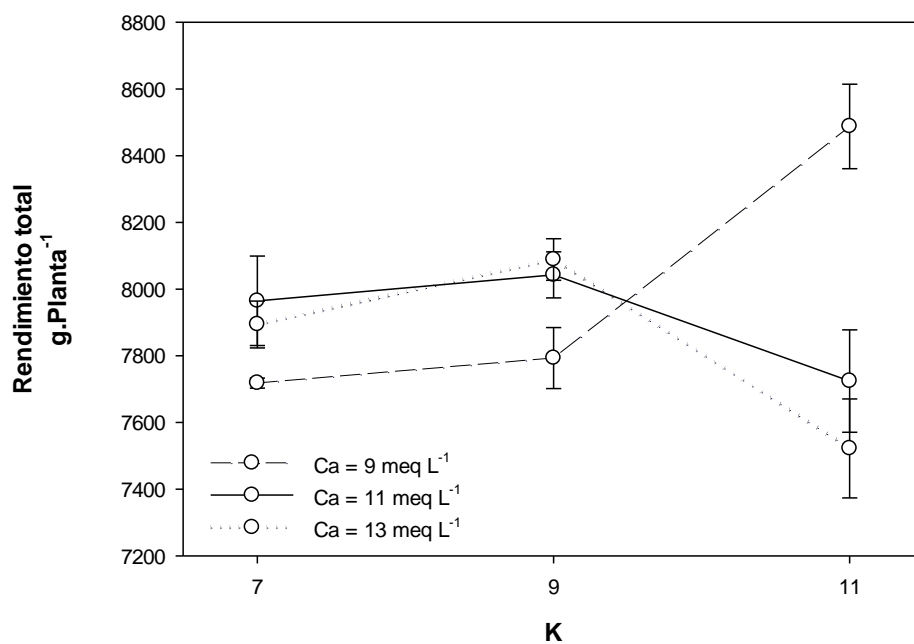


Figura 6. Efecto de la interacción K:Ca en el rendimiento total, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

V.DISCUSIÓN

El Ca es crítico para el crecimiento y calidad de los frutos. Algunos desórdenes fisiológicos que alteran la calidad de los frutos están relacionados con problemas de Ca, como es el caso de la firmeza. (Taiz y Zeiger, 2006) mencionan que el Ca que se absorbe, se utiliza en la síntesis de nuevas paredes celulares, particularmente, en la lámina media que es donde se separa las nuevas células divididas. Por esta razón, niveles adecuados de absorción de Ca mejoran la resistencia natural a enfermedades y mantiene la calidad de fruto (Fallahi *et al.*, 1997). Las aplicaciones de Ca al suelo no han sido tan efectivas para incrementar la concentración del elemento en las hojas y frutos debido a las dificultades de movilización que tiene este mineral en la planta (Meléndez y Eloy, 2002). Sin embargo, en el presente estudio, la calidad de los frutos de tomate, medida por la firmeza, no fue afectada por el Ca. Lo anterior pudo deberse a los niveles de Ca evaluados en el presente estudio fueron los adecuados para tener un buen fruto.

El K es un nutrimento que funciona como activador de muchas enzimas esenciales en la fotosíntesis y en la respiración, además activa enzimas necesarias para la síntesis de almidón y proteínas así mismo, está involucrado en el transporte de los fotoasimilados (Swietlik, 2003). Por otro lado el K también actúa en la producción de ATP, en la síntesis de almidón y proteínas, así como el en proceso de la fotosíntesis y metabolismo de los carbohidratos (Samra y Arora, 1997). Por su efecto en la síntesis y transporte de azúcares se espera que los niveles de K evaluados en el presente estudio hubieran afectado el contenido de sólidos solubles totales en los frutos de tomate, medido por los grados Brix, sin embargo, estos no fueron los

resultados obtenidos pues el K y Ca tuvieron un efecto significativo en las tres etapas de fructificación.

El peso de la raíz, así como del tallo fue afectado con 13 meq L⁻¹ de Ca y 11 meq L⁻¹ de K. Estos resultados indican que pudo haberse debido a que al elevar la concentración de K en la solución nutritiva, se asocia con una mayor elongación celular y expansión de raíces.

Para lo que fue del peso seco de las hojas fue afectado únicamente con una solución de 11 meq L⁻¹ de K durante la etapa 1 de fructificación, en la segunda y tercera etapa ya no hubo efecto significativo para esta variable. Esto puede deberse que durante la primera etapa no había demasiada competencia entre la relación vegetativa y fructificación en las plantas, posteriormente cuando la planta estaba en desarrollo de frutos, este elemento se fue para el crecimiento y elongación del fruto. Lo anterior coincide con reportes por parte de (Rodríguez, 1992), quien menciona que el K interviene fisiológicamente en los procesos de síntesis de almidón, síntesis de proteínas, e interviene en la estimulación enzimática.

En el rendimiento de fruto, se presentó un efecto de la interacción K:Ca en las tres etapas de fructificación y en el rendimiento total. Este último, el rendimiento total, fue más alto cuando las plantas fueron nutridas con 11 meq L⁻¹ de K y 9 meq L⁻¹ de Ca por lo que fueron las que respondieron con mejores resultados; (Oliveira *et al.*, 2006) mencionan que el exceso de ciertos iones en la solución del contenedor puede afectar la absorción y utilización de ciertos nutrientes. De acuerdo a esto, en este experimento el exceso de K al subirlo a 11 meq L⁻¹ podría estar causando un desbalance nutricional en donde al aplicarse mayores cantidades de K la absorción de Ca se ve reducida debido a la relación antagónica que existe entre ambos

nutrimentos. Sin embargo, una vez que se eleva la dosis de Ca se restituye el balance nutrimental lo que da como resultado un aumento en el rendimiento de la planta. Mengel y Kirkby (1987) mencionan, además de indicar que la absorción de Ca se da de manera pasiva, que el ascenso de este elemento en la savia del xilema ocurre con la corriente transpiratoria, fenómeno que tiene lugar básicamente durante el día, y es por ello que la absorción de Ca se detiene en la noche.

En la E1 de fructificación, las plantas suministradas con soluciones nutritivas con un contenido de 7 meq L^{-1} de K y 13 meq L^{-1} de Ca fueron las que obtuvieron mayores rendimientos, mientras que para la E2 fue en plantas suministradas con 13 meq L^{-1} de Ca y 9 meq L^{-1} de K. Indicado a lo anteriormente, la E1 de fructificación corresponde durante la primavera hubo menor demanda de elementos, mientras que los de la segunda etapa en el verano se elevaron la demanda tanto de K como de Ca. El rendimiento por lo tanto estuvo relacionado con la estación del año y crecimiento del cultivo, además de la aplicación de los elementos K y Ca, en verano las condiciones climáticas se relacionan con una humedad relativa y menor temperatura y además de menos radiación PAR ocasionan una reducción en la tasa de transpiración, lo que a su vez disminuye la translocación de ambos elementos, y los nutrimentos restantes también, desde la raíz hasta la parte aérea, provocando que una mayor concentración de los elementos sea requerida para alcanzar a abastecer la demanda de las plantas. El movimiento del Ca es particularmente crítico en órganos que son naturalmente bajos en Ca como los frutos y hojas jóvenes, debido que es transportado por el xilema y depende de la tensión de transpiración de la planta para llegar a estos órganos (Kirby y Pilbean, 1984). Al no existir el suficiente Ca en el fruto para formación de los pectatos calcio que a la vez

forman la pared celular, se obtienen frutos poco rígidos y llevando consigo una tasa de maduración y vida postcosecha muy corta.

Los frutos de la tercera etapa correspondieron a los cosechados del racimo 11 al 15 y se desarrollaron durante el invierno. En este caso en contraste, con lo anteriormente señalado, se produjo el mayor rendimiento cuando las plantas se suministraron con soluciones conteniendo 11 meq L⁻¹ de K y 9 meq L⁻¹ de Ca, similar a lo obtenido en el rendimiento total.

VI. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se obtuvo que al aplicar 11 meq L⁻¹ de K y 9 meq L⁻¹ de Ca se genera un mayor rendimiento en todo el ciclo del cultivo al obtenerse 8.7 Kg por planta. Sin embargo, el rendimiento de fruto estuvo influenciado por el balance de K y Ca en relación a la etapa de fructificación, pues durante la primavera, la mayor producción se obtiene con 7 y 11 meq L⁻¹ de K y Ca, respectivamente, mientras que en el verano esto ocurre en plantas suministrados con 9 y 13 meq L⁻¹ de K y Ca, respectivamente, o bien con 11 y 9 meq L⁻¹ de K y Ca, respectivamente. Similarmente, en el fructificación desarrollado en el otoño, el rendimiento más alto se observó en plantas suministradas con 9 y 11 meq L⁻¹ de K y Ca, respectivamente, o bien con 11 y 9 meq L⁻¹ de K y Ca.

VII. LITERATURA CITADA

- Alcántar, G.G. y Trejo, T.L.I. 2007. Nutrición de cultivos. Editorial. Mundi-Prensa. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. p 438.
- Almodóvar, W.I. 1998. Enfermedades de la hidropónia. Colegio de Ciencias Agrarias, Universidad de Puerto Rico. pp 8-9.
- Blacard, D.; Laterrot, H.; Marchoux, G. y Candresse, T. 2009. Enfermedades del tomate. Editorial Quae. Madrid España. p 7.
- Castellanos, J.Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Cap. 6 Formulación de la Solución Nutritiva. pp 132-155.
- Fallahi, E.; Conway W.; Hickey K.D. y Sams, C.E.1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *Scientia Horticulturae*. 23:831-835.
- Flóres-Serrano, J. 2009. Agricultura ecológica. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España. p.64.
- Gaspar, K.U. 2008. Actitud antimicrobiana de extractos de orégano (*Lippia graveolens*) contra organismos fitopatógenos. Tesis de ingeniería de invernaderos: Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.
- Greyson, R.I., y Sawhney, V.K. 1972. Initiation and early growth of flower organs of nigella and tomatoes. *Insights from allometry. bot. Gaz.* 133:184-190.
- Havlin, V. A. 1999. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. In: R. L. Westerman soil testing and plant analysis. 3a edición: in SSSA book series, Madison, Wisconsin, USA.
- Heppler, P. y Wayne, R. 1985. Calcium and plant development. In: *Rev. Plant Physiology* 36: 397-439.

- Hernández, P.O. 2015. La interacción K:Ca afecta el crecimiento, rendimiento, nutrición y calidad del fruto de tomate en sistema de cultivo sin suelo. Tesis de Maestría. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Jones, J.B. 2003. Agronomic handbook, management of crops soils, and their fertility. CRC press. Boca Ratón, FL.pp.450
- Kirkby, E.A. y Pilbean, D.J. 1984. Calcium a plant nutrient. *Plant, Cell and Environment* 7: 394-405.
- Kinet, J.M.1977. Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae*. 6:15-26.
- Lemaire, F.; André. D.; Louis-Maire, R.; Sylvain, C. y Philippe. M. 2005. Cultivos en macetas y contenedores. Editorial Mundi-Prensa. 2a Edición. España. p 25.
- Maldonado, T.R. 2002. Diagnóstico nutrimental para la producción de aguacate has. Informe de investigación. UACH. Texcoco, México. pp. 187.
- Meléndez, G. y Eloy, M. 2002. Centro de investigaciones agronómicas. Laboratorio de Suelos y Foliare, Universidad de Costa Rica.
- Mengel, K., y Kirkby, E. A. 1987. Principios de nutrición vegetal. 4a edición International Potash Institute. Basil, Switzerland. pp. 692.
- Nuez, F. 2001. EL cultivo de tomate.2a edicion. Editorial Mundi-Prensa. Bilbao España. p 538.
- Nuez, F.; Ángel, R.; Javier, T.; Jesús, C. y Baldomero, S.1995. El cultivo del tomate. 1a edición. Mundi-Prensa. Madrid, España, pp.15-18.

- Oliveira-Prendas, J.A.; Afif-Khouri, E. y Mayor-López, M. 2006. Análisis de suelos y plantas, recomendaciones de abonado. Universidad del Oviedo. España, pp 12-38.
- Parra-Terraza, S.; Villareal-Romero, M.; Sánchez-Peña, P.; Corrales-Madrid, J.L. y Hernández-Verdugo, S. 2008. Efecto de calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate, vol. 33, núm. 6, Asociación Interciencia Venezuela, pp. 449-456.
- Parra-Terraza, S.; Fernández-Escobar, R.; Navarro, C. y Arquero, O. 2002. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Editorial Mundi-Prensa, Madrid España. pp. 48-49.
- Picken, A.J.; Stewart, F. y Klopwijk, K.D. 1986. Germination and vegetative development the tomato crop. New York, pp. 111-165.
- Rodríguez-Rodríguez, R.; Tabares-Rodríguez, J.M. y Median San Juan, J.A. 1997. El cultivo moderno del tomate. Editorial Mundi-Prensa .Madrid, España, pp 139-163.
- Rodríguez, S.A. 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F. pp. 157.
- Rodríguez-Rodríguez, R.; Tabares-Rodríguez, J.M. y Median San Juan, J.A. 2001 .El cultivo moderno del tomate. Editorial Mundi-Prensa. Reimpreso. 2ª edición, España. pp 13.
- Samra, J.S. y Y.K. Arora. 1997. Mineral nutrition. CAB International. pp. 175-201.
- Selles, M. 2012. Variaciones de los cationes solubles en plantas de dos áreas (Betera-Tuejar) que presentan dos tipos de suelos distintos (regosologipsisol y

- un gradiente climático. Tesis de Licenciatura. Escuela Politecnica Superior de Gandía. Universidad Politecnica de Valencia. pp 71-72.
- Stadelbacker, G.J. 1963. Why so much variation in strawberry fertilizer recommendations and practices. In: Smith, CR. and Childers, N.F. (eds.). The strawberry. Rutgers State University, New Brunswick, New Jersey.
- Swietlik, D. 2003. Plant nutrition. In: Encyclopedia of temperature. Food products press, Nueva York. pp. 251-257.
- Taiz, L., y Zeiger, E. 2006. Plant physiology, 2a edicion. Sinauer. Associates Sunderland, Massachusetts. pp. 764.
- Urbano, T.P. 1992. Tratado de fitotecnia general. Editorial GRAFO, S.A. 2a edición España. pp. 446.
- Valadez, L.A. 1994. Producción de hortalizas. Editorial Limusa. México, D.F. pp197-211.
- Valadez, L.A. 1997. Producción de hortalizas. Editorial. Limusa. México 3a Edición.
- Varga, A., y Bruinsma, J. 1986. El tomate, frutas y desarrollo, Monselise –SP Editor. Inc. Boca Ratón, Florida. pp 461-481.
- Vidal, M.J. 2003. Dinámica del potasio en el suelo y su requerimiento por los cultivos. Proyecto de investigación nivel Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Estado de México.
- Wild, A. 1989. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russhell. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España. pp. 73-83.

Páginas electrónicas.

SAGARPA, 2010. Monografías del cultivo de tomate. Consultado el 29 de Noviembre

2017.En:

<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/jitomate.pdf>.

Yáñez, J.2002. Conferencia: Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila. Mexico.

<http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/ponencia03.pdf>

USDA/FAS, 2008. Reporte de exportación de tomate de Mexico a EUA, detalle de tomate fresco para consumo humano, 2009-2010. Consultado: el 25 de Noviembre de 2017.

FIRA, 2016. Panorama agroalimentario, tomate rojo. Consultado el 22 de Enero 2018
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf