

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de la Interacción de Ca^{++} : K^{+} en Tomate en un Sistema de Cultivo Sin Suelo

Por:

DANIEL HERIBERTO VARGAS RIVERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Abril 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de la Interacción de Ca^{++} : K^+ en Tomate en un Sistema de Cultivo Sin Suelo

Por:

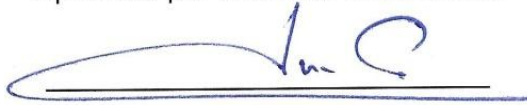
DANIEL HERIBERTO VARGAS RIVERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



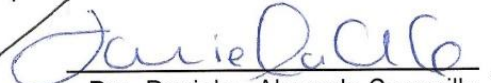
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor Principal



M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez

Coasesor



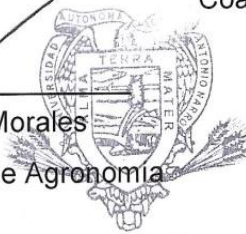
Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Abril 2018

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por su gran ayuda y siempre acompañarme en todo momento.

A **Don Antonio Narro Rodríguez y Trinidad Narro Rodríguez** por sus sentimientos nobles para con las personas más vulnerables, dejando parte sustancial de su fortuna para la creación de la escuela de agricultura, que al día de hoy se visten de color negro y oro, los *buitres* de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

A mi **Alma Terra Mater** por ser la incubadora de agrónomos ilustres, donde mis deseos de superación alcanzaron nuevos objetivos y por brindarme las herramientas necesarias para contribuir a mejorar el sector hortícola del campo mexicano.

A **Luis Alonso Valdez Aguilar**, PhD por su tutoría durante mi carrera universitaria y tomar su papel de investigador mucho más allá con una dedicación superior a lo que se define como catedrático, gracias por su apoyo brindado y su confianza.

A la Dra. **Daniela Alvarado Camarillo** con mucho cariño por darme ejemplo de fortaleza y profesionalidad. Por transmitirme los conocimientos prácticos, su gran amistad que se forjó en el trabajo y la convivencia.

A la M.C. **Alejandra Rosario Escobar Sánchez** por su colaboración y el apoyo en la revisión del presente trabajo.

A los ya ingenieros: **Lorenzo, Miguel, Joel** por brindarme su amistad desde el inicio de la carrera, por los buenos momentos durante esta etapa y los que vienen.

A mi amigo el ya Ingeniero **Sebastián Pérez Vázquez** por su apoyo y enseñarme una lección muy importante en mi vida.

DEDICATORIAS

A **Dios**; Porque de tal manera amó Dios al mundo, que dio a su Hijo unigénito, para que todo aquel que cree en El, no se pierda, más tenga vida eterna (Juan 3:16).

A mi preciosa madre, **Judith** por todo su apoyo, sacrificio, su cariño, comprensión y amor incondicional durante toda mi vida, por siempre creer en mí.

A mi Apá **Francisco Javier** al que admiro mucho, por todos sus consejos y apoyo incondicional, por enseñarme a valorar los buenos momentos, he inculcarme desde pequeño la disciplina, la paciencia y el amor al campo.

A mi tía hermosa **Josefina**, por todo su amor, comprensión, cariño, ejemplo de fe, con todo el amor del mundo, permanecerá siempre en nuestro corazón.

A mis hermanos, **Mario Alfredo, David Francisco, Ana Mariela** por apoyarme en estos momentos tan cruciales en mi vida, por todos sus consejos.

A mi novia **Andrea Ávila Lizama** por ser parte de esta maravillosa etapa de mi vida y acompañarme siempre con buenos y lindos recuerdos, por tu apoyo emocional y aun en la distancia preservar estos sentimientos.

A **Rogelio Eyal** por guiarme para poder tomar la decisión de estudiar en la que hoy mi alma mater, por los bueno momentos en la unidad laguna.

A mis primos **Laura Vanessa, Horacio, Emmanuel, José Manuel, Ana Laura, Pancholin, Israel, Ali.**

A mis amigos que siempre me han acompañado en buenos y malos momentos.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIAS	IV
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
III. HIPOTESIS	2
IV. REVISION DE LITERATURA	3
6.1. Origen del tomate.....	3
6.2. Clasificación taxonómica.....	3
6.3. Características botánicas.....	4
El sistema aéreo	4
Raíz.....	5
Tallo	5
Hojas.....	6
La floración.....	6
La flor	7
El fruto.....	7
Las semillas	8
6.4. La Nutrición mineral	8
Efecto de los nutrimentos en la calidad de fruto.....	9
El Ca ⁺⁺	9
Absorción del Ca ⁺⁺	10
Factores de absorción.....	10
Síntomas de deficiencia	10
Síntomas de exceso.....	11
Antagonismo Ca ⁺⁺	11
El K ⁺	11

Absorción del K ⁺	12
Factores de absorción.....	12
Síntomas de deficiencia	13
Síntomas de exceso.....	14
Antagonismo del K ⁺	14
V. MATERIALES Y METODOS.....	15
5.1. Localización del área experimental	15
5.2. Material vegetal.....	15
5.3. Descripción de los tratamientos	16
5.4. Manejo del cultivo.....	17
Tutoreo.....	17
Polinización.....	17
Podas.....	17
Cosecha.....	18
5.5. Variables evaluadas	18
Rendimiento total.....	18
Rendimiento del racimo del 1 al 6:.....	18
Rendimiento del racimo del 7 al 12:.....	18
Peso seco de raíz:.....	18
Porcentaje de pudrición apical:.....	19
Diámetro de tallo:.....	19
Longitud de tallo:.....	19
VI. RESULTADOS.....	20
Rendimiento del racimo 1 al 6.....	24
Rendimiento del racimo 7 al 12.....	25
Peso seco del fruto	26
VII. DISCUSIÓN.....	32
VIII. CONCLUSION	36
IX. LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos utilizados en la experimento con diferentes niveles de $\text{Ca}^{++}:\text{K}^+$	16
Cuadro 2. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de $\text{Ca}^{++}:\text{K}^+$ en las diferentes soluciones nutritivas en la longitud del tallo (m), peso seco de raíz (gr), diámetro del tallo (mm) en el cultivo de tomate.....	20
Cuadro 3. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de $\text{Ca}^{++}:\text{K}^+$ en las diferentes soluciones nutritivas en el rendimiento del racimo 1 al 6 (gr), del 6 al 12 (gr) y el peso seco del fruto, (g) en el cultivo de tomate.....	25
Cuadro 4. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de $\text{Ca}^{++}:\text{K}^+$ en las diferentes soluciones nutritivas en el rendimiento total por planta ⁻¹ (gr) y pudrición apical (%) en el cultivo de tomate.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en la longitud de tallo en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	22
Figura 2. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en el peso seco de raíz en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	23
Figura 3. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en diámetro del tallo en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	24
Figura 4. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en rendimiento del racimo del 1 al 6 por planta en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	26
Figura 5. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en rendimiento del racimo del 7 al 12 por planta en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	27
Figura 6. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en peso seco del fruto en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	28
Figura 7. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en rendimiento total el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la medio.....	30

Figura 8. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ de la pudrición apical en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media....31

RESUMEN

El Ca^{++} y K^+ son algunos de los elementos esenciales para la nutrición de las plantas sobre todo para el tomate (*Solanum lycopersicum*) ya que tienen un papel fundamental en el desarrollo productivo de la planta, principalmente en el fructificación. Sin embargo el manejo de la nutrición vegetal demanda un balance adecuado entre sus componentes como lo son Ca^{++} y K^+ ya que la combinación de éstos dos elementos genera un antagonismo entre ellos ocasionando un desbalance y una situación desfavorable para la calidad del fruto. Por tal motivo el objetivo del presente estudio fue realizar comparaciones de la relación Ca^{++} : K^+ su evaluación, respuesta, efecto en el cultivo y fruto de tomate, en un sistema de cultivo sin suelo. Los tratamientos evaluados consistieron en 9 soluciones nutritivas, realizándose un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3x3 donde los niveles de Ca^{++} fueron 9,11 y 13 meq L^{-1} y de K^+ 7, 9 y 11 meq L^{-1} . Cada tratamiento contó con 4 repeticiones y a su vez éstas con dos plantas por repetición. Los resultados obtenidos en este estudio arroja que cuando aumentamos la concentración a 13 meq L^{-1} de Ca^{++} y 9 meq L^{-1} de K^+ se presenta hasta un 19.3% de pudrición apical, los mejores resultados en el rendimiento total (9.6 Kg por planta.) fueron manteniendo una concentración de 7 meq L^{-1} de K^+ y 9 meq L^{-1} Ca^{++} .

Palabras clave: Balance Ca^{++} : K^{+} , balance de cationes, calidad de fruto, cultivo sin suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Los países que ocupan los primeros tres lugares en el ranking de mayores exportadores de tomate (*Solanum lycopersicum*), comercializan poco más de 55% de total mundial. Holanda ocupa el primer sitio, con 22% del volumen de exportaciones mundiales; mientras México tiene el segundo lugar con 18% de las mismas y en tercer lugar, España con 17% del total mundial (SAGARPA, 2010).

En México, el tomate tiene una gran importancia social y económica, como ya lo observamos se encuentra con un segundo lugar de exportaciones a nivel mundial. El valor de producción a nivel nacional asciende a 23, 871,404.00 millones de pesos (SIAP, 2016). Mientras que la producción de tomate está altamente concentrada en cinco entidades nacionales las cuales producen el 54.1 % del total nacional como: Sinaloa (27.4 %), Michoacán (7.2 %), San Luis Potosí (7.2 %), Baja California (7.1 %) y Jalisco (5.2 %). De acuerdo con SIAP (2016), la producción de tomate rojo en México creció a una tasa promedio anual de 3.3 por ciento entre 2005 y 2015, para ubicarse en un volumen máximo histórico de 3.1 millones de toneladas. Entre 2012 y 2015 se observó una mayor proporción de la superficie establecida de este cultivo con tecnologías de agricultura protegida (malla sombra e invernaderos) y cultivos sin suelo, en promedio del 25 % de la superficie total, por lo cual durante ese período la producción promedio se ubicó en 2.88 millones de toneladas, es decir, un volumen 36 % mayor que durante los cuatro años previos. Según el (SIAP, 2016), la calidad, es uno de los elementos más importantes de los productos de cualquier categoría y en términos del tomate, se refiere al cumplimiento de los atributos sensoriales y fisiológicos del fruto. La Norma Mexicana para productos alimenticios no

industrializados para consumo humano para tomate, NMX-FF-031-197-SCFI, determina la clasificación con base en los grados de calidad del fruto, denotando al producto como México 1, México 2 y México 3. Para lo cual, se analizan factores como el color, apariencia y textura. (SAGARPA, 2010).

II. OBJETIVO

Objetivo general

Determinar la interacción adecuada de diferentes niveles de $Ca^{++}:K^+$ en respuesta a la pudrición apical, rendimiento y crecimiento en tomate en un sistema de cultivo sin suelo.

Objetivos específicos

- Cuantificar el efecto de la pudrición apical del cultivo en los diferentes niveles de $Ca^{++}:K^+$.
- Evaluar la respuesta a rendimiento en diferentes niveles de $Ca^{++}:K^+$ en el cultivo de tomate bajo un sistema de cultivo sin suelo.
- Determinar la influencia los niveles de $Ca^{++}:K^+$ en parámetros de crecimiento

III. HIPOTESIS

La interacción $Ca^{++}:K^+$ influirá en la respuesta a la pudrición apical, rendimiento y en el crecimiento vegetativo en tomate en un sistema cultivo sin suelos.

IV. REVISION DE LITERATURA

6.1. Origen del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es originario de la 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 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 está en constante aumento, es de más de 12 kg por habitante y año, con más de 100 kg en Grecia y Libia. El rendimiento por hectárea y las superficies cultivadas están en constante aumento (Blancard *et al.*, 2009).

6.2. Clasificación taxonómica

El tomate perteneciente a la familia de las solanáceas denominada en el lenguaje científico como *Solanum lycopersicum* Mill. Perenne y sensible a las bajas temperaturas, de ciclo anual, su duración o tiempo productivo es según la variedad.

De acuerdo a la taxonomía generalmente aceptada del tomate es:

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

- Género: *Solanum*
- Especie: *lycopersicum* nombre científico: *Solanum lycopersicum*

6.3. Características botánicas

Al tomate, como se ha referido anteriormente es una planta cultivada desde la antigüedad, 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 sus producciones sean abundantes, 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, las condiciones ambientales o de que variedad se trate (Rodríguez *et al.*, 1996).

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 segmentos sucesivos 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. 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; Rick, 1997).

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 o sustrato, la planta presenta una raíz principal pivotante, crece unos tres centímetros al día hasta alcanzar los sesenta centímetros 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). Todas las raíces absorben agua mientras los minerales se absorben por las raíces más próximas a la superficie (Varga y Bruinsma, 1986).

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 fotosintéticas, 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 mediar hasta 2.5 m de altura, su superficie es angulosa, prevista de pelos agudos y glándulas que desprenden un líquido de aroma muy característico (Rodríguez et al., 1996).

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 foliolos. 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 lo son ideales (Kinet, 1997).

La floración

La diferenciación y desarrollo de la flor constituyen etapas previas al fructificación y en 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 hábito 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, 1995).

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 Sawhner, 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).

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 pedúncular 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 pedúncular (Nuez, 1995). El color de la fruta puede ser rojo, rosado o amarillo debido a la presencia de licopina y carotina, en distintas y variables proporciones. 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.*, 1996).

Las semillas

Las semillas son grisáceas, de forma oval, aplastada y de 3-5 mm de diámetro. Cuyo desarrollo dará lugar a planta adulta, está constituido, a su vez, por la yema apical, dos cotiledones, el hipoclorito 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.*, 1996).

6.4. La Nutrición mineral

La nutrición mineral del suelo tiene como objetivo, mantener en el suelo 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 de los cultivos (Wild, 1989).

El crecimiento y desarrollo de una planta esta normalmente asegurado si se satisfacen todas las necesidades en el momento, el equilibrio entre la demanda y la oferta para que en elementos necesarios estén disponibles en el proceso de absorción. En el medio donde se desarrollan las raíces, además del agua y del oxígeno, deben estar presentes los elementos minerales en formas que asimilables. El papel de la fertilización es atender estas necesidades mediante la incorporación de nutrientes (Lemaire *et al.*, 2005).

Efecto de los nutrimentos en la calidad de fruto

Los nutrimentos influyen sobre la calidad de los frutos, ya sea de manera directa o indirecta. Los efectos directos dependen del contenido del elemento y del balance nutrimental en el fruto.

Para poder manipular el contenido mineral y el balance nutrimental en los frutos es importante conocer la función y la dinámica de acumulación de nutrimentos en los frutos en desarrollo. Se ha encontrado que para la mayoría de los nutrimentos (por ejemplo N (nitrógeno), P (fósforo) y K^+ , la translocación a los frutos es vía xilema y floema; mientras que el Ca^{++} es proporcionado sólo vía xilema (Stadelbacker, 1963).

El Ca^{++}

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, división celular, 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 nutrimento 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. La solución nutritiva contiene de 8 a 12 meq/L⁻¹ de este nutrimento, es decir de 160 a 240 ppm de Ca^{++} (Castellanos, 2009).

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).

Absorción del Ca⁺⁺

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 una región más apical de la raíz. Puesto que el movimiento del Ca⁺⁺ está relacionada con la transpiración este se deduce cuando es afectada por las condiciones ambientales.

Factores de absorción

Los factores de absorción para el Ca⁺⁺ son más consideradas ambientales ya que pueden ocurrir de manera temporal bajo ciertas condiciones ambientales, o también por las enfermedades de la raíz limitan considerablemente la absorción de Ca⁺⁺ por la planta. Los periodos de alta humedad pueden conducir a que el ápice de ciertas plantas se vea como 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, la absorción de Ca⁺⁺ puede ser afectada por otros iones como el NH₄⁺, Mg, 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 que se necesita por la planta (Selles, 2012).

Síntomas de deficiencia

El Ca⁺⁺ es inmóvil en la planta, por lo tanto los síntomas de deficiencia aparecen primero en los ápices de crecimiento debido a un abaja 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, y es común cuando se excede de nitrógeno 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 las fisiopatías clásicas, conocida como pudrición apical o BER por las siglas en inglés y PAF por las siglas en español (Castellanos, 2009).

Síntomas de exceso

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).

Antagonismo Ca^{++}

El antagonismo del Ca^{++} es considerado el más preocupante en todo suelo calizos sea el Ca^{++} este elemento reduce la absorción de otro. Ejemplos: $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, $\text{K}^+/\text{Mg}^{++}$, $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ y K^+ , Ca^{++}/Fe , Mn , Zn y B , Fe/Mn , N/K . como se ve el Ca^{++} es antagonista con multitud de elementos (Análisis foliares, 2008).

El K^+

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 postcosecha y mayores niveles de azúcares. La solución

nutritiva contiene de 6 a 9 Me/L de este nutrimento, es decir del orden de 240 a 350 ppm de K^+ . (Castellanos, 2009).

Absorción del K^+

El K^+ es el catión absorbido en mayor cantidad por las plantas. Contienen de 1.0 a 5.0 % del peso seco en tejidos de hoja. Sin embargo, en contraste con otros nutrimentos como el N, P y S, Ca^{++} si 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 K^+ conducen a deficiencias de N, Ca^{++} y Mg^{++} . Los cationes amonio (NH_4^+) juegan un papel importante en el balance de los cationes K^+ , Ca^{++} , y Mg (magnesio). La forma disponible para la raíz es el catión K^+ . 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 en el suelo principalmente por flujo de masas; mientras que el K^+ se mueve por difusión, cuya tasa es dependiente de la temperatura. El oxígeno del suelo tiene un gran efecto sobre la absorción de K^+ (Jones, 2003).

Factores de absorción

Las características generales de cada suelo en particular determinan la eficiencia con la que cada cultivo absorberá K^+ . Por ejemplo:

Aireación del suelo.- Afecta principalmente la absorción de K^+ que la de cualquier otro nutrimento. La siembra directa o labranza mínima (compactación del suelo), limitan la oxigenación del suelo por lo que incrementan los problemas de deficiencia, esto por la reducida aireación que limita el crecimiento de las raíces.

Contenido de K⁺ en el suelo.- A medida que éste es limitante en el suelo, la absorción disminuye.

Fijación.- En suelos con alto contenido de arcillas 2:1; que son las que atrapan al K en su estructura, reteniéndolo y no dejándolo disponible, por esto disminuye la absorción por la planta.

CIC.- Los suelos con una alta CIC tienen una mayor capacidad de almacenamiento y de intercambio con la planta.

Temperatura del suelo.- La baja temperatura reduce la disponibilidad del K⁺ y por ende la absorción.

Humedad del suelo.- El agua es necesaria para el movimiento de difusión del K⁺ a la raíz. La sequía y los anegamientos reducen la absorción de K⁺ por la planta (PPI, 1997).

Síntomas de deficiencia

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 (Alcántara 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

des uniformemente. Esta última es una fisiopatías conocida como “Blotchy ripening”, y cuyos frutos no son comerciales (Castellanos, 2009).

Síntomas de exceso

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).

Antagonismo del K^+

El antagonismo puede ocurrir durante la absorción, translocación o acumulación en el tejido o en 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^+ y Ca^{++} , K^+ y Mg^{++} , Ca^{++} y Mg^{++} , NH^{4+} y Ca^{++} , NH^{4+} y K^+ (Maldonado, 2002). El K^+ compite fuertemente con otros cationes y su exceso puede originar carencias de magnesio si la concentración o el aporte de este elemento es deficiente (Wild, 1989). Al incrementar el contenido de K^+ en el suelo reduce la absorción de Ca^{++} , si bien en menor medida de lo que reduce la absorción de Mg^{++} por un exceso de K^+ (Parra *et al.*, 2002).

El efecto del K^+ sobre la absorción del Ca^{++} . Al incrementar el contenido de K^+ en el suelo se reduce la absorción de Ca^{++} , si bien en menor medida de lo que se reduce la absorción de Mg^{++} por un exceso de K^+ . De la misma manera ocurre una reducción de la absorción de K^+ al aumentar el nivel de Ca^{++} en el suelo (Parra, 2008).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Localización del área experimental

El siguiente trabajo de investigación se realizó en uno de los invernaderos del Departamento de Horticultura, ubicado dentro 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, con una temperatura media registrada de 21.8°C (mínima de 2.5°C y una máxima de 48.6°C), una humedad relativa del 77% (mínima de 6% y una máxima de 99%) y radiación fotosintéticamente activa de 455 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

5.2. Material vegetal

El material genético utilizado consistió en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) híbrido Moctezuma con características de sanidad y buen 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 un amplio paquete de resistencia a enfermedades.

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 las cuáles fueron trasplantadas el 23 de abril del 2016 en contenedores de polietileno color negro con dimensiones 37 cm por 40 cm, calibre 600 con capacidad de 10L. El sustrato utilizado fue turba acida y perlita, en una relación (70%:30% v/v). Los riegos se aplicaron conforme a las necesidades hídricas de la planta, manteniendo un 25% de volumen de lixiviación para el lavado de sales.

5.3. Descripción de los tratamientos

Se utilizaron 9 soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de $\text{Ca}^{++}:\text{K}^{+}$ (Cuadro 1) bajo un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3x3 con niveles de Ca^{++} de: 9,11 y 13 meq L^{-1} y de K^{+} de: 7, 9 y 11 meq L^{-1} . Cada tratamiento consto de 4 repeticiones y a su vez estás con 2 plantas por repetición. Se mantuvo una densidad de plantación de 3.3 plantas/ m^2 , con un total de 72 plantas. Para formular las soluciones nutritivas se consideraron las siguientes propiedades químicas analizadas en el agua de riego $\text{SO}_4^{--} = 3.5$, $\text{Ca}^{++} = 3.4$, $\text{K}^{+} = 0.11$, $\text{Mg}^{++} : 2.5$. meq L^{-1} .

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos utilizados en la experimento con diferentes niveles de $\text{Ca}^{++}:\text{K}^{+}$

Tratamiento	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	K^{+}	Mg^{++}
<i>Meq L⁻¹</i>						
1	14	2	13	13	11	5
2	14	2	11	13	9	5
3	14	2	9	13	7	5
4	14	2	11	11	11	5
5	14	2	9	11	9	5
6	14	2	7	11	7	5
7	14	2	9	9	11	5
8	14	2	7	9	9	5
9	14	2	5	9	7	5

La preparación de las soluciones nutritivas, fueron en base a un cuadro de doble entrada para equilibrar aniones y cationes, donde se ajustó el pH de las soluciones a 6.0 ± 0.1 con HNO_3 (ácido nítrico) y H_3PO_4 (ácido fosfórico) y la conductividad eléctrica entre 2.0 a 3.0 dS m^{-1} .

5.4. Manejo del cultivo

En la realización de este trabajo de tesis la realización de actividades culturales es crucial para mantener la planta siempre en condiciones de crecimiento, desarrollo y producción, realizando las actividades de manejo de la misma de manera que consistieron en:

Tutoreo

Se realizó una atadura con rafia agrícola de calibre 0.75 en el tallo de la planta tipo anillo de un diámetro aproximadamente 22 milímetros para prevenir ahorcamiento del tallo, posteriormente se dejó 8 metros de rafia para el manejo vertical de la planta que a su vez era sostenido por un alambre galvanizado, de tal manera que cuando la planta rebasara la altura máxima del invernadero esta se bajara para continuar con los siguientes racimos a una altura óptima para continuar con su manejo cultural y cosecha, a este en tutorado se le llama tipo holandés que se realiza sobre este tipo de especies cuyo crecimiento es indeterminado como el híbrido Moctezuma. Esta actividad se realizó diez días después del trasplante cuando la planta tenía una altura considerable para enredarla a la rafia agrícola.

Polinización

Se realizó de forma manual 3 veces al día, utilizando el alambre galvanizado que sostenía el en tutorado, en donde con repetidos golpes generaba una vibración en el zona apical y media de la planta.

Podas

Se realizaron podas de brotes axilares, hojas y frutos. La primera poda realizada fue de brotes axilares, cuantos estos alcanzaron el crecimiento necesario para poder

retirarlos manualmente (aproximadamente 2 cm). Posterior a esto, se realizó una poda de hojas donde siempre se dejaron 11 a 13 hojas fotosintéticamente activas dependiendo de cómo se observara el crecimiento y desarrollo de la planta, equilibrando así las etapas vegetativa y reproductiva. Igualmente era necesario el raleo de fruto, se dejaban todas las flores y se esperaba al cuajado, una vez el amarre de fruto se seleccionaban. De tal manera que se dejaron 5 del primer racimo al cuarto y posterior al cuarto racimo se dejaron 6 frutos.

Cosecha

La cosecha se inició 78 días después del trasplante, la obtención del rendimiento fue por tres segmentos, del racimo número 1 al 6, del 7 al 8 y la suma de los 12 racimos en los siguientes 96 días posteriores al primer corte.

5.5. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: siete variables agronómicas y una variable de laboratorio que son las siguientes:

Rendimiento total: Fue determinado por la suma total de los 12 racimos por tratamiento al término del ciclo productivo.

Rendimiento del racimo del 1 al 6: Fue determinado por la suma total del peso del racimo uno al seis.

Rendimiento del racimo del 7 al 12: Como el anterior se determinó en la suma total por tratamiento del siete al doce.

Peso seco de raíz: Se tomaron las plantas de cada contenedor y se lavó la raíz con agua potable y para eliminar el exceso de sustrato utilizando agua destilada,

posteriormente se seccionó la planta en raíz, tallo y hojas. Los órganos separados se introdujeron a una estufa de secado por 72 h.

Porcentaje de pudrición apical: Se determinó en base al número total de frutos que manifestaron pudrición apical (blossom) por tratamiento.

Diámetro de tallo: Se determinó con un vernier digital en la base o en el pie del tallo.

Longitud de tallo: Esta variable se determinó al término del ciclo productivo con ayuda de una cinta métrica.

Los datos que se obtuvieron se fueron sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) usando el programa estadístico SAS versión 9.0.

VI. RESULTADOS

Longitud de tallo

Para esta variable (Cuadro 2), las concentraciones tanto de Ca^{++} como K^+ no influyeron de manera significativa, se comportaron de manera similar, sin embargo en la interacción de Ca^{++} : K^+ se presentó un efecto significativo.

Cuadro 2. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de Ca^{++} : K^+ en las diferentes soluciones nutritivas en la longitud del tallo (m), peso seco de raíz (gr), diámetro del tallo (mm) en el cultivo de tomate.

meq L ⁻¹		Longitud de tallo (m)	Peso Seco de Raíz (gr)	Diámetro del tallo (mm)
Ca^{++}	9	4.47 A	19.952 A	15.6878 A
	11	4.49 A	18.6333 A	15.5292 A
	13	4.43 A	18.4806 A	15.9894 A
K^+	7	4.4256 A	18.5167 AB	15.7297 A
	9	4.4350 A	20.3639 A	15.8382 A
	11	4.4430 A	18.1861 B	15.7375 A
<i>Anova</i>				
K^+	P<	0.4406	0.0491*	0.9145
Ca^{++}	P<	0.6875	0.2315	0.2782
$\text{K}^+*\text{Ca}^{++}$	P<	0.0364*	0.0488*	0.05*

Peso seco de la raíz

Esta variable (Cuadro 2) no presentó diferencias significativas en Ca^{++} sin embargo, en K^+ si se tuvo una diferencia significativa a los 9 meq L^{-1} , mientras que la interacción entre Ca^{++} : K^+ muestra una diferencia significativa.

Diámetro del tallo

Esta variable (Cuadro 2) no presenta diferencias significativas para Ca^{++} , ni K^+ , en la solución nutritiva, es decir la concentración de estos niveles no influyo en el desarrollo al igual que la interacción entre ambos elementos, por lo que muestran un comportamiento similar.

Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en variables vegetativas

En la Figura 1 se puede apreciar el comportamiento en la altura de la planta en función a las diferentes concentraciones de Ca^{++} y K^+ , donde se muestra un aumento de la altura cuando los tres niveles de Ca^{++} son de 9, 11 y 13 meq L^{-1} con 11, 7 y 9 meq L^{-1} de K^+ , respectivamente.

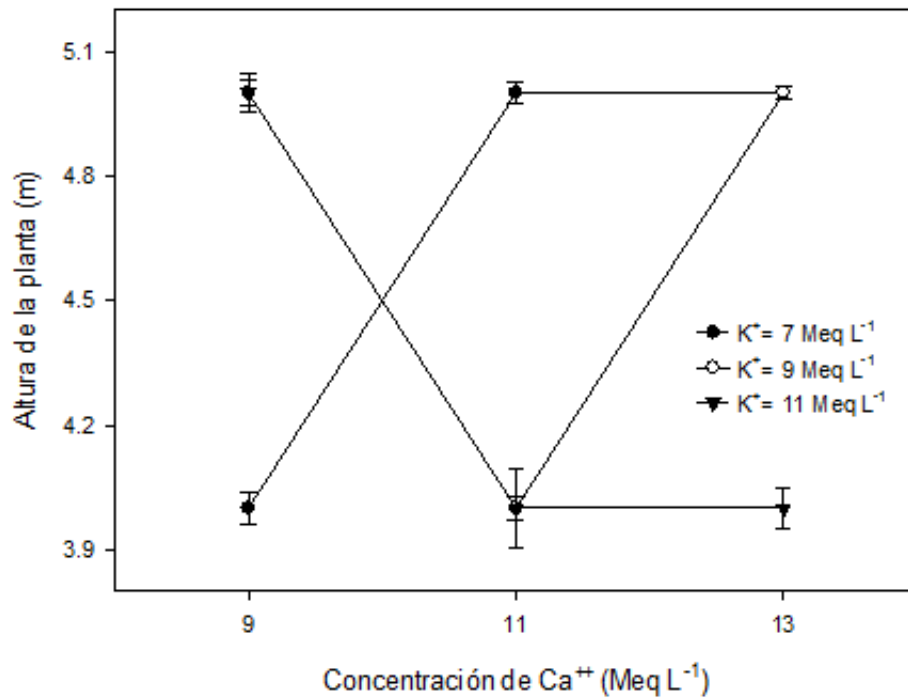


Figura 1. Efecto de la interacción Ca⁺⁺: K⁺ en la longitud de tallo en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

En la Figura 2, el peso seco de la raíz presentó un aumento con las concentraciones de 11 meq L⁻¹ Ca⁺⁺ y 9 meq L⁻¹ de K⁺ mientras que a una concentración de 7 y 11 meq L⁻¹ de K⁺ en interacción con los niveles de la solución manejada de Ca⁺⁺ presento una disminución en el peso seco de la raíz.

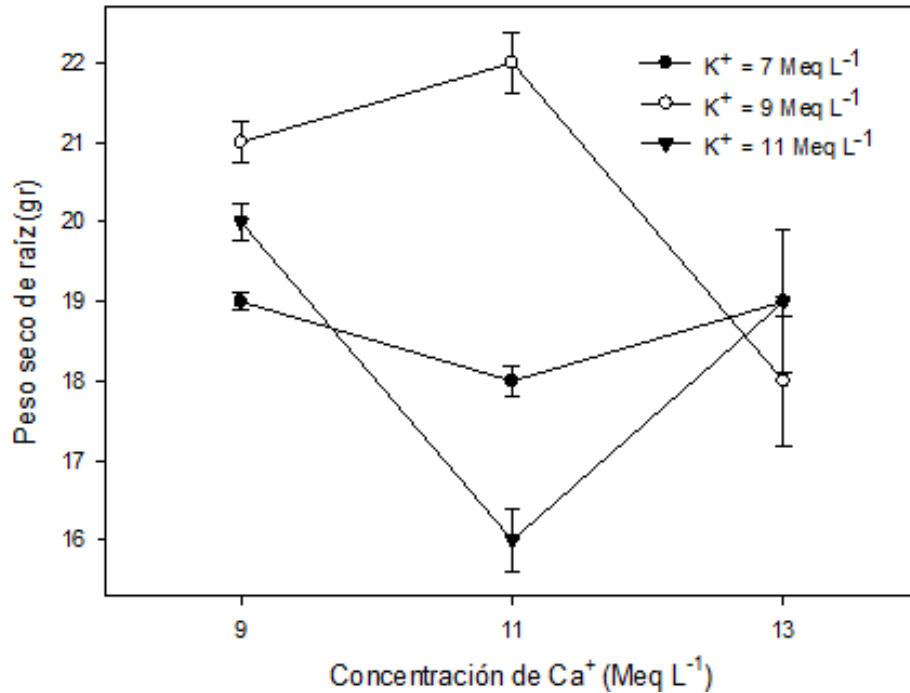


Figura 2. Efecto de la interacción Ca²⁺: K⁺ en el peso seco de raíz en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

En cuanto a la interacción de Ca²⁺: K⁺ en diámetro del tallo (Figura 3), se presentó un comportamiento similar en todas las concentraciones de Ca²⁺ con K⁺ a excepción de una concentración de 13 meq L⁻¹ de Ca²⁺ con 11 meq L⁻¹ de K⁺.

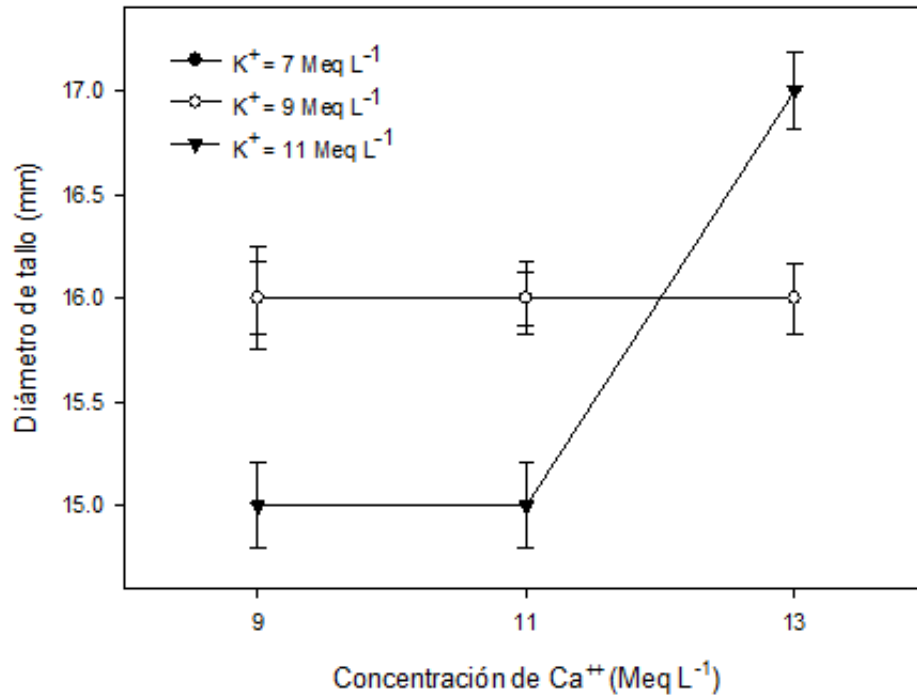


Figura 3. Efecto de la interacción Ca⁺⁺: K⁺ en diámetro del tallo en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

Rendimiento del racimo 1 al 6

En esta variable (Cuadro 3), para 9 meq L⁻¹ de Ca⁺⁺ hubo diferencia significativa a comparación de las concentraciones con 11 y 13 meq L⁻¹, las que se comportaron de una manera similar. Por otro lado, el K⁺ no mostró ninguna diferencia significativa en ninguna de las concentraciones, mientras tanto, la interacción Ca⁺⁺: K⁺ no mostró diferencias significativas.

Cuadro 3. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de Ca^{++} : K^+ en las diferentes soluciones nutritivas en el rendimiento del racimo 1 al 6 (gr), del 6 al 12 (gr) y el peso seco del fruto, (g) en el cultivo de tomate.

meq L ⁻¹		1 al 6 (gr planta ⁻¹)	7 al 12 (gr planta ⁻¹)	Peso Seco del Fruto
Ca^{++}	9	6065.1 A	3585.2 A	13.8639 A
	11	5766.1 B	3402.9 A	13.6222 A
	13	5726 B	3077.6 B	14.5528 A
K^+	7	5880.6 A	3466.7 A	13.9306 A
	9	5895.8 A	3522.8 A	13.8500 A
	11	5780.8 A	3076.2 B	14.2583 A
<i>Anova</i>				
K^+	P<	0.6967	0.0034*	0.7466
Ca^{++}	P<	0.0464*	0.0018*	0.238
$\text{K}^+*\text{Ca}^{++}$	P<	0.6833	0.8492	0.0683

Rendimiento del racimo 7 al 12

El rendimiento presentado del racimo 7 al 12 (Cuadro 3), para la concentración de Ca^{++} con 9 y 11 meq L⁻¹ se comporta de manera significativa a comparación con la concentración más baja de Ca^{++} en la solución nutritiva. En cuanto al K^+ , solo se presentó diferencias significativas con 11 meq L⁻¹ con respecto a las otras dos concentraciones. La interacción Ca^{++} y K^+ no presentó efectos significativos.

Peso seco del fruto

Esta variable (Cuadro 3), no presentó diferencia significativa bajo ninguna concentración de Ca^{++} y K^+ en la solución nutritiva así como tampoco hubo efecto de la interacción entre estos elementos.

Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en el rendimiento

En cuanto a la interacción de Ca^{++} : K^+ en el rendimiento en el racimo 1-6 (Figura 4), se puede apreciar que la concentración de 9 meq L^{-1} de K^+ y Ca^{++} fue la que presentó mayor rendimiento con respecto a las demás interacciones, siendo que al aumentar la concentraciones tanto de Ca^{++} y K^+ se observa un menor rendimiento.

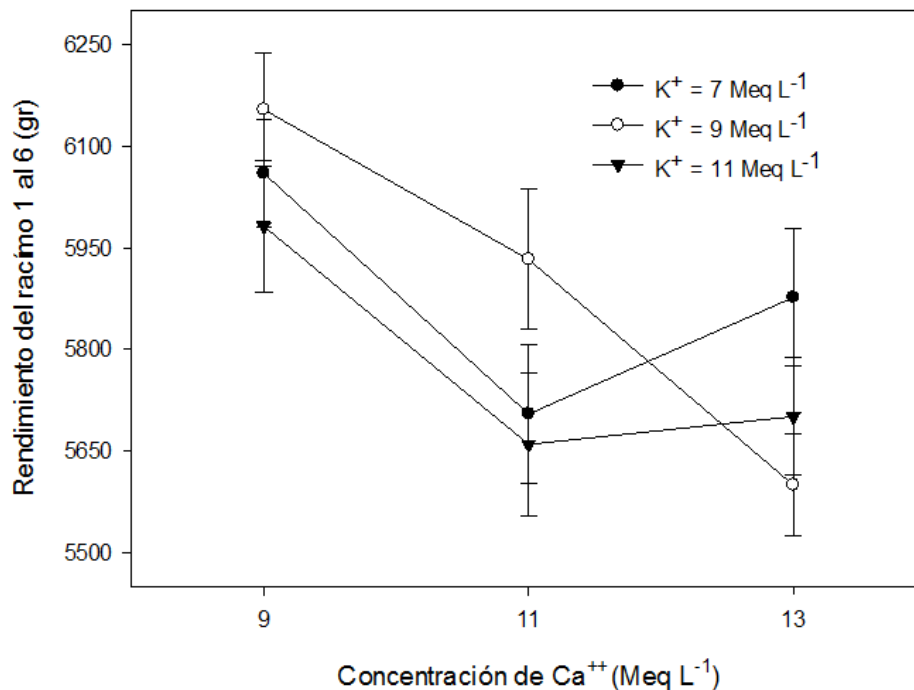


Figura 4. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en rendimiento del racimo del 1 al 6 por planta en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

En cuanto a la interacción Ca^{++} : K^+ en rendimiento del racimo del 7 al 12 se observa que al mantener 9 meq L^{-1} de Ca^{++} y 7 meq L^{-1} de K^+ se tiene un aumento en el rendimiento durante esta etapa de fructificación. Mientras tanto, al aumentar la concentración de Ca^{++} y K^+ se observó un descenso en el rendimiento en éstos racimos.

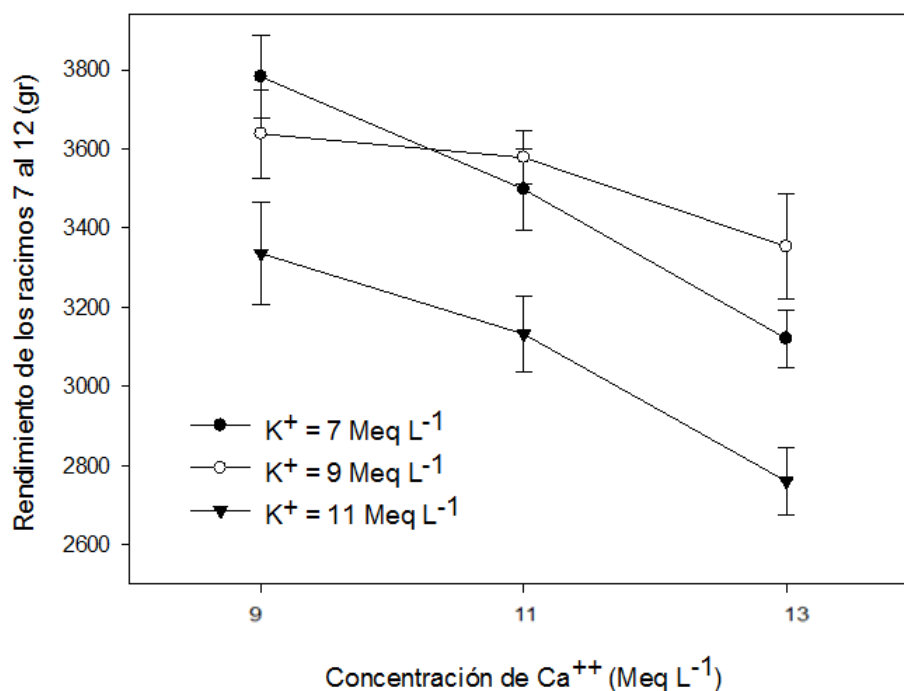


Figura 5. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en rendimiento del racimo del 7 al 12 por planta en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

En la Figura 6 se aprecia un efecto positivo en el peso seco del fruto cuando las concentraciones de Ca^{++} se mantienen en 9 meq L^{-1} con 11 meq L^{-1} de K^+ al igual que con 13 meq L^{-1} de Ca^{++} con 7 meq L^{-1} de K^+ .

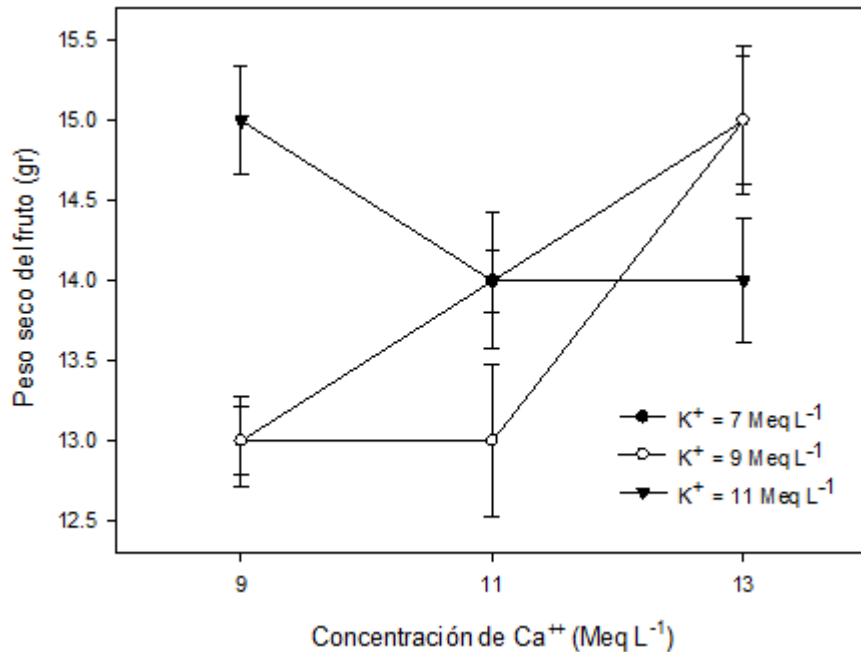


Figura 6. Efecto de la interacción Ca⁺⁺: K⁺ en peso seco del fruto en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

Rendimiento total

En esta variable (Cuadro 4), en cuanto a la concentración de Ca⁺⁺, existe diferencia significativa entre los 9 meq L⁻¹ con respecto a las otras dos que se comportaron de una manera similar. Mientras que para el K⁺ las concentraciones con 7 y 9 meq L⁻¹ presentan una diferencia significativa con respecto a la de 11 meq L⁻¹.

Cuadro 4. Efecto de la concentración de los diferentes niveles de Ca^{++} : K^+ en las diferentes soluciones nutritivas en el rendimiento total por planta⁻¹ (gr) y pudrición apical (%) en el cultivo de tomate.

meq L ⁻¹		Rendimiento total (gr planta ⁻¹)	Pudrición Apical (%)
Ca^{++}	9	9650.3 A	11.437 B
	11	9169.0 B	14.583 B
	13	8803.6 B	19.306 A
K^+	7	9347.3 A	12.246 B
	9	9418.7 A	15.371 AB
	11	8857.0 B	17.709 A
ANOVA			
K^+	P<	0.0146*	0.0071*
Ca^{++}	P<	0.0004*	0.0001*
$\text{K}^+*\text{Ca}^{++}$	P<	0.9512	0.1349

Pudrición apical del fruto

En cuanto a la pudrición apical (Cuadro 4), el Ca^{++} presentó diferencias significativas con 13 meq L⁻¹ con respecto a las otras dos concentraciones de este elemento, los cuales se comportaron de una manera similar. Para el caso de K^+ las plantas nutridas con soluciones de 7 meq L⁻¹ resultaron con menor incidencia de pudrición apical.

En la Figura 7, se muestra como la mejor interacción para el rendimiento total por planta se presentó a una concentración de 9 meq L⁻¹ de Ca^{++} y 7 o 9 meq L⁻¹ de K^+

respectivamente. Concentraciones mayores de Ca^{++} coincidieron con una disminución en el rendimiento total del cultivo.

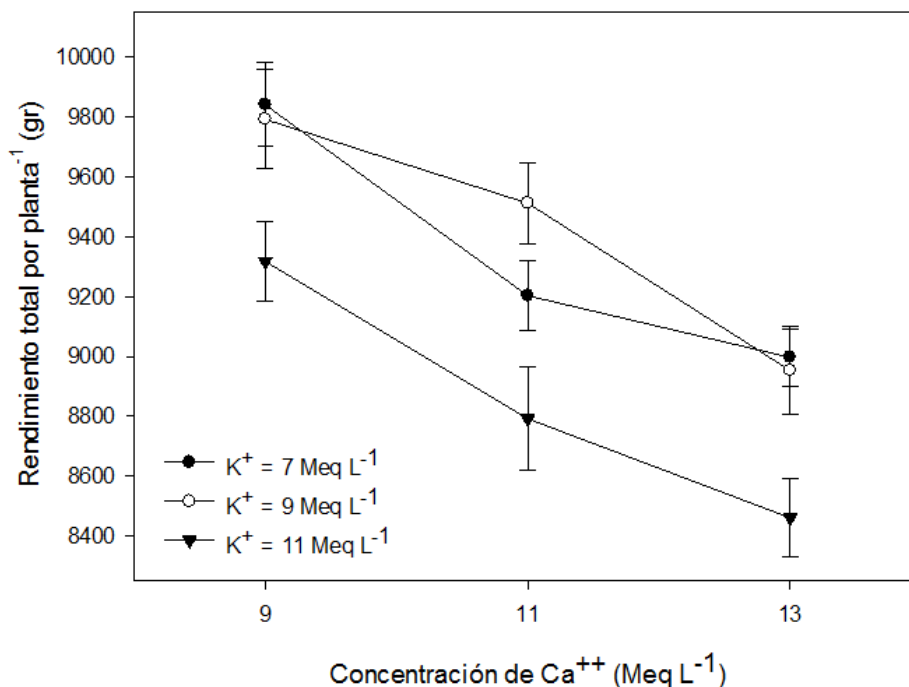


Figura 7. Efecto de la interacción Ca^{++} : K^+ en rendimiento total el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la medio.

Con respecto a la interacción de Ca^{++} : K^+ en la pudrición apical (Figura 8), se observa un incremento considerable a una concentración de 13 meq L^{-1} de Ca^{++} y 9 meq L^{-1} seguida de 13 meq L^{-1} de Ca^{++} y 7 meq L^{-1} K^+ . Mientras que a concentraciones menores de 13 meq L^{-1} de Ca^{++} se observa un menor porcentaje de pudrición apical. Los frutos resultaron con una baja pudrición apical cuando se emplearon soluciones con bajos niveles de Ca^{++} y K^+ (Figura 8).

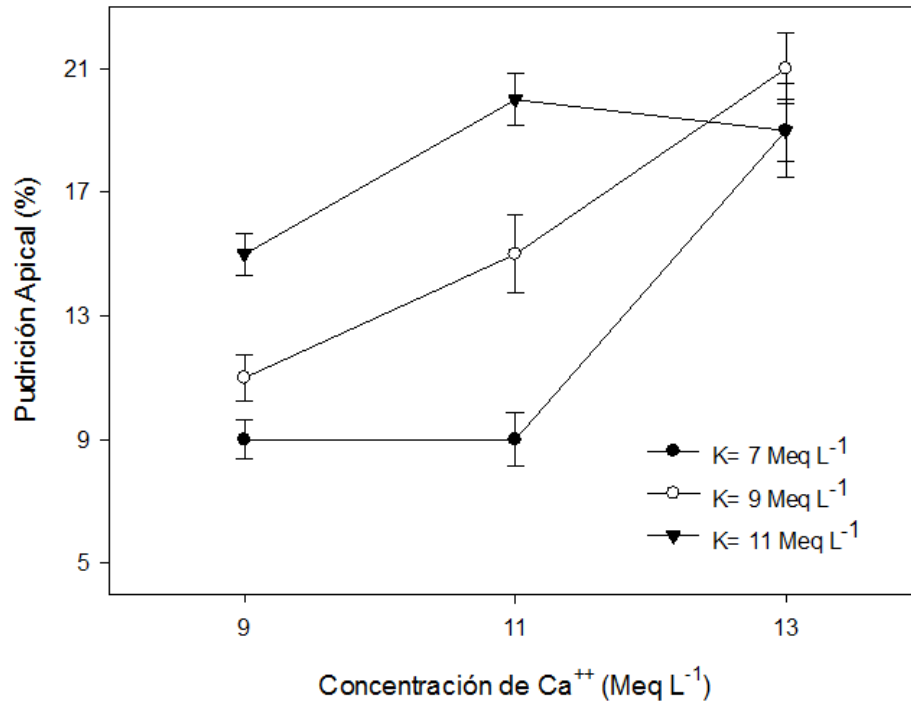


Figura 8. Efecto de la interacción Ca⁺⁺: K⁺ de la pudrición apical en el cultivo de tomate cv. Moctezuma bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

VII. DISCUSIÓN

Con respecto al rendimiento del racimo 1 al 6, el mejor rendimiento de este segmento fue con una concentración de $9 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}^{++}$ y 9 meq L^{-1} de K^{+} donde se consiguieron los mejores resultados con 6 kg por planta. Esto puede deberse a que durante la primera etapa no había demasiada competencia y posteriormente a una retraslocación a las zonas de crecimiento. Lo anterior coincide con reportes por parte de Vázquez (2018), quien menciona que durante la primera etapa no hay demasiada competencia entre la relación vegetativa y fructificación en las plantas. Posteriormente, cuando la planta está en desarrollo de frutos, este elemento se trastocó hacia las partes en crecimiento y elongación del fruto ya que el K^{+} interviene fisiológicamente en los procesos de síntesis de almidón, síntesis de proteínas, e interviene en la estimulación enzimática (Rodríguez, 1992).

Por otro lado en los racimos 7 al 12, tuvieron una disminución considerable en el rendimiento, sin embargo esto era de esperarse ya que los mejores rendimientos de esta etapa se obtuvieron con una solución que contenía $7 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}^{++}$ y K^{+} respectivamente alcanzando un rendimiento de 3.5 Kg por planta. Lo anterior puede deberse a que se presenta un envejecimiento celular, debido a la distancia entre la raíz y la zona de demanda que requiere más energía. Esto concuerda con Trippi (2007), quien señala que las plantas fuertemente influenciadas por el ambiente pueden mostrar fenómenos de senescencia cuando la condición del ambiente determina el crecimiento reproductivo y los cambios asociados con la edad resultan en alteraciones en el citoplasma como un tipo de diferenciación celular.

En cuanto al peso seco del fruto, este no presentó efectos significativos y muestra un comportamiento similar, donde la concentración e interacción de Ca^{++} y K^+ , no tuvo ninguna incidencia. Lo anterior puede deberse a compuestos transportados por K^+ , lo que coincide con lo que mencionan Marcelis y Heuvelink (2007) en el sentido de que la mayoría de la materia seca de los frutos del tomate proviene de los foto asimilados producidos en las hojas y transportados a los frutos, acorde con la relación fuente/demanda. El poder de la demanda de un órgano es la capacidad potencial del mismo para acumular asimilados y esto se refleja en sólo al menos el 10% de la materia seca presente en el fruto (Ho y Grimbly, 1990).

La longitud del tallo no tuvo diferencia significativa, ni en la interacción de Ca^{++} : K^+ , esto se debe a que pueda estar directamente relacionado con la expresión genética y el balance de ambos iones Ca^{++} y K^+ . Estos resultados coinciden con Hernández (2015), quien menciona que el rendimiento, peso seco total y altura de planta aumenta con el incremento de la concentración de Ca^{++} , pero al elevar el K^+ (>9 meq L^{-1}) se observa una disminución de estos parámetros.

El peso seco de la raíz tuvo una diferencia significativa en los niveles de Ca^{++} y K^+ de 9 y 11 meq L^{-1} , respectivamente; esto puede deberse a las concentraciones de K^+ , ya que coincide con Broadley *et al.* (2004) y Watanabe *et al.* (2007), quienes mencionan que el K^+ es el catión inorgánico más abundante en las plantas ya que comprende hasta el 10% del peso seco de la planta. La absorción de K^+ por las raíces y su acumulación por las plantas están determinados por la capacidad de absorción de K^+ de las raíces. La relación de la absorción de K^+ entre la raíz (acumulación de la planta) y la concentración de K^+ en la rizósfera generalmente sigue la tendencia

de una hipérbola y una función lineal (Kochian y Lucas, 1988; Leigh y Wyn, 1984; Mengel y Kirkby, 2001; Britto y Kronzucker, 2008).

El diámetro del tallo fue significativamente afectado por la interacción de Ca^{++} : K^+ . Lo anterior puede deberse a un buen crecimiento, desarrollo y una multiplicación celular debido al Ca^{++} y a una expansión celular y turgencia debido al K^+ . Hawkesford *et al* (2012), mencionan que el K^+ juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, tiene un papel en la expansión y promoción en la división celular, además de mantener la presión de turgencia en las plantas y ayudar en la osmoregulación de las células.

En el rendimiento total del fruto se presentó un efecto positivo en el balance Ca^{++} : K^+ donde se obtuvieron los mejores resultados a una concentración de $9 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}^{++}$ y 7 meq L^{-1} de K^+ , esto se puede deber a que el balance entre ambos cationes afectó de manera positiva al ser una concentración equilibrada por lo menos para generar un rendimiento de $9.6 \text{ Kg por planta}^{-1}$. Lo anterior se atribuye a la expresión genética, al ser una variedad para invernaderos de mediana tecnología, las condiciones de cultivos sin suelo y ambiente protegido mejoraron sus condiciones para poder desarrollarse con mucho potencial. Esto coincide con los reportes de Bush (1995), que menciona que el Ca^{++} también está implicado en numerosas funciones intracelulares que son regulados por los cambios en las concentraciones de Ca^{++} citosólico, como el equilibrio iónico, la expresión génica, y el metabolismo de hidratos de carbono.

La pudrición apical se disparó significativamente cuando aumentamos la concentración de Ca^{++} a 13 meq L^{-1} con una concentración de 9 meq L^{-1} de K^+ ,

seguido de 7 y 11 meq L⁻¹ respectivamente. La mayor pudrición apical del fruto puede deberse al antagonismo que existe entre la carga positiva de ambos elementos, que ocasiona una mayor adsorción de un elemento que otro. Al no tener una relación adecuada, se genera la falta de un elemento, por lo tanto la división celular se ve afectada, produciendo el necrosamiento en la parte apical del fruto. Esto coincide lo reportado por Vázquez (2018) donde menciona que lo anterior puede deberse a que durante la estación lluviosa del verano las condiciones climáticas de menor temperatura, mayor humedad relativa y menor radiación PAR se disminuye la transpiración, lo que disminuye la translocación de ambos elementos desde la raíz hasta la parte aérea, provocando que una mayor concentración sea requerida para abastecer las demandas de las plantas.

Se ha reportado que el K⁺ y Ca⁺⁺ presentan un antagonismo entre ellos, debido a que al incrementar o disminuir la concentración de estos cationes, afecta su absorción entre sí y la de otros iones de la misma carga (Mg⁺⁺) (Hernández, 2015).

Por otro lado el 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 (Kirkby y Pilbean, 1984). Por tanto al no existir el suficiente Ca⁺⁺ en el fruto para formación de los pectatos de Ca⁺⁺ que forman la pared celular, se obtienen frutos poco rígidos llevando consigo a una tasa de maduración y vida postcosecha muy corta (Vázquez, 2018).

VIII. CONCLUSION

Los resultados obtenidos en este estudio indican que al aumentar la concentración a 13 meq L^{-1} de Ca^{++} y 9 meq L^{-1} de K^{+} se presenta hasta un 19.2% de pudrición apical. Los mejores resultados en el rendimiento total fueron manteniendo una concentración de 9 meq L^{-1} Ca^{++} y 7 meq L^{-1} de K^{+} obteniendo hasta 9.6 Kg de rendimiento por planta.

Los niveles en el desarrollo vegetativo fueron los más altos con una concentración $> 11 \text{ meq L}^{-1}$ de Ca^{++} .

IX. LITERATURA CITADA

- Alcantar, G. G. y Trejo, T.L.I 2007. Nutrición de cultivos. Mundi-Prensa. Colegio De Postgraduados. Montecillo, México. 438 pp.
- Broadley, MR., Bowen, HC., Cotterill, HL., Hammond, JP., Meacham, MC., Mead A. y White, P.J. 2004. Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. *J Exp. Bot* 55:321–336.
- Blancard, D.; Laterrot, H.; Mar choux, G. y Candresse, T. 2009. Enfermedades del tomate. Editorial Quae. Madrid España. 7 pp.
- Britto, DT. y Kronzucker, HJ. 2008. Cellular mechanisms of potassium transport in plants. *Physiol Plant* 133:637–650.
- Bush, D.S. 1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annu. Rev.Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46: 95-122 pp.
- Castellanos, J.Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Cap. 6 Formulación de la Solución Nutritiva. 132-155 pp.
- Posada, C.F, Cardozo, C.M y Hernández, C.J. 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. 25(2):304.
- Fagario, V.D. 2001. Nutrient Interaction in crop plant nutrition. 24(8):1269-1290.
- 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 *Lycopersicum*: Insights from allometry. *Bot. Gaz.* G92.133:184-190. pp.

Hawkesford, M. W., Horst, T., Kichey, H., Lambers, J., Schjoerring, I., Skrumsager-Moller y White, P. 2012. Function of macronutrients P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, Londres, 135 – 189 pp.

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.

Hausling, M., Jorns, C.A., Lehmbecker, G., Hechtbuchholz, C., Marschner, H., 1988. Ion and water uptake in relation to root development in Norway spruce (*Picea abies* L.). *J. Plant Physiol.* 133, 486–491 pp.

Heppler, P. y Wayne, R. 1985. Calcium and plant development. In: *Rev. Plant physiology* 36: 397-439 pp.

Ho, L.C. and P. Grimby. 1990. The physiological basis for tomato quality. *Grower* 22: 33-36.

Jones, J.B. 2003. *Agronomic Handbook management of crops, soils, and their fertility*. CRC Press. Boca Raton. FLA. 450pp.

Kochian, LV. y Lucas, WJ. 1988. Potassium transport in roots. *Adv Bot Res* 15:93–178 pp.

Kinet J.M. 1997. Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Sci. Hort.*, 6:15-26 pp.

- Kirkby, E.A. y Pilbean, D.J. 1984. Calcium a plant nutrient. *Plant, Cell and Environ* 7: 394-405 pp.
- Leigh, RA. y Wyn, J. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytol* 97:1–13 pp.
- 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.
- Marcelis, L.F.M. y Heuvelink, E. 2007. Concepts of modelling carbon allocation among plant organs. pp. 103-111.
- Mengel K. y Kirkby E.A. 200.1 Principles of plant nutrition. 5th ed., Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. : 849 México.366 pp.
- Maldonado, T.R. 2002. Diagnostico nutrimental para la producción de aguacate has. Informe de investigación. UACH. Texcoco, México. 187pp.
- 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 pp.
- Nuez, F. 2001. EL cultivo de tomate. Ediciones Mundi prensa. Bilbao España. 538 pp.
- Nuez, F. 1995. Situación taxonómica, domesticación y difusión. *Cultivo moderno del tomate*.13 pp.

- Olivera- Prendas, J.A., Afif –Khouri, E. y Mayor- Lopez, M. 2006. Análisis del suelo - plantas y Recomendaciones de abonado. Universidad del Oviedo.España.12-38 pp.
- 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. *Interciencia*. 33:6 (449-456).
- Parra, M.A., Fernández Escobar R., Navarro C. y Arquero O. 2002. Los suelos y le fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Editorial Mundi-prensa, Madrid España. 48-49 pp.
- Picken, A.J., Stewart, F.,Klopwijk, K.D. 1986. Germination and vegetative development in «Athertoni J.G.;Rudich,J.(Eds) The tomato crop. Chapman y Hal Ltd., New York»: 111-165 pp.
- Rodríguez-Rodríguez, R.; Tabares-Rodríguez, J.M. y Median San Juan, J.A. 1997. El cultivo moderno del tomate. Editorial Mundi-Prensa .Madrid, España, 139-163. pp.
- Rick,C.M. 1997. Potash and phosphate institute. Manual internacional de fertilidad de suelos. *Scientific American*, 239:67-76.
- Rodríguez, R., J. M., Tabares y J.A. Median. 1996. Cultivo moderno del tomate. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 13-15 pp.
- Rodríguez-Rodríguez, R.; Tabares-Rodríguez, J.M. y Median San Juan, J.A. 2001 .El cultivo moderno del tomate. Editorial Mundi-Prensa. Reimpreso. 2ª edicion, España. 13 pp.

- Rodríguez, S.A, 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F. 13, 157 pp.
- 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.
- 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 Politécnica Superior de Gandía. Universidad Politécnica de Valencia. 71-72 pp.
- Urbano, T.P. 1992. Tratado de Fitotecnia General. Editorial GRAFO, S.A. 2a edición España. 446 pp.
- Vázquez, M, J., 2018. Efecto de la relación K: Ca sobre la calidad del fruto, rendimiento y biomasa en el cultivo de tomate en condiciones de hidropónia, Tesis de Licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Vázquez, P, S., 2017. El balance Potasio: Calcio afecta el rendimiento de fruto en tomate en un sistema de cultivo sin suelo. Tesis de Licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Valadez, L.A. 1994. Producción de Hortalizas. Editorial. Limusa. México, D.F. 197-211 pp.
- Varga, A. y Bruinsma, J. 1986. El tomate, frutas y desarrollo, Monselise –SP Editor. Inc. Boca Ratón, Florida. 461-481 pp.
- Wild, A. 1989. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Russhell. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España. 73-83. pp.

Watanabe, T., Broadley, M.R., Jansen, S., White, P.J., Takada, J, Satake, K., Takamatsu, T., Tuah, S.J. y Osaki, M. 2007. Evolutionary control of leaf element composition in plants. *New Phytol* 174:516–523.

PAGINAS ELECTRÓICAS

SAGARPA. 2010. Jitomate. Monografía de cultivos. 2-10pp. Consultado marzo 2018.

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

SIAP. 2016. Consultado el 3 de enero del 2017

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf

Trippi, S. V. 2007, EL ENVEJECIMIENTO DE LOS CLONES consultado el 7 de abril, 2017.

<http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27742/03-EL+ENVEJECIMIENTO+DE+LOS+CLONES.pdf;jsessionid=855BD7A68AB882E800AC260BA4A5FAAB?sequence=1>

Análisis foliares invierno. 2008. Csr servicios laboratorio. Consultado el 29 de Noviembre, 2017. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/

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

En:

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