

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



El Balance Potasio: Calcio Afecta el Rendimiento de Fruto en Tomate en Un Sistema
de Cultivo Sin Suelo

Por:

SEBASTIÁN PÉREZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

El Balance Potasio: Calcio Afecta el Rendimiento de Fruto en Tomate en Un Sistema
de Cultivo Sin Suelo

Por:

SEBASTIÁN PÉREZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesorías



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor Principal



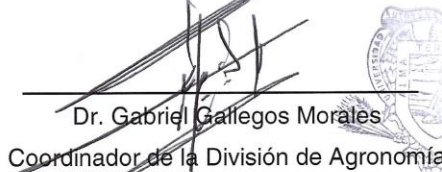
Dr. Armando Hernández Pérez

Coasesor



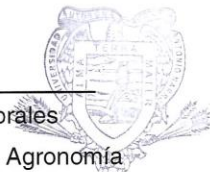
Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme las fuerzas suficientes durante el transcurso de mi carrera profesional y por darme la dicha de disfrutar cada uno de mis sueños cumplidos al lado de las personas que amo, mi familia.

A la gloriosa Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y por ser mi segunda casa de aprendizaje.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por confiar en mí en este proyecto de investigación, por su amistad y por su amable disposición en dirigir el presente trabajo.

Al Dr. Armando Hernández Pérez, por estar al pendiente en el trabajo de investigación, por su valiosa amistad y apoyo incondicional.

A la Dra. Daniela Alvarado Camarillo por su apoyo brindado y por su contribución en el presente trabajo.

Al Ing. Ramiro Salas Rivera y a Joel Antonio Vázquez Moreno, por su enorme apoyo, por la confianza depositada para que en conjunto el proyecto terminara con éxito y por sus valiosas amistades.

A mi primo Miguel Ángel Vázquez, y a mi amigo Lorenzo Vázquez, por todos los momentos divertidos que pasamos durante esta etapa profesional que compartimos juntos y por su valiosa amistad.

Y a mi Amigo Daniel Heriberto Vargas Rivera por todo el apoyo brindado en esta etapa profesional y por compartir conmigo esta bonita aventura profesional que comenzamos y terminamos juntos.

DEDICATORIAS

A **Dios** por darme la vida, por ser mi guía y darme la sabiduría para concluir con éxito esta bonita etapa profesional, por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida y darme las fuerzas necesarias para nunca darme por vencido y siempre salir adelante.

A mí querido padre **Antelmo Pérez Zamorano**, por ser mi inspiración y guía durante toda mi vida, por siempre motivarme en los momentos difíciles y nunca abandonarme durante mi etapa profesional, por tu apoyo incondicional en todas mis decisiones tomadas y siempre estar conmigo durante el momento más difícil de mi vida. Te amo papá.

Con mucho amor a mi hermosa madre, **María Elvia Vázquez Espinosa**, por tu apoyo incondicional, por ser mi guía, mi más grande inspiración, por los consejos que siempre me distes, gracias a ti soy la persona quien soy y sobre todo por tu amor incondicional que siempre me brindas. Te Amo mamá.

A mi hermano **Edilberto Pérez Vázquez**, por tu apoyo, tus consejos y por la motivación que siempre me brindaste para concluir con éxito mi etapa profesional y a mi querido hermano **José Armando Pérez Vázquez**, que, desde el cielo, al lado de Dios nos sigues brindando mucho amor, siempre estás y estarás en nuestros corazones, te amamos.

A mi novia, **Brenda Guadalupe Morales Vázquez**, por ser una pieza importante en mi vida y durante mi etapa profesional, por todo tu apoyo y amor brindado, por siempre motivarme, por estar conmigo en los momentos difíciles. Y por todos los momentos de felicidad y alegría que hemos compartido juntos. Te Amo.

A mi padrino **Alermo Hernández** y su familia, por siempre creer en mí, por siempre estar al pendiente durante esta bonita etapa de mi vida, por todos los consejos y apoyo brindado para terminar con éxito esta etapa.

A todas aquellas personas y amigos que siempre creyeron en mí, que siempre me apoyaron y estuvieron durante esta etapa profesional, y que con mucho esfuerzo y dedicación se logró uno de mis mayores sueños. A todos los maestros que compartieron conmigo gran parte de su conocimiento para terminar con éxito este gran proyecto de vida.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIAS	IV
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE CUADROS	X
RESUMEN	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
I. Origen, historia y domesticación.....	4
II. Clasificación taxonómica	5
III. Características botánicas	5
Raíz	6
Tallo	6
Hojas.....	6
Inflorescencia.....	7
La flor.....	7
Fruto	7
La semilla.....	8
IV. Requerimientos climáticos y edáficos	8
Temperatura	8

Humedad	9
Agua.....	9
Suelo.....	9
Salinidad	10
V. Funciones del Ca ⁺⁺ en la planta	10
Transporte de Ca ⁺⁺ dentro de la planta.....	11
Deficiencias de Ca ⁺⁺ en el fruto y la planta	11
Factores de absorción de Ca ⁺⁺	12
Antagonismo K ⁺ /Ca ⁺⁺	13
VI. Funciones del K ⁺ en la planta.....	13
Transporte de K ⁺ dentro de la planta	14
Deficiencias del K ⁺ en el fruto y las plantas	14
Interacción del K ⁺ con otros nutrimentos	15
Fuentes de K ⁺ y Ca ⁺⁺	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
Ubicación y localización	17
Material experimental.....	17
Descripción de tratamientos.....	17
Manejo del experimento.....	20
Podas.....	20
Amarre de racimos	20
Tutoreo	21
Cosecha.....	21
Variables evaluadas.....	21
Diseño experimental	23

IV. RESULTADOS.....	24
Variables Agronómicas	24
Peso fresco de raíz.....	24
Peso fresco del tallo	26
Peso fresco de hoja	27
Altura de planta.....	28
RENDIMIENTO POR HECTÁREA.....	29
Rendimiento Etapa 1	29
Rendimiento Etapa 2	31
Rendimiento etapa 3.....	32
Rendimiento Total.....	33
VARIABLES DE CALIDAD.....	35
Firmeza.....	35
Grados Brix.....	35
V. DISCUSIÓN	37
VI. CONCLUSIÓN	41
VII. LITERATURA CITADA	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el Peso fresco de raíz en la etapa 1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	25
Figura 2. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el peso fresco del tallo en la etapa 1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	27
Figura 3. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el rendimiento por hectárea en la etapa 1 del cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	30
Figura 4. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el rendimiento por hectárea en la etapa 2 del cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	32
Figura 5. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el rendimiento por hectárea en la etapa 3 del cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	33
Figura 6. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el rendimiento total por hectárea en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos de temperaturas para un desarrollo óptimo del cultivo de tomate (Morata, 1992).....	9
Cuadro 2. Fuentes de fertilizantes a base de K^{++} y Ca^{++}	16
Cuadro 3. Formas de aplicación de tratamientos de acuerdo a los racimos de fructificación.....	18
Cuadro 4. Descripción de soluciones nutritivas estudiadas con diferentes niveles de K^{+} y Ca^{++}	18
Cuadro 5. Variables evaluadas del cultivo de tomate de tipo bola en condiciones de invernadero.....	22
Cuadro 6. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^{+} y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en el peso fresco de raíz (g) en el cultivo de tomate.....	25
Cuadro 7. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^{+} y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en el peso fresco del tallo (g) en el cultivo de tomate.....	26
Cuadro 8. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^{+} y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en el peso fresco de hojas (g) en el cultivo de tomate.....	28
Cuadro 9. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^{+} y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en la altura de planta (cm) en el cultivo de tomate.....	29
Cuadro 10. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^{+} y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en el rendimiento ($ton\ ha^{-1}$) en el cultivo de tomate.....	30
Cuadro 11. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^{+} y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en la firmeza ($kg\ cm^2$) del fruto en el cultivo de tomate.....	35
Cuadro 12. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^{+} y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en el contenido de grados Brix en el cultivo de tomate.....	36

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación fue encontrar una relación óptima de K^+ y Ca^{++} en la solución nutritiva que permita obtener frutos con excelente calidad y obtener los mejores rendimientos. El experimento consistió en evaluar diferentes concentraciones de K^+ y Ca^{++} por el cual se establecieron 9 soluciones nutritivas, teniendo como base la solución de Hernández (2015) moviendo únicamente la concentración de Ca^{++} y K^+ en diferentes niveles. Los tratamientos evaluados consistieron de 9 soluciones nutritivas (SN) con tres concentraciones de K^+ (7, 9 y 11 meq L^{-1}) y tres concentraciones de Ca^{++} (9, 11 y 13 meq L^{-1}). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 3 donde los factores fueron los niveles de Ca^{++} y K^+ , con tres segmentos de fructificación (racimos 1-5; 6-10 y 11-15). Con 4 repeticiones y a su vez éstas con dos plantas. Para peso fresco de raíz y peso fresco de tallo con 9 meq L^{-1} de Ca^{++} tienden a incrementar la cantidad de raíz y mayor peso en el tallo conforme se aumenta la concentración de K^+ en la solución nutritiva. Para las variables de peso fresco en hojas y altura de planta no se presentó efecto significativo en ninguno de los diferentes niveles de Ca^{++} y K^+ . En el rendimiento por etapas con la concentración de Ca^{++} a 9 meq L^{-1} se incrementa conforme se aumenta la concentración de K^+ en la SN teniendo picos en disminución de rendimiento cuando la concentración de K^+ en la solución se encuentra a 9 meq L^{-1} en la etapa 3 del racimo 11 a 15. Los valores sugieren que al disminuir la concentración de Ca^{++} y aumentar la concentración de K^+ en la SN se obtiene el mayor rendimiento, sin embargo, las variables de calidad no se ven afectados por estos dos elementos.

Palabras claves: rendimiento, solución nutritiva, concentración, fructificación.

I. INTRODUCCIÓN

México es uno de los principales países productores de hortalizas a nivel mundial, donde el tomate es una de los principales cultivos con mayor superficie sembrada con un promedio de 51,861.10 ha⁻¹, siendo el estado de Sinaloa el de mayor superficie sembrada, con una participación de 14,220.20 ha⁻¹, seguido por Michoacán con 6,946.96 ha⁻¹ y en tercer lugar Zacatecas con una participación de 3,096.38 ha⁻¹ en superficie sembrada (SIAP, 2016). Asimismo, del tomate se producen diferentes tipos entre los que se encuentran el tipo Saladette, que representa el 56% del total, el tomate bola ocupa un total de producción del 14%, siendo estos dos tipos los más demandados en los mercados tanto nacionales como internacionales. Sin embargo, se producen otros tipos, aunque en menor cantidad como lo son el tomate cherry, tipo beff, tipo coctel, tipo pera, entre otras (SAGARPA, 2010). En general, en México se obtuvo en el año 2016 un total de producción de 3,349,154.20 toneladas con un valor de producción de 23,871,404 millones de pesos en el mercado nacional. Según datos de FAOSTAT, en 2014 México ocupó el onceavo lugar en cantidad de producción con una participación del 2.07% a nivel mundial; además de que México se encuentra entre los principales países exportadores de esta hortaliza y tiene una participación estimada en el mercado internacional del 22.7%, siendo Norteamérica el principal destino (Estados Unidos y Canadá) con el 95% de demanda (SAGARPA 2016).

Actualmente en México la producción de tomate se ha ido incrementando constantemente, mediante la aplicación de nuevos métodos de producción, implementándose principalmente sistemas productivos hidropónicos o en sistemas sin suelo, bajo condiciones protegidas, sin embargo, la producción bajo estos sistemas resulta ser muy costosas por el aumento constante de los fertilizantes químicos

necesarios para el desarrollo de las plantas para obtener los rendimientos esperados. De igual manera, el mercado internacional demanda productos de excelente calidad en cuestiones nutraceúicas, lo que ha llevado a los productores hacer eficiente el uso de los fertilizantes para disminuir los costos de producción. La calidad del fruto de esta hortaliza es sumamente importante en el mercado internacional, por el cual es de mucha importancia la nutrición en la planta para lograr este objetivo. Para mejorar la calidad del fruto es muy importante la nutrición en la planta y los dos nutrimentos más relacionados con lo anterior es el potasio (K^+) y el calcio (Ca^{++}) (Hernández, 2015). Sin embargo, la interacción que existe entre estos cationes, ha llevado a establecer investigaciones para encontrar una relación adecuada para la absorción de estos dos elementos esenciales, sin ocasionar un desequilibrio en la nutrición por un exceso de concentración en la raíz o dentro de los tejidos de la planta. El presente trabajo de investigación, tiene la finalidad de encontrar una relación adecuada de estos dos cationes que permitan obtener frutos de excelentes calidades, la cantidad suficiente de Ca^{++} para obtener frutas con excelente firmeza y mayor vida de anaquel, así como la adecuada cantidad de K^+ para obtener frutos con mayor contenido de grados Brix, excelente color y un buen sabor.

Objetivo general

Determinar la relación adecuada de K^+ y Ca^{++} en la solución nutritiva, que permita obtener mejores parámetros de la calidad, vegetativos y rendimiento en el cultivo de tomate bajo un sistema de cultivo sin suelo.

Objetivos específicos

- Evaluar diferentes niveles de K^+ y Ca^{++} en el cultivo de tomate bajo un sistema de cultivo sin suelo.
- Determinar la relación óptima de K^+ y Ca^{++} que permita mejorar los parámetros de calidad en el fruto de tomate.
- Cuantificar el efecto en la biomasa del cultivo con los diferentes niveles de K^+ y Ca^{++} .

Hipótesis

La relación K^+/Ca^{++} afectará en los parámetros de calidad, vegetativos y rendimiento en el cultivo de tomate por el antagonismo que presentan, bajo un sistema de cultivo sin suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

I. Origen, historia y domesticación

El tomate (*Solanum lycopersicum* Mill), miembro de la familia de las solanáceas, tiene su origen en América del Sur, específicamente de la región andina, que comprende Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de especies silvestres, precisamente en esta zona se llevan a cabo investigaciones y mejoras genéticas, para lograr cierto tipo de resistencia (Rodríguez *et al.*, 1996).

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

El tomate ya era cultivo bien desarrollado en el nuevo mundo, durante el tiempo de la conquista española. Posteriormente fue llevado a Europa en el siglo XVI, conociéndose el fruto con el nombre de tomate en España y Portugal, posiblemente influenciado por el nombre que le daban los indígenas en México, que en lengua náhuatl se le conocía como “tomatl” (Rodríguez *et al.*, 1996).

El cultivo actual de tomate, se derivó de una de las especies pertenecientes al género *Lycopersicon* y la opinión científica se inclina hacia el tomate-cereza (*L. esculentum* var. *Ceraciforme*) con el más probable ancestro inmediato, que es la forma silvestre común, abundante en América tropical y subtropical (Rick, 1978).

II. Clasificación taxonómica

El tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. Según Nuez (2001), la taxonomía generalmente aceptada es:

Reino	Plantae
Clase	Dicotyledoneas
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>esculentum</i>

III. Características botánicas

El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual, por su sensibilidad a las heladas, la planta puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta (Rick, 1978). Existen dos hábitos de crecimiento ampliamente conocidos en las plantas de tomate, que se denominan como indeterminado y determinado. El hábito indeterminado se usa para describir el tipo de crecimiento simpódico en donde una yema lateral está siempre disponible a continuar el desarrollo vegetativo.

El tomate de hábito determinado, desarrolla la primera inflorescencia y un nuevo punto de crecimiento en la forma normal; pero también hay una tendencia en las subsiguientes ramas laterales a terminar en una estructura floral, en donde no habrá desarrollo de un nuevo punto de crecimiento (León y Arosemena, 1980).

Raíz

El sistema radical del tomate está constituido por una raíz principal, pivotante que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Aunque el sistema radicular puede alcanzar hasta 61.5 m de profundidad, puede estimarse que un 75% del mismo se encuentra en los 45 cm superiores del terreno (Rodríguez et al, 1996).

Tallo

El tallo es erguido durante los primeros estadios de desarrollo, pero pronto se tuerce a consecuencia del peso. Puede llegar hasta más de 2.5 m de longitud dependiendo de la variedad. Su superficie es angulosa, provista de pelos agudos y glándulas que desprenden un líquido de aroma muy característico. En sección presenta una epidermis provista de estomas, una corteza formada por parénquima y tejido de sostén en forma de anillo continuo, un límite impreciso entre la corteza y el cilindro central; y los tejidos conductores dispuestos en un círculo de haces liberoleñosos (Rodríguez et al., 1996).

Hojas

Las hojas son grandes, compuestas, divididas, de diferentes tonos de color verde y de distinta forma, según la variedad. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos. En las axilas de las hojas se forman las yemas que producen tallos secundarios de importante desarrollo y capacidad productiva (León y Arosemena, 1980).

Inflorescencia

Las inflorescencias pueden ser racimos simples, bifurcados o ramificados. El tipo simple se presenta más frecuentemente en la parte baja de las plantas; los tipos ramificados se encuentran sólo en la parte inferior. El número de las flores es variable, y en el mismo racimo o corimbo a floración no es simultánea (Anderlini, 1978).

Cuando las inflorescencias se producen alternados con cada hoja o dos hojas se dice que la planta es de crecimiento determinado; si la alternancia es más espaciada la planta se dice que es de crecimiento indeterminado. Normalmente, entre las primeras predominan la precocidad y el porte bajo y las segundas son más tardías y de porte alto (Rodríguez *et al.*, 1996).

La flor

La flor del tomate es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos, de 5 o más pétalos dispuestos en 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 racimosos (Greyson y Sawhney, 1972).

Fruto

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopina y carotina, en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera dependiendo de la variedad y tipo, y su superficie lisa o asurcada, siendo el tamaño muy variable según las variedades (Rodríguez *et al.*, 1996).

El número de lóculos que contiene el fruto es variable, desde dos lóculos (bilocular), hasta tres o más lóculos (multilocular). Las variedades comerciales más explotadas son de tipo multilocular con un promedio de 4 a 6 lóculos (León y Arosemena, 1980). León y Arosemena (1980) mencionan que la composición del fruto de tomate en su estado de madurez de consumo contiene; 95.0% agua, 2.5% azúcares, 1.0% ácidos, 0.8% sales, 0.5% pigmentos, vitaminas y 0.2% sólidos insolubles (celulosa, pectina, etc.).

La semilla

La semilla del tomate tiene forma lenticular con unas dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituido por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión, cuyo desarrollo dará lugar a la planta adulta, está constituido, a su vez, por la yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. El 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 al embrión y el endospermo (Nuez *et al*, 1995).

IV. Requerimientos climáticos y edáficos

Temperatura

La temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta, como son la transpiración, fotosíntesis, germinación, etc., teniendo cada especie vegetal y en cada momento de su ciclo biológico una temperatura óptima (Rodríguez *et al.*, 1996). Los requerimientos de temperaturas se muestran en el (Cuadro 1).

Cuadro 2. Requerimientos de temperaturas para un desarrollo óptimo del cultivo de tomate (Morata, 1992).

Etapas fenológicas	Temperatura	Temperatura
	durante el día	durante la noche
Germinación	18 – 20	----
Crecimiento	18 – 20	15
Floración	22 – 25	13 – 17
Fructificación	25	18

Humedad

La humedad influye sobre el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de flores y desarrollo de enfermedades criptogámicas, siendo preferibles humedades medias no superiores al 50% (Rodríguez, 1996).

Agua

Los rendimientos están en función de la transpiración, necesitando de 250 a 275 L⁻¹ de agua para formar 1 kg de materia seca. Las necesidades hídricas, según ciclos y prácticas culturales, están comprendidas 3,000 a 6,000 m³. Ha (Valadez, 1998).

Suelo

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto al tipo de suelo, crece en las más variadas condiciones y, aunque prefiere los suelos profundos y con buen drenaje, su sistema radicular poco profundo le permite adaptarse a los suelos pobres y de poca profundidad. El pH ideal está entre 5.5 y 6.8 (Rodríguez *et al.*, 1996).

Salinidad

El tomate está clasificado como medianamente tolerante. Teniendo valores máximos de 6400 ppm (Valadez, 1998). Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego.

V. Funciones del Ca⁺⁺ en la planta

El Ca⁺⁺ desempeña papeles muy importantes como uno de los macro elementos necesarios para el crecimiento de las plantas. Hepler (2005) señaló que el Ca⁺⁺ participa en una gran cantidad de procesos y está involucrado en casi todos los aspectos del desarrollo de la planta, sin embargo, esto no significa que el Ca⁺⁺ siempre esté activamente involucrado. Los iones de Ca⁺⁺ son como un segundo mensajero en numerosas vías de señalización de las plantas, transportando amplia gama de estímulos ambientales y de desarrollo obteniendo las respuestas fisiológicas apropiadas (Leucorieux *et al.*, 2006).

Ho y White (2005) mostraron que el Ca⁺⁺ controla las células de expansión, influyendo en la incorporación a la membrana plasmática de vesículas que contienen los materiales y enzimas necesarias para la membrana celular y la construcción de la pared celular. Se utiliza para varios procesos, tales como el mantenimiento de la estructura celular de la planta, resistencia al estrés ambiental (salinidad, sequía, refrigeración, calor, etc.), y lo más importante, como un mensajero secundario en la señal de transducción en plantas (Buchanan y Engman, 2002, Chaney *et al.*, 2008; Chao *et al.*, 2009).

Por otro lado, en otros estudios se ha demostrado que el Ca⁺⁺, estabiliza la superficie de la membrana celular, prevenir la fuga de soluto del citoplasma, mantener la

fotosíntesis normal y regular el metabolismo hormonal de las plantas (Hirschi, 2004; Song y Roe, 2008).

Transporte de Ca⁺⁺ dentro de la planta

El Ca⁺⁺ se transporta a las plantas a través de la corriente de transpiración. Dado que el Ca⁺⁺ no es libremente movable en la planta, los períodos cortos de déficit de Ca⁺⁺ rápidamente afectan activamente (Kleemann, 1999, Olle y Bender, 2009). La mayor parte del Ca⁺⁺ en las plantas de tomate es transportado a las hojas en la corriente de transpiración y permanece allí (Olle y Bender, 2009). El Ca⁺⁺ sólo se mueve en el xilema, que se mueve unidireccionalmente desde raíces a brotes. En una fruta de tomate el floema suministra más del 90% del agua (Morard *et al.*, 2000). El Ca⁺⁺ es inmóvil en el floema, que es bidireccional, así que una vez que el Ca⁺⁺ está en una hoja o fruta no puede ser movilizado a otras partes de la planta incluso bajo estrés (Hanger, 1979). El Ca⁺⁺ se mueve apoplasticamente a través de la raíz para alcanzar el xilema y se transloca a varias partes de la planta (White, 2001).

Deficiencias de Ca⁺⁺ en el fruto y la planta

La deficiencia fisiológica de Ca⁺⁺ ha sido un problema para los productores de hortalizas comerciales por años. Si bien este trastorno probablemente siempre ha sido presente, se ha vuelto más severo en los últimos años, posiblemente porque las prácticas de producción más intensivas han sido usadas (Olle y Bender, 2009).

La deficiencia de Ca⁺⁺ suele estar relacionada con la incapacidad de una planta para trasladarlo hacia las partes afectadas, en lugar de ser debido a niveles insuficientes de Ca⁺⁺ en el suelo (Olle y Bender, 2009).

Varias condiciones influyen en la absorción de Ca⁺⁺ por las plantas, como la humedad, el contenido de sales, la temperatura, el contenido de este mismo, el equilibrio de

cación/anión y una tasa inadecuada de la producción de raíces- De igual manera influyen otros factores como la temperatura del aire, la concentración de CO₂, el fotoperiodo, el nivel de radiación y la humedad relativa (HR) (Olle y Bender, 2009).

Las frutas son órganos de transpiración baja, que pueden ser una razón de su bajo contenido de Ca⁺⁺. La mayor parte del Ca⁺⁺ en plantas de tomate se transporta a las hojas de la transpiración y permanece allí, teniendo como consecuencia una falta de Ca⁺⁺ en el fruto por su poca transpiración, provocando así, la podredumbre apical o Blossom End Rot (BER). (Olle y Bender, 2009).

Factores de absorción de Ca⁺⁺

Las plantas obtienen Ca⁺⁺ principalmente de la solución del suelo, a través del sistema de la raíz (White, 2001). La absorción de calcio por la raíz es ampliamente considerada como un proceso pasivo a lo largo del gradiente electroquímico, acoplado a la absorción o transpiración de agua durante el día y la presión de la raíz durante la noche (Morard *et al.*, 2000).

La actividad de la raíz en la obtención de Ca⁺⁺ es indirectamente relacionado con la asimilación de carbono en la regulación simultánea de los flujos de agua y carbono a través de estomas (Keiser y Mullen, 1993). Cualquier factor que inhiba el crecimiento de las raíces, como la temperatura, la aireación inadecuada, el mal estado de nutrientes, o la alta concentración de iones H⁺, pueden restringir la captación de Ca⁺⁺ y por lo tanto afectar su translocación debido a la ausencia de células jóvenes de la punta de la raíz. La absorción de Ca⁺⁺ es estimulado por altos niveles de NO₃⁻ (nitrato) y deprimidos por altos niveles de NH₄⁺ (amonio), K⁺ (potasio) o Mg⁺⁺ (magnesio) (Kirkby, 1979).

Antagonismo K⁺/Ca⁺⁺

La concentración de Ca⁺⁺ en el suelo es generalmente alrededor de 10 veces más que la de K⁺, pero la absorción es generalmente más baja y menor eficiente para el Ca⁺⁺ (Kirby y Pilbeam, 1984). El Ca⁺⁺ es un ion divalente y cuando los iones aumentan en valencia, disminuye su absorción (Marschner, 1986). Las altas concentraciones de K⁺, Na⁺, y NH₄⁺ (iones monovalentes) en los suelos pueden tener un efecto adverso en la absorción del Ca⁺⁺ (Mengel y Kirby, 1989).

VI. Funciones del K⁺ en la planta

El potasio K⁺ es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y se clasifica como macronutriente debido a que grandes cantidades de K⁺ son absorbidos por las plantas durante su ciclo de vida (Kaiser *et al.*, 2016). A nivel mundial, las partes anuales de los cultivos (fitomasa) contiene 60 millones de toneladas de potasio (Romheld y Kirkby, 2010). Está asociado con el transporte de agua, nutrientes y carbohidratos en el tejido vegetal, además de estar involucrado en la activación enzimática dentro de las plantas que afectan la producción de proteínas, almidón y ATP; también se encarga de la regulación de la apertura y cierre estomático, regulando el intercambio de vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono. De igual manera, está relacionada con otras funciones, como lo son: el mantenimiento de la turgencia, favorece la fotosíntesis y formación de alimentos, previene pérdida de energía a la planta, construye celulosa, ayuda a retardar las enfermedades de los cultivos y mejora la translocación de azúcares y almidón (Kaiser *et al.*, 2016).

Transporte de K⁺ dentro de la planta

El K⁺ es absorbido como ion K⁺ y se encuentra en los suelos en cantidades variables, el fertilizante potásico es añadido a los suelos en forma de sales solubles, tales como KI (yoduro potásico), K₂SO₄ (sulfato potásico), KNO₃ (nitrato potásico) y MgSO₄ (sulfato potásico magnésico) (Tisdale y Nelson, 1982). El K⁺ es móvil en las plantas y se moverá de las hojas inferiores a las superiores, es transportado vía simplasto a través de la raíz por medio de los plasmodesmos a las células del parénquima, donde se carga en el xilema (Kochian y Lucas, 1988). El K⁺ requerido por las plantas es transportado hasta la raíz por tres mecanismos: contacto, flujo de masas y difusión (Barber, 1964). Se calcula que menos del 10% del requerimiento de este nutriente es absorbido por intercambio con la micelia coloidal (contacto). El flujo de masas solo aporta una parte que depende de la concentración de K⁺ y del agua transpirada por la planta. La mayor parte del K⁺ se absorbe por difusión; el gradiente de concentración que es generado por la raíz en la solución del suelo (Vidal, 2003).

Deficiencias del K⁺ en el fruto y las plantas

La deficiencia de K⁺ es un problema nutricional importante afectando la producción y calidad de los cultivos. Las plantas que presentan deficiencia de este ion son muy sensibles a la alta intensidad de luz, convirtiéndose rápidamente clorótico y necrótico (Cakmak, 2005). Otro de los síntomas más comunes de la carencia de K⁺ en la planta, se presenta con un marchitamiento o quemado en los márgenes en las hojas, así como enrollamiento de las hojas hacia arriba. Para el caso del fruto de tomate se presenta una maduración irregular. En muchas ocasiones se presentan acames por la carencia de este nutrimento ocasionado por un sistema radicular deficiente, con los tallos muy

débiles; en los frutos y semillas son pequeños o deformes y la planta presenta una baja resistencia a enfermedades (Vidal, 2003).

Interacción del K⁺ con otros nutrimentos

El K⁺ puede interactuar con otros nutrimentos en forma negativa teniendo repercusiones en la nutrición vegetal.

- K⁺/Ca⁺⁺. - Los excesos de K⁺ reducen la absorción de Ca⁺⁺, mientras que por el contrario el Ca⁺⁺ favorece la absorción de K⁺ (Havlin, 1999).
- K⁺/Mg⁺⁺. - Existe un antagonismo similar al encontrado entre K⁺/Ca⁺⁺ (Havlin, 1999).
- K⁺/B⁺⁺⁺ (boro). - La interacción es limitada en el suelo, pero fuertes adiciones de K⁺ incrementan la deficiencia de B⁺⁺⁺, sin embargo, si hay suficiente B⁺⁺⁺ en el suelo este antagonismo no ocurre. (Núñez, 1961).
- K⁺/Na⁺ (sodio). - El Na⁺ puede sustituir parcialmente al K⁺ en algunas plantas, especialmente si el K⁺ está en concentraciones menores al óptimo (Havlin, 1999).

Por lo tanto, los excesos de K⁺ pueden inducir una deficiencia de Mg⁺⁺ o Ca⁺⁺ y en algunos casos, Mn⁺ (manganeso), Zn⁺ (zinc) o Fe⁺⁺ (hierro).

Fuentes de K⁺ y Ca⁺⁺

Hay una cantidad limitada de materiales fertilizantes que se pueden usar para suministrar K⁺ y Ca⁺⁺ cuando sea necesario.

Cuadro 2. Fuentes de fertilizantes a base de K⁺ y Ca⁺⁺.

Fertilizante	Fórmula química	% K₂O y/o Ca⁺⁺
<i>Clorura de potasio</i>	KCl	60-62
<i>Sulfato de potasio</i>	K ₂ SO ₄	50
<i>Nitrato de potasio</i>	KNO ₃	44
<i>Tiosulfato de potasio</i>	K ₂ S ₂ O ₃	17
<i>Sulfato de potasio y magnesio</i>	K ₂ SO ₄ + 2MgSO ₄	20
<i>Nitrato de calcio</i>	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	19
<i>Cloruro de calcio</i>	CaCl ₂	36

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y localización

El presente trabajo experimental se llevó a cabo en el invernadero 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.

Material experimental

El material vegetal utilizado en el experimento fue semilla de tomate del híbrido Clermon de tipo bola indeterminado y de racimo, de la casa comercial Syngenta Seed, presenta racimos con cuatro a cinco frutos de excelente rendimiento, forma redonda, firmes, color rojo profundo, buen sabor y con un peso promedio de 140 g las cuales se sembraron el 18 de marzo de 2016 en charolas de 200 cavidades; posteriormente se trasplantaron el 26 de abril del 2016 en contenedores de polietileno negro con capacidad de 10 litros, utilizándose como sustrato turba ácida y perlita en proporciones de 70%:30% v/v respectivamente, teniendo una densidad de plantación de 3.1 plantas/m².

Descripción de tratamientos

Se evaluaron 9 SN como tratamientos con diferentes niveles de K⁺ y Ca⁺⁺ (Cuadro 4), con 4 repeticiones, constituidas por 2 plantas cada una de ellas. Se establecieron 240 plantas, de las cuales se dividieron en tres etapas, cada etapa fue conformada de 80 plantas cada una. Para la etapa 1 se evaluaron las SN del racimo 1 al 5, de la etapa 2 del racimo 6 al 10 y de la etapa 3 del racimo 11 al 15.

Para la aplicación de los tratamientos, se realizó un programa de aplicación de acuerdo a las 3 etapas, tomando en cuenta el racimo de fructificación que se describen a continuación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Forma de aplicación de tratamientos de acuerdo a los racimos de fructificación.

Etapas	Racimos de fructificación	Aplicación de:
1	1-5	Tratamientos
	6-10	Steiner
	11-15	Steiner
2	1-5	Steiner
	6-10	Tratamientos
	11-15	Steiner
3	1-5	Steiner
	6-10	Steiner
	11-15	Tratamientos

Cuadro 4. Descripción de SN (tratamientos) estudiadas con diferentes niveles de K⁺ y Ca⁺⁺.

Tratamiento	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
meq L ⁻¹						
T1	14	2	8	7	4	9
T2	14	2	8	7	4	11
T3	14	2	8	7	4	13
T4	14	2	8	9	4	9
T5	14	2	8	9	4	11
T6	14	2	9.5	9	4	13
T7	14	2	8	11	4	9
T8	14	2	9.5	11	4	11
T9	14	2	12.5	11	4	13

Los cálculos de las soluciones nutritivas se realizaron a través de una matriz de doble entrada, basándose en un análisis de agua, considerando los nutrimentos presentes en esta última para el cálculo de las mismas. Los fertilizantes utilizados para llevar a cabo el experimento, fueron los más comunes en el mercado, solubles y los más accesibles de la región donde se estableció dicho experimento.

Los nutrimentos requeridos en las soluciones nutritivas, fueron suplementados por los fertilizantes comerciales. Para Ca^{++} se utilizó la fuente de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (nitrato de calcio heptahidratado), para suplir K^+ se utilizaron las fuentes de KNO_3 , (nitrato de potasio), K_2SO_4 (sulfato de potasio) y en ciertos tratamientos se utilizó KCl (cloruro de potasio) para P^- se utilizó la fuente de H_3PO_4 (ácido fosfórico), el Mg^{++} fue suministrado por las fuentes de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de magnesio heptahidratado) y $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (nitrato de magnesio hexahidratado) y para las fuentes de N^+ (nitrógeno) se suplieron con las fuentes de NO_3 anteriormente y para ciertas soluciones se utilizó NH_4NO_3 (nitrato de amonio) en pequeñas cantidades para complementar la suma de cationes y aniones en la matriz de doble entrada y equilibrar las soluciones nutritivas. Para suplementar los microelementos, se utilizaron complejos quelatados de la marca Ultrasol, el cual contenía todos los microelementos requeridos por la planta.

El pH de las soluciones nutritivas, se ajustó en un rango de 5.5 a 6.3 con H_2SO_4 (ácido sulfúrico), HNO_3 (ácido nítrico) y H_3PO_4 (ácido fosfórico), esto con el fin de poner en disponibilidad los nutrimentos para la planta, este factor químico se monitoreó durante la aplicación de cada riego y durante las preparaciones de las soluciones. De igual manera se manejó la conductividad eléctrica (CE) para cada solución antes de cada riego y después de la preparación de las soluciones nutritivas, manejando una

conductividad eléctrica entre de 2.0 – 3.0 dS m⁻¹ en cada una de las soluciones nutritivas.

Los riegos se efectuaron a través de un sistema de riego por goteo con un gasto de 4 L h⁻¹, de acuerdo a las necesidades hídricas de las plantas, se les suministró el volumen suficiente con el fin de tener una fracción de lixiviado del 25% del volumen total de solución que se le aplicó a cada una de las plantas.

Manejo del experimento

Podas

Las podas del cultivo se realizaron con forme la planta crecía, dejando un promedio de 13 hojas fotosintéticamente activas, esto con la finalidad de equilibrar a la planta en cuestiones vegetativas y productivas, los chupones (brotes) fueron podados de los nudos cuando estos no alcanzaban un tamaño mayor a los 5 cm; de igual manera se realizaron podas de flores, esto se realizó dejando 6 flores a cada racimo, posteriormente cuando todas estuviesen polinizados, se procedía a eliminar la sexta flor, con el objetivo de dejar 5 frutos por racimo y obtener un buen crecimiento en los frutos.

Amarre de racimos

Los frutos conforme crecían, se presentaban problemas de desgarre o desprendimiento de los racimos del tallo principal por el peso de los frutos, ante este problema, se tomaron medidas para eliminar esta problemática, por lo que se procedió amarrar los racimos con rafia al tallo, esto para que el tallo principal ejerza una función de sostén de los racimos y evitar el desagarre de los mismos.

Tutoreo

El tutoreo utilizado en las plantas fue el tipo holandés esto por las características del híbrido, por su crecimiento indeterminado, lo que permitió un mejor manejo guiando a las plantas, de igual manera facilitó el bajado de las plantas cuando estas alcanzaban una considerable altura.

Cosecha

La cosecha se inició a los 77 días después de ser trasplantados (DDT), para cada corte se tomaron los pesos de los frutos de cada planta y se anotaron en la bitácora, posteriormente cada semana se realizaban los cortes a los frutos que presentaban mayor madurez y de igual manera se tomaron registro del peso de los mismos.

Variables evaluadas

Se evaluaron 7 variables, de las cuales 5 son variables agronómicas y 2 variables de calidad, a continuación, se describen las variables (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variables evaluadas del cultivo de tomate de tipo bola en condiciones de invernadero.

Variables	Descripción de actividades
Peso fresco de raíz, tallo y hoja.	<p>Estas variables se determinaron con muestreos destructivos, para determinar su peso fresco.</p> <p>Para el caso de la raíz, se procedió a retirar el sustrato con sumo cuidado, posteriormente se lavó con agua para quitar los residuos y finalmente se le dio un lavado con agua destilada.</p> <p>Para el caso del tallo se seccionaban en aproximadamente 8 cm de longitud.</p> <p>Para el caso de las hojas, se determinó conforme todo el ciclo de desarrollo de las plantas y de acuerdo a las etapas.</p> <p>Estas actividades se realizaron para las 3 etapas de fructificación.</p> <p>Estos órganos se pesaron en una báscula registrando así el total en peso fresco por etapas.</p>
Altura de planta	<p>Esta variable se determinó al final del ciclo de cada etapa, se quitaba por completo y se dejaba únicamente el tallo, con ayuda de una cinta métrica se determinó la altura de cada planta y se anotó en la bitácora.</p>
Rendimiento	<p>Esta variable se determinó a través de la suma total de todos los pesos obtenidos con la balanza de los frutos de cada planta.</p>
Grados Brix	<p>Esta variable se obtuvo de dos frutos del racimo 5 para la etapa 1, del racimo 10 de la etapa 2 y del racimo 15 de la etapa 3, de las dos frutos se determinó los grados Brix con un refractómetro y se sacó un promedio para cada etapa, registrándose en la bitácora.</p>
Firmeza	<p>Esta variable se determinó de los mismos frutos utilizados para determinar grados Brix, utilizando la misma metodología pero con el penetrómetro con una puntilla de 8 mm.</p>

Diseño experimental

El proyecto se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 3 donde los factores fueron los niveles de Ca⁺⁺ (9,11 y 13 meq L⁻¹) y K⁺ (7, 9 y 11 meq L⁻¹), con Tres segmentos de fructificación (racimo 1-5; racimos 6-10 y racimo 10-15). Cada tratamiento constó de 4 repeticiones y a su vez éstas con dos plantas.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA) con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) procesado en el paquete estadístico SAS versión 9.0.

IV. RESULTADOS

Variables Agronómicas

Peso fresco de raíz

En la etapa 1 no hubo un efecto significativo con los factores de Ca^{++} y K^+ ; sin embargo, la interacción $\text{K}^+/\text{Ca}^{++}$ si afectó significativamente esta variable. En la etapa 2 no se presentó una diferencia significativa para los factores, de igual manera para la interacción $\text{K}^+/\text{Ca}^{++}$ no hubo una diferencia significativa, mientras que en la etapa 3 la interacción no presentó diferencia significativa, pero los factores K^+ y Ca^{++} si afectaron significativamente esta variable (Cuadro 6).

En cuanto a la interacción $\text{K}^+/\text{Ca}^{++}$ en el Peso Fresco de Raíz (PFR), la Figura 1 muestra que con 9 meq L^{-1} de Ca^{++} hay un aumento en el PFR 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 PFR, 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^+ .

En la etapa 3, un aumento en la concentración de K^+ en la solución nutritiva (Cuadro 6), estuvo reflejada con una disminución del peso fresco de raíz, mientras que al aumentar la concentración de Ca^{++} estuvo asociada inicialmente con una disminución del PFR, para posteriormente recuperarse con 13 meq L^{-1} .

Cuadro 6. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^+ y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en el peso fresco de raíz (g) en el cultivo de tomate.

$Meq L^{-1}$	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
K^+			
7	40.596 A	38.825 A	52.746 A
9	37.446 A	40.867 A	44.854 B
11	46.508 A	37.721 A	40.349 B
Ca^{++}			
9	47.233 A	39.200 A	49.375 A
11	39.542 A	38.825 A	38.004 B
13	37.775 A	39.388 A	51.170 A
Significancia			
K^+	0.2418	0.7133	0.0147*
Ca^{++}	0.1869	0.989	0.0037*
K^+/Ca^{++}	0.0759*	0.5205	0.1115

* = Significativo

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

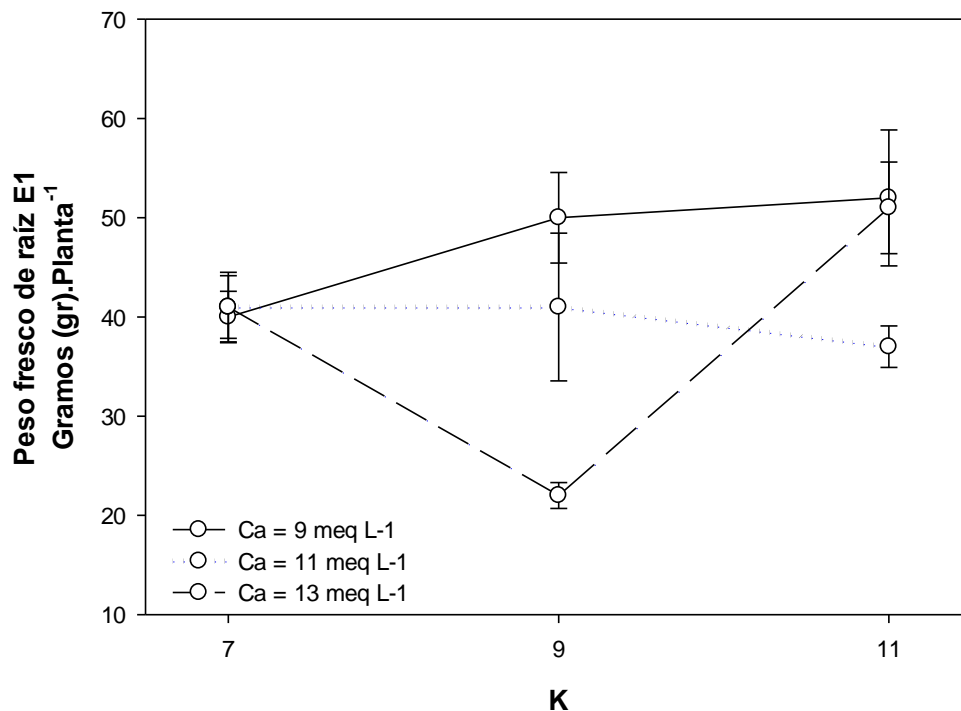


Figura 1. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el Peso fresco de raíz en la etapa 1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

Peso fresco del tallo

En la etapa 1, el factor K^+ afectó significativamente el peso fresco del tallo (PFT), mientras que el factor Ca^{++} no afectó significativamente esta variable (Cuadro 7), de igual manera para la interacción K^+/Ca^{++} presentó un efecto significativo en el PFT. En la etapa 2 y 3 los factores no presentaron efectos significativos en esta variable, de igual manera para la interacción del K^+/Ca^{++} no generó efectos significativos sobre el PFT.

Cuadro 7. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^+ y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en el peso fresco del tallo (g) en el cultivo de tomate.

<i>Meq L⁻¹</i>	<i>Etapa 1</i>	<i>Etapa 2</i>	<i>Etapa 3</i>
<i>K⁺</i>			
7	532.22 AB	554.58 A	637.18 A
9	512.38 B	568.05 A	616.41 A
11	561.18 A	578.77 A	607.78 A
<i>Ca⁺⁺</i>			
9	545.68 A	555.58 A	639.29 A
11	519.28 A	575.63 A	604.31 A
13	540.81 A	570.19 A	617.76 A
<i>Significancia</i>			
<i>K⁺</i>	0.0414*	0.3626	0.2541
<i>Ca⁺⁺</i>	0.3204	0.4716	0.1601
<i>K⁺/Ca⁺⁺</i>	0.0122*	0.6106	0.9691

* = Significativo

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

En la interacción del K^+/Ca^{++} en el PFT en la etapa 1, la Figura 2 muestra que con 9 meq L^{-1} de Ca^{++} con la concentración inicial de K^{++} en la solución nutritiva genera menor PFT, en contraste con los 11 y 13 meq L^{-1} de Ca^{++} que se comportaron de manera similar, generan un aumento considerable en esta variable, que posteriormente tienden a bajar, cuando se aumenta la concentración de K^+ en la

solución a 9 meq L⁻¹, para posteriormente recuperarse lentamente cuando se aumenta la concentración de K⁺ a 11 meq L⁻¹ en la solución.

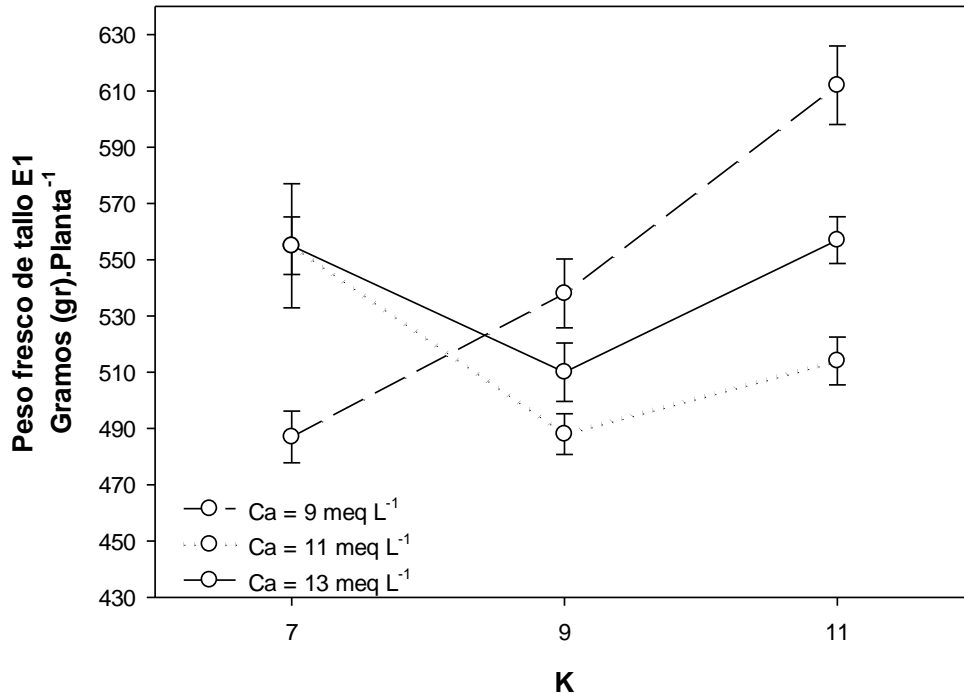


Figura 2. Efecto de la interacción K⁺/Ca⁺⁺ en el peso fresco del tallo en la etapa 1, en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

Peso fresco de hoja

En las etapas 1 y 2, al realizar el análisis estadístico, no se presentó diferencias significativas para los factores K⁺ y Ca⁺⁺ (Cuadro 8), de igual manera para la interacción K⁺/Ca⁺⁺ en el peso fresco en hojas (PFH), mientras que en la etapa 3 el factor K⁺ influyó significativamente en esta variable; cuando la solución nutritiva tenía la concentración inicial de 7 meq L⁻¹ de K⁺, estuvo reflejada en un aumento de peso en las hojas, sin embargo, al aumentar la concentración de K⁺ en la solución nutritiva se observa una disminución significativa en el peso fresco de las hojas.

Cuadro 8. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K⁺ y Ca⁺⁺ en las diferentes soluciones nutritivas en el peso fresco de hojas (g) en el cultivo de tomate.

<i>Meq L⁻¹</i>	<i>Etapa 1</i>	<i>Etapa 2</i>	<i>Etapa 3</i>
<i>K⁺</i>			
7	1338.48 A	1668.93 A	2085.90 A
9	1295.44 A	1701.10 A	1966.63 AB
11	1378.60 A	1719.65 A	1910.44 B
<i>Ca⁺⁺</i>			
9	1335.27 A	1651.88 A	2047.82 A
11	1325.27 A	1733.25 A	1917.78 A
13	1351.54 A	1704.55 A	1997.38 A
<i>Significancia</i>			
<i>K⁺</i>	0.4383	0.7275	0.0402*
<i>C⁺⁺</i>	0.9175	0.4467	0.609
<i>K⁺/Ca⁺⁺</i>	0.3175	0.9922	0.2377

* = Significativo

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

Altura de planta

Para esta variable, en las tres etapas en las que se dividió el experimento y al analizar los datos en el programa estadístico, no se presentaron diferencias significativas en ninguna de las 3 etapas (Cuadro 8), por el cual el crecimiento de la planta se comportó similar en cada una de las etapas sin importar la concentración de Ca⁺⁺ y K⁺ en las soluciones nutritivas.

Cuadro 9. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K⁺ y Ca⁺⁺ en las diferentes soluciones nutritivas en la altura de planta (cm) en el cultivo de tomate.

Meq L ⁻¹	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
<i>K⁺</i>	<i>Altura</i>	<i>Altura</i>	<i>Altura</i>
7	178.542 A	287.063 A	393.146 A
9	174.554 A	288.771 A	390.813 A
11	175.313 A	290.083 A	392.613 A
<i>Ca⁺⁺</i>			
9	171.850 A	287.729 A	393.425 A
11	182.875 A	286.875 A	391.750 A
13	173.683 A	291.313 A	391.396 A
<i>Significancia</i>			
<i>K⁺</i>	0.9004	0.639	0.8746
<i>Ca⁺⁺</i>	0.4522	0.3483	0.8999
<i>K⁺/Ca⁺⁺</i>	0.6108	0.1587	0.44

* = Significativo

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

RENDIMIENTO POR HECTÁREA

Rendimiento Etapa 1

En la etapa 1, no se presentó efecto significativo de los factores K⁺ y Ca⁺⁺ (Cuadro 10), sin embargo, la interacción de estos factores repercutió significativamente en el rendimiento.

En la interacción K⁺/Ca⁺⁺ en el rendimiento en la etapa 1, la Figura 3 muestra que con 11 meq L⁻¹ de Ca⁺⁺ con la concentración inicial de 7 meq L⁻¹ de K⁺ se obtiene el mejor rendimiento, a diferencia cuando se usan 9 meq L⁻¹ Ca⁺⁺ con la concentración inicial de K⁺ se genera el menor rendimiento, sin embargo, conforme se aumenta la concentración de K⁺ en la solución nutritiva esta tiende a recuperarse de forma lineal, totalmente contrario al utilizar 11 meq L⁻¹ de Ca⁺⁺, ya que al aumentar la concentración de K⁺ a 9 meq L⁻¹ se observa una disminución en el rendimiento para posteriormente recuperarse al utilizar 11 meq L⁻¹ de K⁺ en la solución nutritiva.

Cuando la solución nutritiva contenía 13 meq L⁻¹ de Ca⁺⁺, no se presentó ningún efecto de la concentración de k⁺.

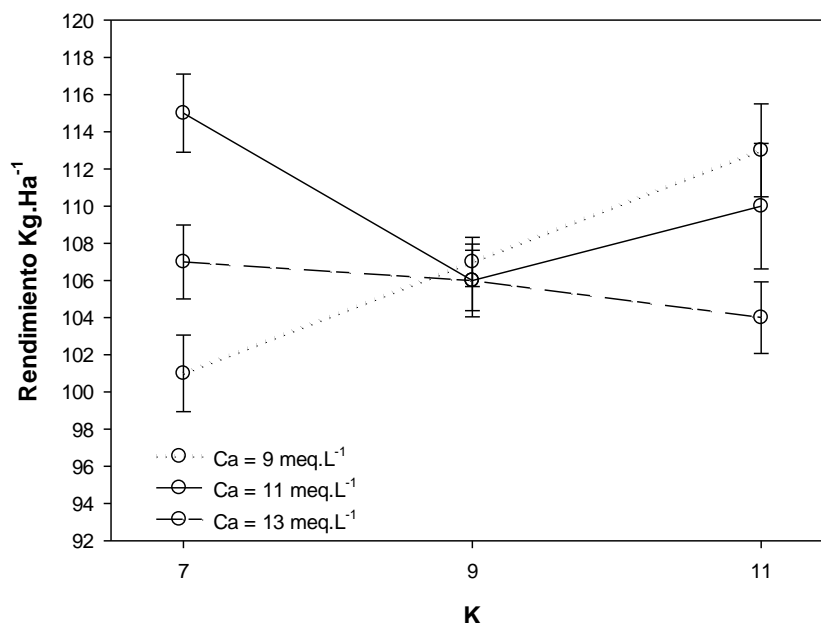


Figura 3. Efecto de la interacción K⁺/Ca⁺⁺ en el rendimiento por hectárea en la etapa 1 del cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

Cuadro 10. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K⁺ y Ca⁺⁺ en las diferentes soluciones nutritivas en el rendimiento (ton ha⁻¹) en el cultivo de tomate.

Meq L ⁻¹	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Total
<i>K⁺</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Rendimiento</i>
7	107.729 A	79.719 B	48.321 A	235.768 A
9	106.319 A	85.542 A	47.395 A	239.254 A
11	109.312 A	82.727 AB	45.304 A	237.341 A
<i>Ca⁺⁺</i>				
9	107.155 A	84.332 A	48.513 A	239.999 A
11	110.296 A	81.667 A	45.362 A	237.323 A
13	105.909 A	81.988 A	47.145 A	235.041 A
<i>Significancia</i>				
<i>K⁺</i>	0.4894	0.1128	0.2349	0.7275
<i>Ca⁺⁺</i>	0.2079	0.5582	0.2207	0.5301
<i>K⁺/Ca⁺⁺</i>	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).

Rendimiento Etapa 2

En la etapa 2 la interacción fue significativa, mientras que los factores K^+ y Ca^{++} no afectaron significativamente esta variable. Para la interacción K^+/Ca^{++} en la variable rendimiento por hectárea de la etapa 2, la Figura 4 muestra que con 13 meq L^{-1} de Ca^{++} al aumentar la concentración de K^+ a 9 meq L^{-1} hay un aumento considerable en el rendimiento, mismo que suele bajar al aumentar la concentración de K^+ a 11 meq L^{-1} en la solución nutritiva. A diferencia, con 9 meq L^{-1} de Ca^{++} se presenta un aumento progresivo en el rendimiento conforme se aumenta la concentración de K^+ en la solución nutritiva.

El rendimiento obtenido con la solución nutritiva con 11 meq L^{-1} de Ca^{++} , se comportó similarmente con el rendimiento obtenido con la solución de 13 meq L^{-1} de Ca^{++} , ambas líneas graficas tienden a aumentar cuando se aumenta la concentración de K^+ a 9 meq L^{-1} para posteriormente descender conforme se aumenta la concentración de K^+ en la SN.

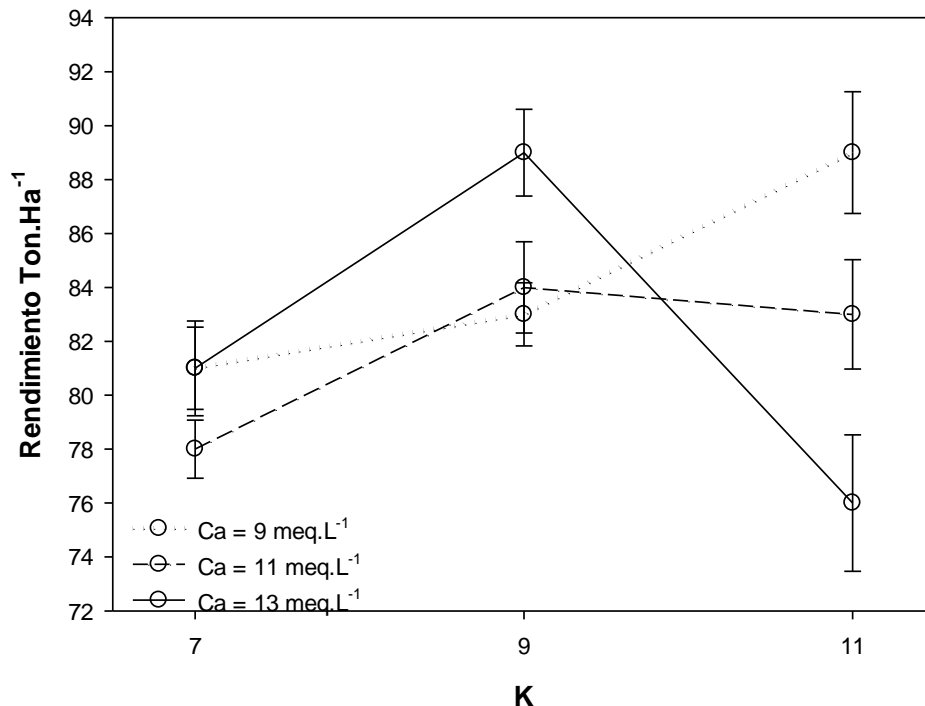


Figura 4. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el rendimiento por hectárea en la etapa 2 del cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

Rendimiento etapa 3

En la etapa 3, no se presentó efecto significativo de los factores K^+ y Ca^{++} , sin embargo, la interacción de estos factores repercutió significativamente en el rendimiento.

La Figura 5 muestra que con 11 meq L⁻¹ de Ca^{++} al aumentar la concentración de K^+ a 9 meq L⁻¹ el rendimiento aumenta considerablemente, sin embargo, conforme se aumenta el K^+ en la SN el rendimiento baja considerablemente. En contraste, con 9 meq L⁻¹ de Ca^{++} , al aumentar la concentración de potasio inicial a esto se observa una disminución en el rendimiento, para posteriormente recuperarse considerablemente con 11 meq L⁻¹ de K^+ . Mientras tanto, cuando la solución nutritiva contenía 13 meq L⁻¹ de Ca^{++} no se presentó un efecto favorable para esta variable.

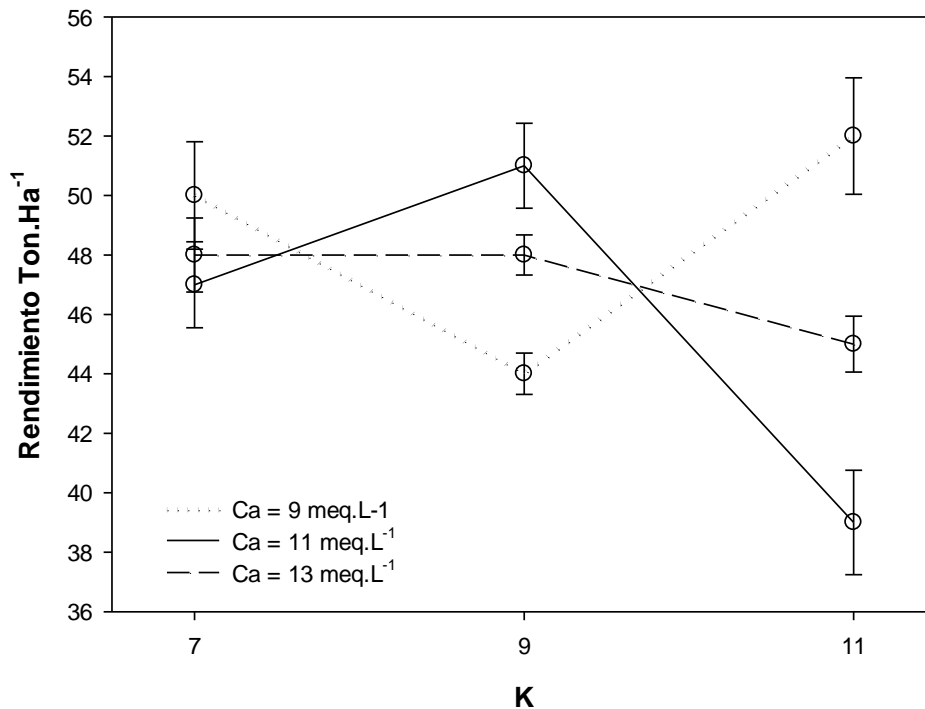


Figura 5. Efecto de la interacción K^+/Ca^{++} en el rendimiento por hectárea en la etapa 3 del cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

Rendimiento Total

Al realizar el análisis estadístico para el rendimiento total, no se presentó diferencia significativa para cada uno de los factores, sin embargo, la interacción K^+/Ca^{++} si afectó significativamente esta variable.

En la Figura 6 muestra el efecto de la interacción K^+/Ca^{++} , sugiriendo que con 9 meq L^{-1} de Ca^{++} al aumentar la concentración inicial de K^+ en la solución nutritiva se genera un aumento considerable en esta variable, de igual manera se observa un crecimiento progresivo en el rendimiento total conforme se aumenta la concentración de K^+ en la solución nutritiva.

Cuando la solución nutritiva tenía 13 meq L⁻¹ de Ca⁺⁺ al aumentar la concentración de K⁺ a 9 meq L⁻¹, se observa un pequeño aumento en el rendimiento total, para posteriormente descender drásticamente al elevar la concentración de K⁺ a 11 meq L⁻¹ en la solución nutritiva, de la misma manera se comportó la solución que tenía 11 meq L⁻¹ de Ca⁺⁺ siguiendo la misma tendencia a la solución de 13 meq L⁻¹.

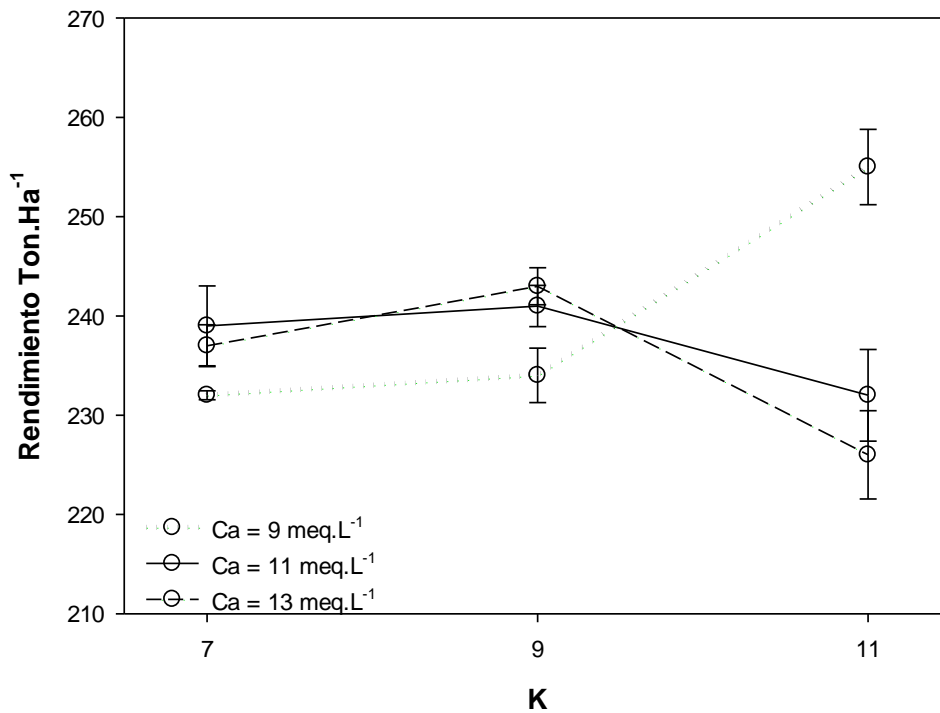


Figura 6. Efecto de la interacción K⁺/Ca⁺⁺ en el rendimiento total por hectárea en el cultivo de tomate cv. Clermon bajo invernadero. Las barras indican el error estándar de la media.

VARIABLES DE CALIDAD

Firmeza

Para esta variable, en las tres etapas en las que se dividió el experimento no se presentaron diferencias significativas en ninguna de las 3 etapas (Cuadro 11), por el cual la firmeza del fruto se comportó similar en cada una de las etapas sin importar la concentración de K^+ y Ca^{++} en las soluciones nutritivas.

Cuadro 11. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K^+ y Ca^{++} en las diferentes soluciones nutritivas en la firmeza ($kg\ cm^2$) del fruto en el cultivo de tomate.

Meq L ⁻¹	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
<i>K⁺</i>	<i>Firmeza</i>	<i>Firmeza</i>	<i>Firmeza</i>
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
<i>Ca⁺⁺</i>			
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
<i>Significancia</i>			
<i>K⁺</i>	0.8801	0.3425	0.6966
<i>Ca⁺⁺</i>	0.7705	0.5901	0.2481
<i>K⁺/Ca⁺⁺</i>	0.2453	0.7889	0.9113

* = Significativo

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

Grados Brix

Para esta variable, no se presentó diferencia significativa en ninguno de los factores K^+ y Ca^{++} (Cuadro 12), de igual manera para la interacción de estos, por el cual, en las tres etapas, los grados Brix se comportaron de manera similar, sin importar la concentración de estos cationes en las soluciones nutritivas.

Cuadro 12. Efecto de la concentración de diferentes niveles de K⁺ y Ca⁺⁺ en las diferentes soluciones nutritivas en el contenido de grados Brix en el cultivo de tomate.

Meq L ⁻¹	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
<i>K⁺</i>	Grados Brix	Grados Brix	Grados Brix
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
<i>Ca⁺⁺</i>			
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
<i>Significancia</i>			
<i>K⁺</i>	0.3232	0.4425	0.9985
<i>Ca⁺⁺</i>	0.5177	0.1613	0.3883
<i>K⁺ /Ca⁺⁺</i>	0.5849	0.4105	0.8403

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

V. DISCUSIÓN

El crecimiento de la raíz, así como del tallo fue afectado solamente durante la etapa 1 de fructificación; en general, las plantas nutridas con 9 meq de Ca^{++} y con 9 y 11 meq de K^+ fueron las que mostraron una mejor respuesta. Esto puede deberse a que el K^+ es un nutrimento que está relacionado con el crecimiento de las raíces, por lo que al aumentar los niveles de este nutrimento se pudo haber promovido el desarrollo de este órgano. El K^+ juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, tiene un papel en la expansión celular, promoviendo la división celular, además de mantener la presión de turgencia de las plantas y ayudar en la osmoregulación de las células (Hawkesford *et al.*, 2012). Es bien sabido que el potasio es el principal soluto requerido en las vacuolas para generar la elongación celular, debido a que aumenta el potencial osmótico, favoreciendo la entrada de agua. Por lo tanto, el K^+ es un nutrimento fundamental para la elongación celular, principalmente para el crecimiento de las raíces (INTAGRI, 2017). Los resultados observados pueden ser debido a que al elevar la concentración de K^+ en las soluciones nutritivas y mantener las plantas bien irrigadas, se asoció con una mayor turgencia y expansión celular en raíces y tallos, activando el mecanismo de división celular, teniendo como consecuencia plantas con mayor peso fresco de raíces y tallos. Sin embargo, en las etapas de fructificación posteriores no hubo efecto de los tratamientos, lo que puede deberse a que la planta realizó un ajuste en la asimilación de los nutrimentos.

En el peso fresco de las hojas, únicamente fue afectada en plantas nutridas con la solución de 7 meq de K^+ durante la etapa 3 de fructificación, posteriormente cuando se aumentó la concentración de este nutrimento el peso fresco de hojas no se vio afectado, esto puede deberse a un desequilibrio nutrimental entre el K^+ y los elementos

que forman a la clorofila, (1 molécula de Mg^{++} y 4 moléculas de N^+), esta estructura es la parte más importante para la planta, ya que a través de ella se realiza el proceso fotosintético para producir los ATP'S que las plantas necesitan para producir carbohidratos. Esto coincide con los resultados reportados por Marschner en (1986) quien menciona que al aumentar la concentración de K^+ en la solución nutritiva, disminuye la concentración de Mg^{++} en la parte aérea de la planta, siendo trasladado gran parte de este nutrimento al fruto, provocando una disminución en la producción de carbohidratos y generando menor cantidad de biomasa en los cultivos. Además, el K^+ y Ca^{++} son cationes que compiten entre sí para ser absorbidos por las plantas (Hawkeford *et al.*, 2012).

En el rendimiento de fruto, se presentó diferencia significativa en la interacción $K^+ : Ca^{++}$ para las tres etapas de fructificación y en el rendimiento total, en donde las plantas nutridas con 9 meq de Ca^{++} y 11 meq de K^+ fueron las que respondieron con mejores resultados; estos resultados coinciden con los resultados reportados por Rubio *et al.*, (2010) quien menciona que durante la etapa de la expansión celular del fruto en el cultivo de pimiento, el K^+ participa de manera importante en el transporte de la savia hacia el fruto y esto depende en gran medida de la turgencia del floema, generado principalmente por agua provocando el llenado de frutos.

En la etapa 1 de fructificación, la solución con 7 meq de K^+ y 11 meq de Ca^{++} fue la que proporcionó el mayor rendimiento, mientras que para la etapa 2 el mejor balance fue el de 9 meq de K^+ y 13 meq de Ca^{++} . Esto sugiere que durante la estación en que se desarrollaron los frutos de la primera etapa, en la primavera, hubo una menor demanda de ambos nutrimentos, mientras que los de la segunda etapa en el verano se elevaron la demanda tanto de K^+ como de Ca^{++} . 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, por lo que disminuye la translocación de ambos elementos desde la raíz hasta la parte aérea, lo que provoca que una mayor concentración sea requerida para abastecer las demandas de las plantas. En contraste, los frutos de la tercera etapa desarrollados en el invierno produjeron mayor rendimiento cuando las plantas se irrigaron con soluciones con 11 meq de K^+ y 9 meq de Ca^{++} , y justamente con esta solución se produjo el mayor rendimiento a nivel de rendimiento total, es decir, considerando todas las etapas de fructificación.

El K^+ es el elemento encargado de proporcionar la calidad de los cultivos, como lo son color, olor y sabor, por el cual las investigaciones mencionan que en frutos, el K^+ juega un papel importante como contra ión a los ácidos orgánicos para mantener la electro neutralidad (Dorais *et al.*, 2001). Por otro lado, el bajo suministro de K^+ puede aumentar la absorción y la movilidad de Ca^{++} debido a un efecto antagonista entre cationes como se observa en muchas plantas incluyendo el tomate (Pujos y Morard, 1997; Kanai *et al.*, 2011), lo cual puede ocasionar una deficiencia nutrimental, teniendo como consecuencia una disminución en el rendimiento por el desbalance que puede existir entre estos dos nutrimentos por el antagonismo que presentan.

Para las dos variables de calidad, grados Brix y firmeza, no se presentó efecto significativo en ninguno de los diferentes niveles de K^+ y Ca^{++} . Esto pudo haberse debido a que la firmeza en los frutos tiene origen fisiológico-nutrimental asociado a la absorción y translocación del Ca^{++} en primer lugar y del K^+ en segundo lugar. El desorden fisiológico que resulta de la deficiencia localizada de Ca^{++} dentro de la planta, es atribuida a una pobre distribución de este elemento dentro de la planta más que de

un problema de absorción. El transporte de Ca^{++} es particularmente crítico en órganos que son naturalmente bajos en Ca^{++} como los frutos y hojas jóvenes, debido a 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 con poca rigidez llevando consigo una tasa rápida de maduración y una vida postcosecha muy corta.

Para los grados Brix (sólidos solubles totales), no se presentaron diferencias significativas en ninguno de las tres etapas de fructificación, esto puede deberse a los criterios de cosecha empleados; ya que esta variable depende de las condiciones en la que la fruta es cortada, por tanto, ésta va a ser condicionada del buen criterio del cosechador (Román y Gutiérrez, 1998).

VI. CONCLUSIÓN

Mantener una concentración de 9 meq L^{-1} de Ca^{++} en la solución nutritiva, genera un aumento considerable en la biomasa, específicamente en la raíz y el tallo conforme se aumenta la concentración de K^{+} en la SN. De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se obtuvo que al aplicar 9 meq L^{-1} de Ca^{++} y 11 meq L^{-1} de K^{+} se genera un mayor rendimiento para las tres etapas de fructificación y para el rendimiento en general, reflejándose con un rendimiento promedio de 250 ton ha^{-1} . Sin embargo, las variables de calidad no se vieron afectados por la aplicación de las diferentes concentraciones de K^{+} y Ca^{++} .

VII. LITERATURA CITADA

- Barber, S. A. 1964. Water esencial to nutrient uptake. *Plant Foot Rev.*, 10(2): 5-7.
- Buchanan BB, Gruissem W, Johones RL 2002. *Biochemistry and molecular biology of plants*. Sci. Press. Plant Physiol, Beijing, pp 962–9781.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 521-530.
- Chaney LR, Chen KY, Li YM, Scott JA, Baker JMA. 2008. Effects of calcium on nickel tolerance and accumulation in *Alyssum* species and cabbage grown in nutrient solution. *Plant Soil* 311:131–140.
- Chao L., Weiqian, C., Yun, L., Hao, H., Liang, C., Xiaoqing, L y Fashui, H. 2009. Cerium under calcium deficiency—influence on the antioxidative defense system in spinach plants. *Plant Soil* 323:285–294.
- Dorais, M., Papapdopolus, A.P., Gosselin, A., 2001. Greenhouse tomato fruit quality: the influence of environmental and cultural factors. *Hortic. Rev.* 26, 239–319.
- Greyson. R.L y Sawhney, V.K. 1972. Initiation and early growth of flower organs of *Nigella* and *Lycopersicon*: insights from allometry. *Bot. Gaz.*, 133: 184-190.
- Hanger, B.C.1979. The movement of calcium in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10, 171–193.
- Havlin, V. A. 1999. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. In: R. L. Westerman soil testing and plant analysis. 3 erd edition # 3 in SSSA book series, Madison, Wi, USA.

- Hawkesford, M, W. Horst , T. Kichey , H. Lambers , J. Schjoerring , I. Skrumsager-Moller , P. White. 2012. Function of macronutrients P. Marschner (Ed.), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants , Academic Press , Londres , pp. 135 – 189
- Hepler, P.K., 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. *Plant Cell*. 17, 2142–2155.
- 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.
- Hirschi, K.D., 2004. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. *Plant Physiol*. 136, 2438–2442.
- Ho, L.C. y White, P.J., 2005. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Ann. Bot*. 95, 571–581.
- Intagri. 2017. Las funciones del potasio en la nutrición vegetal. Serie Nutrición Vegetal Núm. 100. Artículos Técnicos de Intagri. México.
- Kaiser, E. D., Rose J. C. y Lamb A. J. 2016. Potassium for crop production. University of Minnesota Extension.
- Kanai, S., Moghaieb, R.E., El-Shemy, H.A., Panigrahi, R., Mohapatra, P.K., Ito, J., Nguyen, N.T., Saneoka, H., Fujita, K., 2011. Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative sink in green house tomato prior to its effects on source activity. *Plant Sci*. 180, 368–374.
- Keiser, J.R. y Mullen, R.E. 1993. Calcium and relative humidity effects on soybean seed nutrition and seed quality. *Crop Sci*. 33, 1345–1349.
- Kirkby, E.A. y D.J. Pilbean. 1984. Calcium a plant nutrient. *Plant, Cell and Environment* 7: 394-405.

- Kyrkbi, E.A., 1979. Maximizing calcium uptake by plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10, 89-113.
- Kleemann, M. 1999. Development of calcium deficiency symptoms in chervil (*Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm.) y curled parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nym. Convar. *Crispum*). In: *Natural and Economic Importance of Alternative Plants*. Warsaw, Poland. 468, 335 – 348.
- Kochian, V.L y Lucas, J.W. 1988. Potassium transport in roots. *Bot. Res.* Vol. 15. ISBN 0-12-005915-0.
- León, H y Arosamena, M. 1980. El cultivo del tomate para consumo fresco en el Valle de Culiacán. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), México.
- Leucorieux, D., Lamotte, O., Bourque, S., Wendehenne, D., Mazars, C., Ranjeva, R. y Pugin, A. 2006. Proteinaceous and oligosaccharidic elicitors induce different calcium signatures in the nucleus of tobacco cells. *Hort. Sci.*, volumen 38, pp 527-538.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, London, p. 889.
- Mengel, K. y Kirkby, E. 1989. *Principals of plant nutrition*, 4th Ed.; International Potash Institute: Basil, Switzerland.
- Morard, P.; Lacoste, L.; Silverstre, J. 2000. Effects of calcium deficiency on nutrient concentration of xylem sap of excised tomato plants. *J. Plant Nutr.* 23, 1051–1062.
- Morata, J.V. 1992. *Horticultura herbácea especial*. Tercera Edición. Ed. Mundo – Prensa. Madrid, España.
- Nuez F., Angel R., Javier T., Jesús C. y Baldomero S. 1995. *El cultivo de tomate*. Primera Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España, pp. 15-18.

- Nuez F., Angel R., Javier T., Jesús C. y Baldomero S. 2001. El cultivo de tomate. Segunda Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España, pp. 15-18.
- Olle, M., Bender, I., 2009. Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: a review. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84, 577–584.
- Pujos, A. y Morard, P., 1997. Effects of potassium deficiency on tomato growth and Mineral nutrition at the early production stage. *Plant Soil* 189, 189–196.
- Rick, C. M. 1978. The tomato. In King. R.C. (ed), *Handbook of Genetics*. New York, pp. 247-810.
- Rodríguez, R., J. M. Tabares y J.A. Median. 1996. Cultivo moderno del tomate. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 13-15.
- Román, L.F. y Gutiérrez, M.A., 1998. Evaluación de ácidos carboxílicos y nitrato de calcio para incrementar calidad, cantidad y vida de anaquel en tres tipos de melón. *Terra Latinoamericana*, vol. 16, num. 1, enero-marzo, 1998, pp. 49-54.
- Romheld V. y Kirkby EA.2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects.*Plant Soil* ;335:155–80.
- Rubio, J. S., García-Sánchez, F., Flores, P., Navarro, J. M. y Martínez, V. 2010. Yield, blossom-en rot incidence, and fruit quality of sweet pepper in response to fertilisation with Ca²⁺ and K⁺. *Span. J. Agric. Res*, 8.1. 170-177.
- Song, J. y Roe, J.H., 2008. The role and regulation of Trxl, a cytosolic thioredoxin in *Schizosaccharomyces pombe*. *J. Microbiol.* 46, 408–414.
- Tisdale SL y Nelson WL. 1982. In: *Soil fertility and fertilizers*. 5th ed.Macmillan Publishing Company; p. 634.
- Valadez, L. A. 1998. Producción de hortalizas. 5ª reimpression. Ed. Limusa. México, D. F.

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.

White, P.J.2001. The pathways of calcium movement in the xylem. J. Exp. Bot. 52, 891–899.

Páginas electrónicas

FAOSTAT (2014) Food and Agriculture Data tomato. Consulta: 22 de noviembre 2017.
Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

SAGARPA (2010) Monografía del cultivo de tomate. Consulta: 22 de noviembre 2017.
Disponible en:

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

SIAP (2016) Cierre de producción agrícola anual. Consulta: 22 de noviembre 2017.
Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/