

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Concentraciones de Amonio, Potasio y Calcio en las Soluciones Nutritivas

Influye en el Crecimiento y Rendimiento de Tomate cv. Clermon

Por:

**RICARDO BAEZA ESTRADA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Concentraciones de Amonio, Potasio y Calcio en las Soluciones Nutritivas

Influye en el Crecimiento y Rendimiento de Tomate cv. Clermon

Por:

**RICARDO BAEZA ESTRADA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor Principal



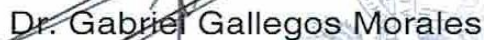
Dr. José Antonio González Fuentes

Coasesor



Dra. Juana Cruz García Santiago

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2018

## AGARDECIMIENTOS

A **DIOS, A LA VIRGEN DE GUADALUPE**, por darme la sabiduría y fortaleza para permitirme llegar y finalizar esta etapa de mi vida por darme una familia maravillosa y poner en mi camino personas que me ha apoyado durante mi trayectoria fuera de mi hogar.

A mi **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haberme dado la dicha de ser parte de su institución formándome profesionalmente como personalmente, y con orgullo digo **BUITRES POR SIEMPRE**.

A mis padres, **María Amelia Estrada Pérez y Vicente Baeza Badillo (†)**, los mejores padres del mundo quienes me han brindado su amor y su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi carrera, ha sido clave en cada éxito de mi vida, que con su amor y educación han permitido concluir este logro, agradezco eternamente por la confianza que me brindaron durante este largo camino.

A mis hermanos **Alejandra, Vicente, Jesús, Isabel, Pablo, Lourdes y Gustavo** quienes ha sido parte fundamental de este logro que gracias a su apoyo y confianza he concluido esta etapa de mi vida, espero ser un buen ejemplo para ustedes y gracias por la motivación de cada uno de ustedes.

A **MI CUÑAO LUIS (Chatin)** gracias a su apoyo y confianza he logrado una meta en mi vida.

A **Diana Yazmín Rangel García** quien fue pieza clave durante mi carrera y parte fundamental de este sacrificio, depositando en mí su confianza, cariño y amor, brindándome su apoyo incondicional, estando conmigo en los momentos más difíciles. GRACIAS POR TODO.

Al **Dr. Armando Hernández Pérez** por su amistad y apoyo, por compartirme sus conocimientos, por facilitar y llevar a cabo este proyecto por su confianza brindada en esta etapa de mi vida, además de ser un guía y de las mejores personas que en la vida podre conocer. Gracias por todo.

A la **Dra. Juana Cruz García Santiago** por su colaboración y disponibilidad para la revisión de este trabajo.

Al **Dr. José Antonio González Fuentes** por su colaboración y disponibilidad para la revisión de este trabajo.

A mis amigos **Miguel Manzano, Julio Manzano, Erick Rodríguez, Fernando Camarillo, José Luis Fernández, Juan de Dios, Gamaliel Sánchez, Oscar Karim, Yair Terraza, Hugo Sánchez, Lupe Aguilar ( La Paisa), Nayeli Medina**, quienes en algún momento me brindaron su apoyo y convivencia, formando una familia cuando estábamos lejos de la nuestra, gracias por su amistad.

## DEDICATORIAS

A Dios y la Virgen de Guadalupe por darme la dicha de aprender y prepararme en esta profesión, por darme fortaleza, paciencia y sabiduría y haber cuidado de mi durante este tiempo fuera de mi hogar y familia.

Este trabajo se lo dedico de manera muy especial con todo mi amor y cariño A mis Padres Amelia **Estrada Pérez y Vicente Baeza Badillo (†)** que fueron mi base de apoyo y amor, mi ejemplo a seguir y que cada día me impulsaron y guiaron a través de sus consejos, por todo el apoyo que me brindaron para poder terminar una de las etapas importantes, les agradezco eternamente por la oportunidad y confianza que me brindaron para concluir con este proyecto de mi vida.

A mis hermanos con mucho cariño **Alejandra, Vicente, Jesús, Isabel, Pablo, Lourdes y Gustavo**, por el apoyo y confianza que me dieron para concluir mis estudios

Con **Cariño, Amor, Gratitude y Respeto.**

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIAS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE CUADROS.....	vi
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
Justificación.....	2
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Agricultura Protegida.....	4
Hidropónia.....	5
Nutrición Mineral.....	6
Nitrógeno (N).....	6
Absorción de Nitrógeno.....	7
Relación $\text{NO}_3^-$ - $\text{NH}_4^+$ .....	8
Potasio (K).....	9
Calcio.....	10
Interacción entre $\text{NH}_4^+$ /K.....	10
Interacción entre $\text{NH}_4^+$ /Ca.....	11
Interacción entre Ca/K.....	12

Interacción entre $\text{NH}_4^+$ /K/Ca.....	13
Tomate en Invernadero.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
Sitio Experimental.....	15
Material Vegetal.....	15
Producción de Plántula.....	15
Trasplante.....	15
Condiciones Climáticas en el Invernadero.....	16
Tratamientos.....	16
Manejo del Cultivo.....	17
Variables Evaluadas.....	19
Diseño del Experimento y Análisis Estadístico.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIONES.....	29
LITERATURA CITADA.....	30

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el peso seco de raíz de plantas de tomate cv. Clermon.....	23
<b>Figura 2.</b> . Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el peso seco del tallo de plantas de tomate cv. Clermon.....	24
<b>Figura 3.</b> . . Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el peso seco de hojas de plantas de tomate cv. Clermon.....	25
<b>Figura 4.</b> . Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el peso seco total de plantas de tomate cv. Clermon.....	27
<b>Figura 5.</b> . Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el rendimiento de plantas de tomate cv. Clermon.....	28

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Concentración de macronutrientes de las soluciones nutritivas evaluadas.....	17
<b>Cuadro 2.</b> Efecto de las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en la producción de biomasa de los diferentes órganos, total y rendimiento de plantas de tomate cv. Clermon.....	22



## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes niveles de  $\text{NH}_4^+$ , K y Ca en la solución nutritiva (SN) sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate cv. Clermon. Los tratamientos consistieron en dos concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  (0 y 4 meq  $\text{L}^{-1}$ ), dos concentraciones de K (7 y 9 meq  $\text{L}^{-1}$ ) y dos concentraciones de Ca (9 y 11 meq  $\text{L}^{-1}$ ). El diseño utilizado fue el de bloques completamente al azar con un arreglo factorial (2 x 2 x 2), con cuatro repeticiones por cada tratamiento. El crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate fue afectado por la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , K y Ca en la SN. La producción de materia seca de raíz y tallo fue mayor al irrigar con 7 y 11 meq  $\text{L}^{-1}$  de K y Ca, respectivamente, pero sin la adición de  $\text{NH}_4^+$ ; mientras que al adicionar  $\text{NH}_4^+$ , el peso seco de estos órganos se redujo, principalmente al aumentar la concentración de K y Ca. El peso seco de hojas, sin la adición de  $\text{NH}_4^+$ , incrementó al emplear 9 meq  $\text{L}^{-1}$  de K y Ca, lográndose una respuesta similar al emplear 9 y 11 meq  $\text{L}^{-1}$  de K y Ca, respectivamente; pero al adicionar  $\text{NH}_4^+$ , el peso seco de hoja decreció al utilizar una concentración elevada de K y Ca en la SN. Por otro lado, el rendimiento del cultivo, sin la adición de  $\text{NH}_4^+$ , fue mayor al emplear una SN con una concentración de 7 y 11 meq  $\text{L}^{-1}$  de K y Ca, respectivamente, así como al emplear una alta concentración de K y Ca; mientras que al adicionar  $\text{NH}_4^+$ , el rendimiento decreció al utilizar una concentración elevada de K y Ca en la SN.

**Palabras Clave:** *Solanum lycopersicon*, antagonismo, soluciones nutritivas, toxicidad.

## I. INTRODUCCIÓN

La nutrición mineral es uno de los factores que limitan el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de las plantas cultivadas. El N es el nutriente mineral requerido en elevadas cantidades y su disponibilidad es un factor importante que limita el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Kraiser *et al.*, 2011). La forma de suministro de N a la planta, ya sea como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), afecta el crecimiento, la morfología y una serie de procesos fisiológicos (Bernstein *et al.*, 2005). La principal diferencia entre el  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  es que las elevadas tasas de  $\text{NH}_4^+$  son altamente tóxicas para las plantas, ya que este altera la estructura de la membrana del tilacoide (Simonne *et al.*, 2001). Sin embargo, la respuesta de las plantas a una continua nutrición con  $\text{NH}_4^+$  dependerá de la especie con que se trabaje. Por ejemplo, la espinaca es altamente sensible al  $\text{NH}_4^+$ , mientras que el girasol es moderadamente sensible, en cambio, el chícharo es tolerante a altas dosis de  $\text{NH}_4^+$  (Lasa *et al.*, 2001).

El calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) es un elemento esencial para las plantas (Marshner, 1995). Su función está relacionado como regulador de crecimiento y desarrollo (Hepler, 2005) y es indispensable en una serie de procesos y vías metabólicas (Plieth, 2005). Una de estas funciones del Ca es el rol importante que juega como mensajero secundario en varias respuestas de defensa de las plantas bajo estrés ambiental (Sano *et al.*, 2006), incluyendo el estrés por temperatura baja, estrés osmótico, estrés por calor y estrés oxidativo (Knight, 1999). Se ha reportado que el suministro de Ca en tulipán incrementa la altura de la planta y peso de materia seca

(Ramírez *et al.*, 2010; Nelson y Niedziela, 1998), sin embargo, una deficiencia provoca deformaciones, necrosis y clorosis debido a la función de este elemento en la estabilidad de la pared y membrana celular, lo que también detiene el crecimiento. El exceso de Ca induce una deficiencia de  $K^+$  y  $Mg^{2+}$  (Morard *et al.*, 1996). En plantas de *lisianthus* se ha reportado que tolera altas concentraciones de  $NH_4^+$ , probablemente es debido a una alta asimilación de Ca (Mendoza-Villareal *et al.*, 2015).

Después del nitrógeno, el K es el nutriente requerido en mayor cantidad por las plantas (Marschner, 2012). Este nutriente participa en varios procesos fisiológicos asociados con el metabolismo de los carbohidratos, tales como la fotosíntesis, las relaciones hídricas, la activación enzimática, el transporte de asimilados (Díaz *et al.*, 2016) y la resistencia al estrés (Marschner, 2012). Las cantidades adecuadas de K pueden aumentar la acumulación de la materia seca total de las plantas cultivadas bajo estrés hídrico (Egilla *et al.*, 2001). Esto podría ser atribuible a la regulación estomática por K y a una mayor tasa fotosintética.

### **Justificación**

De acuerdo a lo anterior en el cultivo de tomate es necesario determinar el efecto de  $NH_4^+$ , K y Ca que favorezcan mayor crecimiento, debido a que la interacción de estos iones hay poco o escasa información.

### **Objetivo General**

Determinar el efecto de las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$ , K y Ca en la solución nutritiva sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate cv. Clermon.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar la óptima proporción de  $\text{NH}_4^+$ , K y Ca en la producción de biomasa de las plantas de tomate cv. clermon.
- Determinar la óptima proporción de  $\text{NH}_4^+$ , K y Ca en el rendimiento de fruto de tomate cv. clermon.
- Evaluar el efecto de  $\text{NH}_4^+$  sobre el K y Ca en la producción de biomasa y rendimiento de tomate cv. clermon.

### **Hipótesis**

Las diferentes proporciones de  $\text{NH}_4^+$ , K y Ca influyen en el crecimiento de las plantas de tomate cv. Clermon.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Agricultura protegida**

La agricultura protegida es un sistema de producción que se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar restricciones que el medio ambiente impone para el desarrollo óptimo de las plantas (Syngenta, 2010). Este sistema se concentra en obtener cosechas en épocas en que las condiciones climáticas no son favorables para lograr un buen desarrollo de los cultivos; mejorando la calidad y rendimiento de los productos cosechados, lo anterior ayuda a mejorar la oferta de los productos en el extranjero (Syngenta, 2010).

En México, la agricultura protegida se ha venido desarrollando bajo condiciones muy heterogéneas, desde costosos invernaderos de vidrio, con muy elevadas inversiones, hasta económicas instalaciones como las denominadas casas sombras. Se estimó que para el año 2008, la superficie de invernaderos, incluidas casas sombras, ascendió a 8,934 ha (Castellanos y Borbón, 2009).

Las ventajas de la agricultura protegida son significativas en comparación con las de explotación a cielo abierto, ya que los rendimientos pueden incrementar de manera gradual, con una gran seguridad en la inversión realizada. En una agricultura tradicional un productor de tomate llega a producir en promedio 75 toneladas al año por hectárea con una gran cantidad de agua utilizada y desperdiciada por evaporización e infiltración.

En invernadero es posible producir más de 200 toneladas por hectárea aprovechando al máximo el agua, esto, siempre y cuando los productores utilicen la tecnología adecuada y tengan los conocimientos adecuados (Pérez, *et al.*, 2012, Ruiz-Santaella, 2002).

### **Hidroponía**

La hidroponía es una técnica que permite producir plantas sin emplear suelo, y actualmente esta técnica ha alcanzado un grado de sofisticación en países desarrollados, ya que requiere de poco espacio y una mínima cantidad de agua en la producción (Rodríguez, 2003). Todos los sistemas de hidroponía/cultivo sin suelo, requieren considerablemente cantidades de agua pura relativamente. El mejor suministro que se usa frecuentemente es agua doméstica y/o agua para la agricultura, sin embargo, estas frecuentemente contienen sustancias y elementos que pueden afectar de manera positiva o negativa el crecimiento de la planta. Por lo tanto, un análisis de agua, para que sea usada en un sistema de hidroponía es esencial (Benton, 2005). Utilizar sistemas de producción como la hidroponía para la producción de hortalizas en agricultura protegida es ideal, ya que tiene un alto grado de eficiencia en el uso de agua, reduciendo las pérdidas por evaporación, además es poco el terreno al que se debe aplicar el riego, y las raíces no crecen en exceso para buscar los nutrientes, debido a que la hidropónia permite la llegada de los nutrientes directamente a la raíz en cantidades necesarias para el óptimo desarrollo de la planta, ya que estas se encuentran en el espacio limitado del contenedor (Espinoza, 2004).

## **Nutrición Mineral**

Es uno de los factores que limitan el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de las plantas cultivadas es la nutrición mineral. Un buen manejo de la nutrición es fundamental, pues determina en gran medida la capacidad productiva de la planta de tomate (Snyder, 2006; Olivares, 2008). Se debe tener en cuenta que el tomate es una planta exigente de nutrientes; requiere de una alta disponibilidad de N, P, K, Ca, Cu, B, Zn (Jaramillo, 2006). Por su parte Pérez, *et al.* (2002), mencionan que el orden de extracción de nutrientes por la planta de tomate en forma decreciente es K, N, Ca, S, Mg, y P.

### **Nitrógeno (N)**

El N es el nutriente que más influye en el crecimiento y rendimiento de las plantas, es constituyente de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, también forma parte de la molécula de clorofila. Una adecuada cantidad de N produce un rápido crecimiento y de un color verde oscuro, lo que es una señal de la fuerte actividad fotosintética de la planta (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

Una deficiencia de N produce un reducido crecimiento y la brotación es débil y de color pálido (Resh, 2006). Mientras que, un exceso alarga la vegetación y los frutos tardan en madurar, además el fruto tiene menos vida de anaquel, en tomate se aprecia un color deslavado del fruto, jaspeado; además de presentarse una mayor sensibilidad a las plagas y enfermedades, los tejidos verdes y tiernos son fácilmente parasitados; así mismo, el exceso de este elemento aumenta la salinidad del suelo y,

aunado a los efectos de sequía; favorece las carencias de cobre, hierro y boro (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

El N está ligado a la asignación del crecimiento por la implicación directa con los reguladores de crecimiento en sí (Marschner 1995). Las respuestas de la disponibilidad de N sugieren que el estatus preferencial entre los nutrientes minerales, consiste con el hecho de que es el nutriente mineral requerido en cantidades más grandes por las plantas y que su disponibilidad es sub óptima en la mayoría de los entornos (Rubio *et al.*, 2003).

Este elemento es absorbido mayormente por las plantas en forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), aunque también puede ser en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En hidroponía, las cantidades estándar de  $\text{NH}_4^+$  incorporadas en las soluciones nutritivas están entre 5 a 10% del total de N y difícilmente excederá 15%, mientras que en rosas, estos niveles pueden alcanzar un 25% durante la etapa vegetativa, y en melón, durante el desarrollo de frutos estos deben ser 0% (Sonneveld y Voogt, 2009).

### **Absorción de nitrógeno**

Tanto las formas de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  pueden ser absorbidos y metabolizados por las plantas. El nitrato es a menudo una fuente preferencial para el desarrollo de los cultivos, pero depende mucho de las especies vegetales y otras condiciones ambientales. Los cultivos absorben principalmente el  $\text{NO}_3^-$ , incluso cuando se aplican fertilizantes de  $\text{NH}_4^+$ , debido a la oxidación microbiana del  $\text{NH}_4^+$  en suelo.

### **Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$**



El  $\text{NO}_3^-$  es la principal forma química en que las plantas se abastecen de N; sin embargo, las plantas también se abastecen de una pequeña fracción en forma de  $\text{NH}_4^+$  y esto presenta algunos beneficios en la nutrición de las plantas de tomate. El pH de la solución nutritiva (SN) puede variar dependiendo de la relación en la absorción de aniones y cationes, en la medida que las plantas absorben más aniones el pH de la SN aumenta. La principal causa de la variación de la relación en la absorción entre aniones y cationes depende de la forma química en que se administre el N en la SN (Guill y Reisenauer, 1993).

En relación con los efectos de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , solos o combinados, una proporción óptima de  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  favorece el crecimiento (Jingquan y Dewei, 1988) y rendimiento de la planta de tomate (Kwak *et al.*, 1989), mientras que una absorción y acumulación excesivas de  $\text{NH}_4^+$  pueden causar toxicidad y concentración baja de Ca y Mg en el tejido de tomate (Jingquan y Dewei, 1988). De acuerdo con Sandoval (1992), en el caso del trigo, es posible obtener una mayor producción de grano y de materia seca cuando se emplea  $\text{NH}_4^+$  en relaciones menores que o iguales a 50% de la cantidad de N que cuando la planta es suministrada exclusivamente con  $\text{NO}_3^-$ .

### **Potasio (K)**

El K es el catión inorgánico más abundante en las plantas que comprende hasta 10% del peso seco de la planta (Broadley *et al.*, 2004; Watanabe *et*

*al.*, 2007). Se concentra en los tejidos y órganos reproductivos, reflejando las funciones vitales de este en el metabolismo celular y el crecimiento de extensión. Es un elemento requerido en procesos tales como: síntesis de proteínas, activación enzimática, transporte y translocación de asimilados en la membrana celular, fotosíntesis, neutralización de aniones, regulación del potencial osmótico, tolerancia al estrés y en el transporte de fotoasimilados desde los tejidos fuente vía floema a los tejidos de almacén (Pardo *et al.*, 2006; Pettigrew, 2008; Marschner, 1995). Para un rendimiento óptimo, las concentraciones de K en compartimentos metabólicamente activos, tales como el citosol, el núcleo, el estroma de los cloroplastos y la matriz de la mitocondria, deben mantenerse en alrededor de 100 a 150 mM (Leigh y Wyn Jones, 1984).

La absorción de K por las células de la planta, y su acumulación en las vacuolas, es el principal impulsor de su expansión osmótica, esto se debe a la alta movilidad en la planta (Mengel *et al.*, 2001; Amtmann *et al.*, 2006). La acumulación de K es esencial para el crecimiento del sistema radicular, tanto para la expansión de células en la zona de elongación y para la elongación de las células ciliadas de la raíz (Dolan y Davies, 2004). También es necesario para la expansión de las hojas, elongación de los tubos polínicos hacia óvulos fértiles (Mouline *et al.*, 2002) para la ampliación de frutas y tubérculos.

### **Calcio**

El calcio es un nutriente esencial en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular (Epstein, 1961; Morard *et al.*, 1996) y de la

permeabilidad de la membrana; mejora la germinación del polen y el crecimiento; activa una serie de enzimas para la mitosis, división y elongación celular; posiblemente desintoxica la presencia de metales pesados en los tejidos que afecta a la calidad del fruto, y la salud del tejido conductivo (Jones, 1999).

Los aumentos de los niveles de Ca en la SN aumentan los niveles de calcio en la fruta, pero disminuyen el contenido de caroteno y los niveles de licopeno en los frutos de tomate (Paiva *et al.*, 1998b) y afecta negativamente su calidad organoléptica (De Kreij, 1995). La firmeza de la fruta se puede mejorar mediante la pulverización de sales de calcio (Cooper y Bangerth, 1976), mientras que la maduración de tomate se puede retrasar mediante el aumento del contenido de calcio en la fruta de 0,11 mg g<sup>-1</sup> a 40 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco (Herencia *et al.*, 1977). El suministro insuficiente de Ca aumenta el número de frutas afectadas por pudrición apical y puede estimular la síntesis de etileno (Bangerth, 1979) y en consecuencia la biosíntesis de carotenoides (Kays, 1991).

### **Interacciones entre NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/K**

El amonio puede influir en la absorción y acumulación de potasio posiblemente por que compite con él para ingresar a las células (Szczerba *et al.*, 2006b). El tomate absorbe grandes cantidades de potasio, mayores que cualquier otro nutrimento (Chen y Gabelman, 1999); por lo que un adecuado suministro de potasio puede favorecer la utilización del amonio, considerando que la toxicidad por amonio puede ser atribuida, entre otros mecanismos, a una disminución en la absorción de cationes (Marschner,

1995), a una alteración del balance osmótico (Gerendas *et al.*, 1997) y a una síntesis limitada de aniones orgánicos (Salsac *et al.*, 1987).

### **Interacciones entre $\text{NH}_4^+$ /Ca**

La forma de nitrógeno y la relación  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  afecta la absorción de calcio y su concentración en muchos frutos de hortalizas como: tomate, pimiento, berenjena, melón y sandía (Bar-Tal, 2001a; McLaurin, 1998). Altos niveles de amonio en la solución nutritiva del suelo pueden actuar antagónicamente con la absorción de calcio, lo que puede resultar en deficiencias de calcio, mostrando pudrición apical de frutos (BER) (Wilcox *et al.*, 1973; Martí Mills, 1991; Bar-Tal *et al.*, 2001a, b; Langenhoven, 2004; Pill y Lambeth, 1980). En particular, las hortalizas de frutos que crecen en hidroponía o sustratos inertes, que son sometidos a desbalances con altas relaciones amonio/calcio en el medio radicular, presentan mayor incidencia a BER. Por lo tanto, la guía holandesa de valores para soluciones nutritivas del medio radical en cultivos que crecen en agua o sustratos, recomiendan mantener los niveles de  $\text{NH}_4^+$  por debajo 0,5 mmol por litro, mientras que el nivel de amonio en la SN va de 1,0 a 1,5 mmol  $\text{NH}_4^+$  por litro (Sonneveld y Straver, 1994), sin presentar problemas de estos en las plantas.

### **Interacciones entre K/Ca**

Para mejorar la calidad del fruto es muy importante la nutrición de la planta y los dos nutrimentos más relacionados con lo anterior son el potasio y

calcio. Sin embargo, la principal preocupación es el efecto de la interacción de estos nutrimentos y esto ocurre cuando el abastecimiento de un nutriente afecta la absorción de otros nutrientes y pueden formarse precipitados o complejos entre iones por su capacidad de formar vínculos químicos o presentar una competencia entre iones con propiedades tan similares por el sitio de absorción, transporte y función, esto se presenta entre nutrimentos de similar tamaño, carga y configuración electrónica, como Ca, Mg, K, y Na. Pero la respuesta a la interacción se puede presentar en sinergismo o un antagonismo (Fageria, 2001). Por tal razón un adecuado suministro de calcio a los frutos es esencial para su firmeza y vida de anaquel (Dorais *et al.*, 2001). Un aumento de la concentración de calcio puede reducir la incidencia del rajado de frutos, pudrición apical y otros trastornos fisiológicos que conduce a un deterioro de la calidad de la fruta (Passam *et al.*, 2007). Un suministro relativamente alto de potasio mejora la calidad del fruto de tomate, como la acidez, contenido de sólidos solubles totales, mejora el color, sabor y reduce desordenes en la maduración (Passam *et al.*, 2007).

En lo que se refiere a sus efectos fisiológicos, el Ca es generalmente considerado como el equivalente al potasio. La movilidad de los iones de Ca se ve afectada por las altas concentraciones de iones de K, no sólo en el suelo, sino también en las propias plantas, en las que influyen en la distribución de calcio y por lo tanto puede provocar deficiencias (Bould y Tsai-fua, 1976; Shear, 1975). Los altos niveles de K en el medio ambiente de la raíz interfieren con la absorción de Ca (Voogt, 1998; Nukaya *et al.*,

1995; Bar-Tal y Pressman, 1996). Por otro lado, el exceso de Ca en el suelo puede inhibir la absorción de K debido a la competencia entre los dos iones (Paiva *et al.*, 1998). Sin embargo, cantidades óptimas de calcio puede resultar en un aumento en la disponibilidad de K intercambiable y soluble en agua (Ananthanarayama y Hanumantharaju, 1992).

### **Interacciones entre NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/K/Ca**

La adición de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> como reemplazo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en cultivos en sustratos, puede inhibir la absorción de otros cationes como: K, Ca y Mg, lo que puede explicarse por la competencia catiónica que genera el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> con los otros cationes. La proporción de este efecto depende de diferentes factores como: el cultivo, las condiciones de desarrollo y los ajustes realizados en el balance iónico de los nutrientes. Por lo tanto, se recomienda un uso cuidadoso del NH<sub>4</sub><sup>+</sup> cuando los cultivos crecen en condiciones climáticas que reducen el transporte de Ca a los frutos. Buenos ejemplos de esto son las producciones de tomates y pimientos bajo condiciones calurosas y de baja humedad. Ambos cultivos son sensibles a pudrición apical de los frutos, causada por deficiencia de Ca en los frutos, que es estimulada por condiciones de alta temperatura y baja humedad. Bajo estas condiciones cualquier reducción en la absorción de Ca resulta peligrosa, y el uso de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> también (Sonneveld y Voogt, 2009).

### **Tomate en Invernadero**

En los sistemas de producción en ambientes protegidos se pueden lograr altas tasas de crecimiento en los cultivos, rendimiento y perfecta calidad

de producción (David *et al.*, 2003). La tecnología de la agricultura protegida en México varía de baja a mediana y alta tecnología, el 79% de los sistemas agrícolas protegidos son de media-alta tecnología, 17% con tecnología media y un 5% con baja tecnología, la producción de tomate en invernaderos de baja tecnología es de aproximadamente 120 toneladas por hectáreas (t/ha), el rango de producción de tecnología media es de 200 a 250 t/ha, y en la alta tecnología conduce a obtener hasta 600 t/ha. El tomate en invernadero tiene un mayor costo a diferencia de los producidos en campo abierto, puesto que tienen un clima adecuado para su producción (Cook y Calvin 2005).

El tomate ocupa el tercer lugar en cuanto a volumen de producción mundial ya que es la hortaliza que más se cultiva bajo condiciones protegidas, se consume en todo el mundo y alcanza precios elevados en el mercado internacional (Márquez *at al.*, 2009).

A pesar de cultivarse en todos los estados de la República Mexicana, solo siete estados concentran en promedio 64.3% de la producción, destacando a Sinaloa como el principal productor, seguido de Baja California del Norte, Michoacán, Zacatecas, Jalisco, Baja California del Sur y San Luis Potosí (SIAP, 2012).

### **III. Materiales y Métodos**

#### **Sitio del Experimento**

El experimento se realizó de agosto a diciembre 2016 en Saltillo Coahuila, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura, cuyas coordenadas son: 25°21'23.55" latitud N, 101° 2'5.16" longitud O y 1763 msnm.

#### **Material Vegetal**

Las semillas que se utilizaron para establecer el experimento fueron de tomate bola cv. Clermon, comercializadas por la compañía Syngenta. Es una variedad de crecimiento indeterminado ideal para cultivarse en invernadero y con calidad de exportación.

#### **Producción de plántula**

El 6 de agosto de 2016 bajo condiciones de invernadero se sembró las semillas de tomate en charolas de poliestireno de 200 cavidades. Como medio de germinación se usó peat moss y perlita en una relación de 85/15 v/v con pH de 6.0. Se colocó una semilla por cavidad, se regaron en base a las necesidades de la plántula.

#### **Trasplante**

Se utilizaron plántulas con tres hojas verdaderas bien extendidas con una altura aproximado de 20 cm de tomate tipo bola (*Solanum lycopersicum*



L.) cv. Clermon, las cuales fueron trasplantadas el 3 de septiembre en contenedores de polietileno negro con un volumen de 10 L. Los contenedores se llenaron con sustrato a base de peat moss y perlita con una relación de 70/30 (v/v). Se plantó una plántula en cada contenedor cubriendo totalmente el cepellón; la distancia entre plantas fue de 40 cm y entre contenedor de 30 cm, con un total de 8 plantas por tratamiento.

### **Condiciones Climáticas en el Invernadero**

Las condiciones ambientales durante el experimento fueron, una temperatura mínima y máxima promedio de 13.2 y 33.6 °C respectivamente, mientras que la humedad relativa osciló entre 29.0% y 76.5%. La radiación fotosintéticamente activa incidente diurna fue en promedio  $450 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### **Tratamientos**

Los tratamientos consistieron en dos concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  (0 y 4 meq  $\text{L}^{-1}$ ), dos concentraciones de K (7 y 9 meq  $\text{L}^{-1}$ ) y dos concentraciones de Ca (9 y 11 meq  $\text{L}^{-1}$ ), dando un total de 8 tratamientos. Las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  se diseñaron a partir de modificaciones de la solución de Steiner (1961). La solución de Steiner original no incluye  $\text{NH}_4^+$  como fuente de N, por lo que la modificación consistió en la adición de una determinada concentración de esta forma de N reduciendo una cantidad equivalente a la concentración total de N en forma de  $\text{NO}_3^-$  (12 meq $\cdot\text{L}^{-1}$ ), manteniendo constante las concentraciones de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Las ocho SN resultantes de las dos concentraciones  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  se muestra en el Cuadro 1, en tanto que los micronutrientes empleados fueron(mg $\cdot\text{L}^{-1}$ ):

hierro (Fe) 5, cobre 0.02, zinc 0.11, molibdeno 0.05, manganeso 0.65 y boro 0.5. El Fe se aportó como Fe-EDTA. Las SN evaluadas fueron preparadas con agua de la llave considerando las propiedades químicas de la misma para la formulación. El pH de las soluciones se ajustó a  $6.0 \pm 0.1$  con  $H_3PO_4$  al 85%,  $HNO_3$  al 55% y  $H_2SO_4$  a 1N y la conductividad eléctrica varió entre 2.2 a  $2.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Cuadro 1. Concentración de macronutrientos de las soluciones nutritivas evaluadas.

$NO_3^-$	$H_2PO_4^-$	$SO_4^{=}$	$NH_4^+$	$K^+$	$Mg^{++}$	$Ca^{++}$
12	1	7	0	7	4	9
12	1	8	0	7	4	11
12	1	8	0	9	4	9
12	1	9	0	9	4	11
8	1	10	4	7	4	9
8	1	10	4	7	4	11
8	1	10	4	9	4	9
8	1	10	4	9	4	11

### Manejo del cultivo:

#### Riego

Los riegos se efectuaron mediante un sistema de riego por goteo, se utilizaron goteros con un gasto de 4 litros por hora y colocaron dos estacas por contenedor. La frecuencia del riego empleado vario según las necesidades hídricas de las plantas, además se aplicando un volumen suficiente de la SN para mantener una fracción de lixiviado de 25%. Al tercer día después del trasplante se iniciaron los riegos con la SN correspondiente a cada uno de los tratamientos.

#### Tutoreo

El tutoreo se realizó pasando la rafia por abajo y de tras de cada racimo y por en medio de los entrenudos, de esta manera evitamos el maltrato de los racimos y de hojas con la rafia, siendo esta práctica muy importante ya que si se hace correctamente obtendremos una buena calidad del producto.

### **Podas**

La poda de hoja se realizó cuando la planta tenía más de 13 hojas por planta esto con el fin de no tener una planta muy vegetativa, empezando a podar hojas más viejas, dejando una hoja abajo del racimo para que este pudiera mantenerse y se eliminó la hoja de tras del racimo para evitar que el racimo se alargara. El aclareo de frutos se hizo hasta que estuvieran más de 6 flores bien amarradas dejando 5 frutos por racimo para poder obtener una buena calidad del producto.

### **Control de plagas y enfermedades**

Durante el experimento se presentaron plagas como trips, mosquita blanca, controlándolas con aplicaciones de Admire y Beleaf, utilizando un adherente comercial para hacer aún más efectivo el producto. En el caso de enfermedades, se presentó tizón temprano, esto se controló asperjando azufre elemental.

### **Cosecha**

La cosecha del primer racimo se inició a los 85 días después del trasplante cosechándose un total de 4 racimos. Se cosecharon los frutos de las dos plantas de cada repetición. Como índice de cosecha se tomó en cuenta el color de cada fruto.

## **Variables evaluadas:**

### ***Rendimiento***

Durante la cosecha, se registró el peso de cada racimo con ayuda de una balanza analítica, y el rendimiento por planta se obtuvo al sumar el peso de los cuatro racimos por planta, expresado en kilogramos por planta.

### ***Biomasa seca***

Al finalizar el experimento se realizó un muestreo destructivo de las plantas, las cuales se separaron los diferentes órganos;

***Hoja.*** Se recolectaron todas las hojas de cada planta cada vez que se realizaban las podas de hoja para ser secadas en un horno a 65°C por 72 h, para posteriormente registrar el peso seco con una balanza analítica, expresado en gramos por órgano.

***Tallo.*** Fue destruido el tallo en pedazos con la ayuda de tijeras para podar, posteriormente fue introducido en bolsas de papel para ser secado en un horno de secado a una temperatura de 65°C durante 72 h, al término de este proceso se pesó cada muestra en una balanza analítica, expresado en gramos por órgano.

***Raíz.*** Se procedió a retirar la raíz del sustrato, golpeando cuidadosamente para tener una raíz completa y después fue lavada con agua de la llave y agua destilada para ser secada en un horno a temperaturas de 65°C por un periodo de 72 h, para su posterior registro del peso seco con una balanza analítica, expresado en gramos por órgano.

**Peso seco total.** Esta variable se obtuvo sumando el peso seco de hoja, tallo y raíz, expresada en gramos por planta.

### **Diseño del experimento y análisis estadístico**

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con un arreglo factorial de  $2 \times 2 \times 2$ , con cuatro repeticiones por cada tratamiento. Los datos obtenidos se sometieron en un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) utilizando el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.0.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La producción de biomasa y el rendimiento de las plantas de tomate fueron afectadas por las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca), las interacciones entre estos tres factores afectaron el peso seco de raíz, tallo, hoja, total y el rendimiento por planta (Cuadro 1).

La producción de la materia seca de raíz disminuye un 18% con el incremento de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  de 0 a 4 meq  $\text{L}^{-1}$  en la SN. Este mismo efecto se presenta en la producción de materia seca de tallo, peso seco de hoja, peso seco total y en el rendimiento (4%, 8.3%, 7.9%, 6.7%, respectivamente).

La producción de materia seca de raíz disminuye 9.2 % al incrementar la concentración de K de 7 a 9 meq $\text{L}^{-1}$  en la SN. Este mismo efecto se presenta en la producción de materia seca de tallo, peso seco de hoja, peso seco total y en el rendimiento (7.6%, 4.6%, 5.8% y 1.6%, respectivamente).

Al incrementar la concentración de Ca de 9 a 11 meq $\text{L}^{-1}$  en la SN disminuye la materia seca de raíz a un 5.4%. Este efecto es similar en la producción de materia seca de tallo y peso seco de hoja (4.9%, 5.3%, respectivamente), mientras que para el peso seco total y rendimiento no hubo diferencia significativa (Cuadro 1).

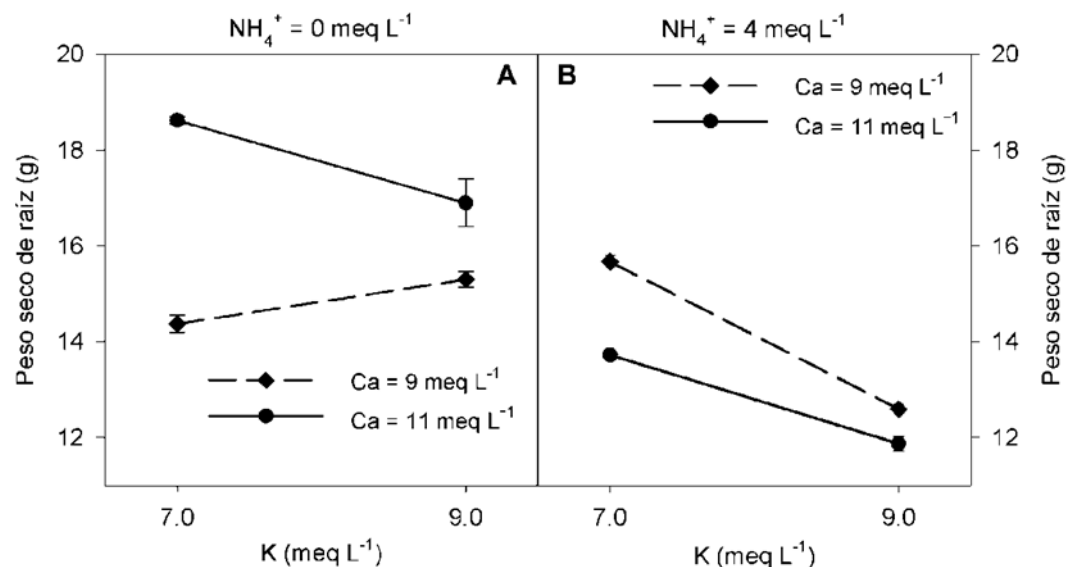
**Cuadro 2.** Efecto de las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en la producción de biomasa de los diferentes órganos, total y rendimiento de plantas de tomate cv. Clermon.

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	Peso seco de raíz (g)	Peso seco de tallo (g)	Peso seco de hoja (g)	Peso seco total (g planta <sup>-1</sup> )	Rendimiento (Kg planta <sup>-1</sup> )
0	16.30a	57.87a	136.11a	210.29 <sup>a</sup>	3.87a
4	13.45b	55.76b	124.37b	193.57b	3.61b
K (meq L <sup>-1</sup> )					
7	15.60a	59.08a	133.36a	208.02a	3.77a
9	14.17b	54.55b	127.12b	195.82b	3.71b
Ca (meq L <sup>-1</sup> )					
9	15.28a	58.26a	133.80a	203.64	3.75
11	14.45b	55.37b	126.68b	200.22	3.73
ANOVA					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	≤ 0.001	≤ 0.04	≤ 0.001	≤ 0.001	≤ 0.001
K	≤ 0.001	≤ 0.001	≤ 0.01	≤ 0.001	≤ 0.02
Ca	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.01	ns	ns
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> *K	≤ 0.001	ns	≤ 0.001	≤ 0.002	≤ 0.001
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> *Ca	≤ 0.001	ns	≤ 0.01	≤ 0.001	≤ 0.002
K *Ca	ns	ns	ns	ns	ns
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> *K *Ca	≤ 0.01	≤ 0.03	≤ 0.07 ns	≤ 0.01	≤ 0.004
CV (%)	5.3	4.9	4.7	3.4	1.9

$P \leq$  ns, 0.05, 0.01 y 0.001= no significativo y significativo; ANOVA= análisis de varianza; CV= coeficientes de variación. Las letras a y b son las categorías obtenidas de la comparación de media con Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

El efecto de las concentraciones de K y Ca en el peso seco de raíz depende de la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Figura 1). Las plantas que fueron irrigadas con soluciones que no contenían NH<sub>4</sub><sup>+</sup> registran un aumento en el peso seco de este órgano, siendo más marcada con 7 y 11 meq L<sup>-1</sup> de K y Ca, respectivamente (Figura 1A). Sin embargo, en aquellas plantas que recibieron NH<sub>4</sub><sup>+</sup> disminuye el peso seco, pero este decrece más con el incremento de la concentración de K y Ca en la solución nutritiva (Figura 1B). Esto se debe a que al NH<sub>4</sub><sup>+</sup> debe ser incorporado inmediatamente a los esqueletos carbonados, y si no existen carbohidratos disponibles para este proceso el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se acumula a niveles tóxicos dentro de la raíz, por lo que ejerce detención del crecimiento y reducción de la absorción de K. La

disminución de la biomasa de raíz puede ser debido a un exceso de  $\text{NH}_4^+$  en el medio de crecimiento, pues Magalhaes y Huber (1989) indican que el  $\text{NH}_4^+$  inhibe el crecimiento de las raíces, probablemente por la acidificación del medio relacionado con la constante absorción de cationes. Al respecto, Guo *et al.* (2001) realizaron un estudio en *Phaseolus vulgaris* L., cultivadas en un sistema de raíces separadas utilizando una solución nutritiva de 5 mM de N ( $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$  como fuentes), encontrando que la porción con solución de  $\text{NO}_3^-$  presentaron mayor desarrollo por lo que produjeron más del doble de materia seca de raíz comparadas con las que fueron abastecidas con  $\text{NH}_4^+$ .

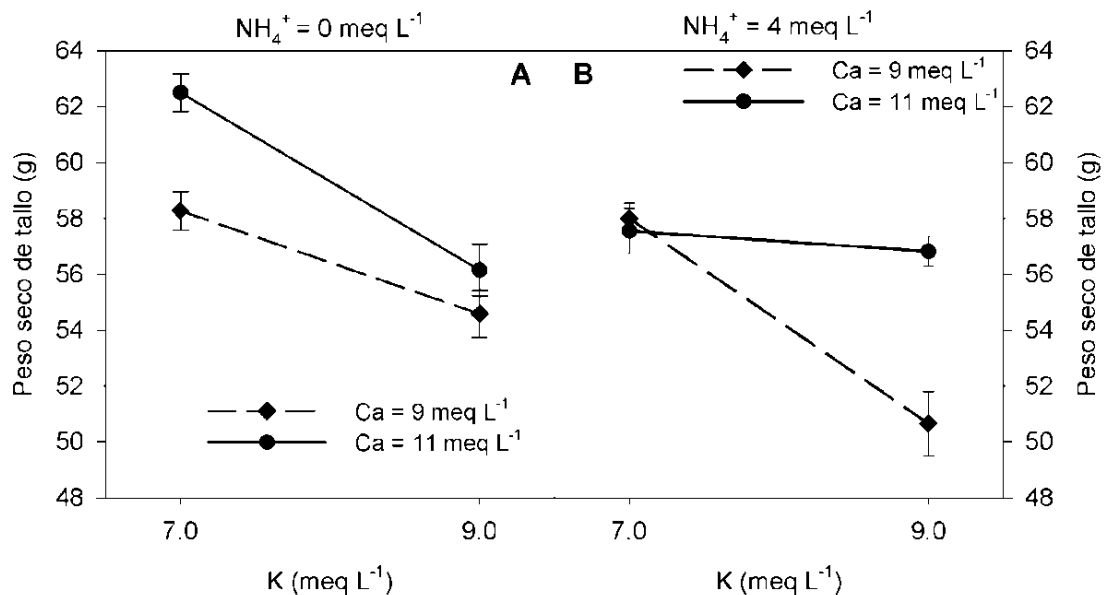


**Figura 1.** Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el peso seco de raíz de plantas de tomate cv. Clermon. Las barras indican el error estándar de las medias.

El peso seco de tallo se ve afectado por la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y K en la SN (Figura 2). Con el incremento de la concentración de K en la SN



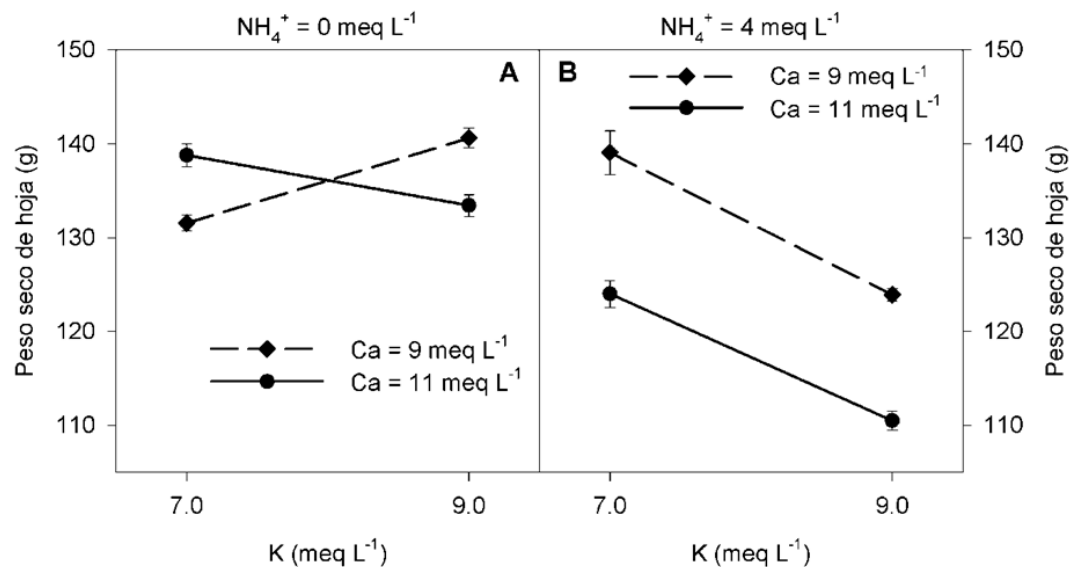
disminuye la biomasa de tallo, pero con una concentración de 7 y 11 meq L<sup>-1</sup> de K y Ca, respectivamente, se presenta la mayor producción de biomasa en aquellas plantas irrigadas sin NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Figura 2A). En aquellas plantas nutridas con 4 meq L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> registran mayor disminución de la biomasa de tallo, principalmente al usar una concentración mayor de K y Ca (Figura 2B). Estos resultados difieren por lo reportado con Tucuch *et al.* (2011) quienes señalan que al aplicar 20% de HN<sub>4</sub><sup>+</sup> a la SN no incrementan el diámetro de tallo en plantas de chile habanero.



**Figura 2.** Efecto de la concentración de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), potasio (K) y calcio (Ca) en el peso seco de tallo de tomate cv. Clermon. Las barras indican el error estándar de la media.

Para el peso seco de hoja en aquellas plantas nutridas con una SN sin NH<sub>4</sub><sup>+</sup> incrementa el peso de este órgano con el aumento de la

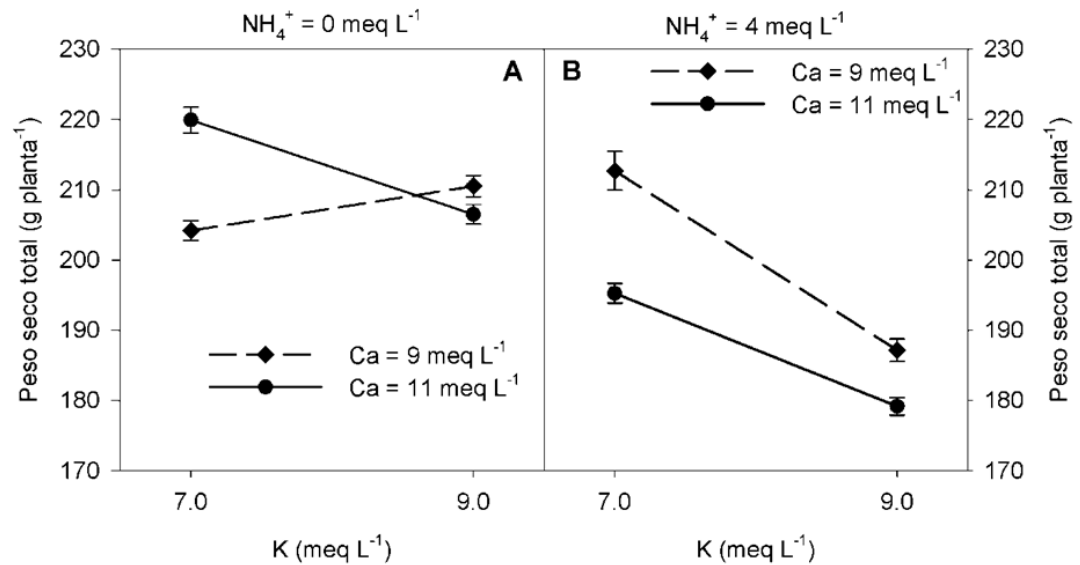
concentración de K y una baja concentración de Ca, pero con una mayor concentración de Ca y K en la SN disminuye el peso seco de la hoja (Figura 3A). Mientras que las plantas nutridas con SN que contenían  $\text{NH}_4^+$ , decrece el peso de este órgano con el incremento de la concentración de K y Ca (Figura 3B). Estos resultados concuerdan con Ho (1996) al reportar que aplicando 15% de N en forma de  $\text{NH}_4^+$  el peso seco de hoja fue reducido en forma significativa en un 7.7% respecto a cuándo no se aplicó N en forma amoniacal.



**Figura 3.** Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el peso seco de hoja de plantas de tomate cv. Clermon. Las barras indican el error estándar de la media

Una concentración baja y alta de K y Ca incrementa la biomasa total de plantas, sin embargo, al incrementar la concentración de K la biomasa total disminuye (Figura 4A) en plantas nutridas sin  $\text{NH}_4^+$ . Mientras que las

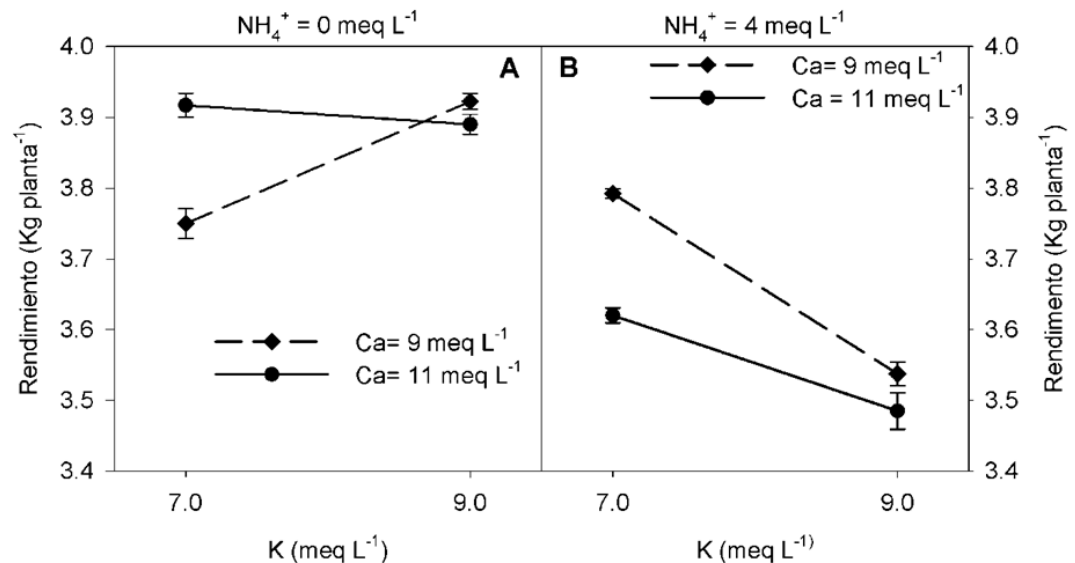
plantas nutridas con SN que contiene  $\text{NH}_4^+$  en general registran una disminución de la biomasa total, pero esta reducción es aún mayor con el incremento de la concentración de K y Ca (Figura 4B). Esto sugiere que la concentración de  $\text{NH}_4^+$  empleada en este experimento fue superior a la recomendada, ya que afectó de manera negativa la producción de biomasa total. Relacionado a lo anterior, Jingquan y Dewei (1988) mencionan que una concentración de 20% de  $\text{NH}_4^+$  en la SN favorece el crecimiento de la planta de tomate. Mientras que Elliot y Nelson (1983) afirman que la adición de  $\text{NH}_4^+$  a la SN en concentraciones menores de 30% de N total incrementa la tasa de crecimiento en plantas de crisantemo. Con una baja concentración de K y Ca en la SN la disminución de la biomasa no fue muy marcada, esto puede ser debido a que estos iones tienen una competencia directa en la absorción, de acuerdo con Roosta y Chjoerring, (2007) señalan que la concentración de K igual a 5 mM disminuye la toxicidad de las plantas de calabacita causada por  $\text{NH}_4^+$  pues fue mayor el crecimiento de estas plantas comparando con 0.6 mM de K.



**Figura 4.** Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el peso seco de total de plantas de tomate cv. Clermon. Las barras indican el error estándar de la media.

El rendimiento de fruto en aquellas plantas que recibieron una SN sin  $\text{NH}_4^+$  tuvo un incremento de este con el aumento de la concentración de K y Ca, así como, en aquellas que fueron irrigadas con 7 y 11 meq L<sup>-1</sup> de K y Ca, respectivamente, comparando con las plantas que fueron irrigadas con soluciones que contenían una baja concentración de estos elementos (Figura 5A). No obstante, las plantas que fueron nutridas con soluciones que contenían  $\text{NH}_4^+$  registran una disminución del rendimiento, pero este fue más marcado en plantas que fueron irrigadas con soluciones que contenían una elevada concentración de K y Ca (Figura 5B). Estos resultados no concuerdan con lo reportado por Siddiqi *et al.* (2002) y Bialczyk *et al.* (2007), quienes indican que al añadir 10% y 20% del nitrógeno en forma de  $\text{NH}_4^+$  a la SN, obtuvieron un incremento de 15% y

20% en el rendimiento de tomate cv. TrustF1 y PerkozF1, respectivamente. Esto indica que la disminución del rendimiento puede ser debido a una toxicidad por el  $\text{NH}_4^+$  pues estas plantas fueron sometidas a una alta concentración de este ion. Por su parte, González *et al.* (2009) reporta que la aplicación de 20% de  $\text{NH}_4^+$  favorece el rendimiento del cultivo de albahaca aumento 15%, mientras que en el cultivo de eneldo el aumento fue de 40% con la aplicación de  $\text{NH}_4^+$  a la SN. En pimiento se ha reportado, el aumento de K en la solución nutritiva a 9 mM permite a estas plantas tolerar hasta el 50% del N total como  $\text{NH}_4^+$  pues el rendimiento de la fruta no se vio afectado (Hernández-Gómez *et al.*, 2013).



**Figura 5.** Efecto de la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), potasio (K) y calcio (Ca) en el rendimiento de plantas de tomate cv. Clermon. Las barras indican el error estándar de la media

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados sugiere que la planta de tomate cv. clermon es sensible al amonio, pues al aplicar 33% de la concentración de N total disminuye la producción de biomasa total y de rendimiento de fruta por planta.

El incremento de la concentración de K y Ca aumenta el rendimiento de fruto.

El  $\text{NH}_4^+$ , K y Ca es probable que compiten entre ellos en la absorción (antagonismo), pues estos tres iones son de carga positiva, por lo tanto, esto afecta de manera negativa el crecimiento y rendimiento de las plantas.

## VI. LITERATURA CITADA

- Amtmann, A., Hammond, J. P., Armengaud, P. and White, P. J. 2006. Nutrient sensing and signalling in plants: potassium and phosphorus. *Adv Bot Res*, 43:209–257.
- Ananthanarayama, R. and Hanumantharaju, T. H. 1992. Interactions of Ca and Mg with other plant nutrients. In: H.L.S Tandon (Ed). 51-65.
- Barker, A., and Pilbean, D. J. 2007. Handbook of plant nutrition. New York: Taylor y Francis.
- Bar-tal, A. and Pressman, E. 1996. Root restriction and potassium and calcium solutions concentrations affect dry-matter production, cation uptake and blossom-end rot in greenhouse tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121:649-655.
- Bar-Tal, A., Aloni, B. Karni L. and Rosenberg, R. 2001a. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper: I. Effects of nitrogen concentration and NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub> ratio on yield, fruit shape, and the incidence of blossom-end rot in relation to plant mineral composition. *HortScience*, 36: 1244-1251.
- Bar-Tal, A., Aloni, B., Karni, L., Oserovitz, J., Hazan, A., Itach, M., Avidan, A., Posalski, I. and Rosenberg R. 2001b. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper: II. Effects of nitrogen concentration and

- NO<sub>3</sub>:NH<sub>4</sub> ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. HortScience 36: 1252-1259.
- Benton Jones, J. 2005. Hydroponics practical guide for the soilless grower. Washington, D.C.: CRC PRESS.
- Bernstein N., Ioffe M., Bruner M., Nishri Y., Luria G., Dori I., Matan E., Philosoph-Hadas S., Umiel N. and Hagiladi A. 2005. Effects of supplied nitrogen form and quantity on growth and postharvest quality of *Ranunculus asiaticus* flowers. HortScience. 40(6): 1879-1886.
- Bialczyk, J., Lechowski, Z., Dziga, D. and Mej, E. 2007. Fruit yield of tomato cultivated on media with bicarbonate and nitrate/ammonium as the nitrogen source. Journal of plant nutrition, 30(1), 149-161.
- Bould, C. and Tsai-Fua, C. 1976. Mobility of calcium in fruit plants. *Proc. 4th Intern. Coll. Gent* 1, 104-108.
- Broadley, M. R., Bowen, H. C., Cotterill, H. L., Hammond, J. P., Meacham, M. C., Mead A. and White P. J. 2004. Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. *J Exp. Bot*, 55:321–336.
- Calvin L., Cook, R. and Amber, W. 2005. North America greenhouse tomatoes emerge as a major make. USDA. Economic Research Service 1(3):20-27.
- Castellanos, J. Z. y Borbón,-M. C. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México Pp. 1-18 En: Castellanos, J.Z. y C. Borbón-Morales 2009. INTAGRI\_AMHPAC. Panorama de la agricultura



Protegida en México. Manual de Producción de tomate de invernadero. INTAGRI-México.

Chen, J., Gabelman, W. H. 1999. Potassium transport rate from root to shoot unrelated to potassium-use efficiency in tomato grown under low-potassium stress. *J. Plant Nutr.* 22: 621-631.

Cooper, T. and Bangerth, F. 1976. The effect of calcium and magnesium treatment on the physiology, chemical composition and bitter-pit development of "Cox orange" apples. *Sci. Hort.* 5: 49-57.

David, H., Both, A. J., Catalin, M., Logan, L., Tom, G., Tug-Ching, L., Harry, J., James, C. 2003. Manipulation of tomato fruit quality through temperature perturbations in controlled environments. American Society of Agricultural Engineers, Paper number: 03412.

De Kreij, C. 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. *Acta Hort.* 408: 47-61.

Díaz-Pérez J. C., Bautista, J., Bateman, A. and Gunawati, G. 2016. Sweet Onion (*Allium cepa*) Plant Growth and Bulb Yield and Quality as Affected by Potassium and Sulfur Fertilization Rates. *HortScience*, 51(12): 1592-1595.

Dolan, L. and Davies, J. 2004. Cell expansion in roots. *Curr Opin Plant Biol* 7:33–39.

Dorais, M., Papadopoulus, A. P. and Gosselin, A. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. *Hort. Rev.* 26: 239-319.

Egilla, J. N., Davies, F. T. and Drew, M. C. 2001. Effect of potassium on drought resistance of *Hibiscus rosa-sinensis* cv. Leprechaun: *Plant*

- growth, leaf macro- and micronutrient content and root longevity. *Plant Soil*, 229: 213-224.
- Epstein, E. 1961. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. *Planta fisiológica*. 36: 437-444.
- Espinoza, C. 2004. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah. México. Octubre 13,14 y 15 del 2004 [http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort04/03Prod\\_tomate\\_invernadero.pdf](http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort04/03Prod_tomate_invernadero.pdf). Página visitada el 10 diciembre 2009.
- Fageria, V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of plant nutrition*, 24(8): 1269-1290.
- Gerendas, J., Zhu, Z., Bendixen, R., Ratcliffe, R. G. and Sattelmacher, B. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenern. Bodenk* 160: 239-251.
- Gill, M. A., and Reisenauer, H. M. 1993. Nature and characterization of ammonium effects on wheat and tomato. *Agronomy Journal*, 85(4), 874-879.
- GUO, S., Brück, H., Gerendás, J., Sattelmacher, B. 2001. Effect of nitrogen form on water, N, and K uptake of *Phaseolus vulgaris* L. grown in a split-root system, pp. 220- 221. *In: Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems Through Basic and Applied Research*. HORST, W. J. (ed.). Kluwer Academic Publishers. USA. doi: 10.1007/0-306-47624-X\_106

- Hernández-Gómez, E., Valdez-Aguilar L.A., Castillo-González Ana M., Colinas-León M.T., Cartmill D.L., Cartmill A.D. and Lira-Saldívar R. H. 2013. Supplementary Potassium Sustains Fruit Yield in Bell Pepper under High Ammonium Nutrition. *HortScience*, 48(12): 1530-1536.
- Hepler, P. K. 2005. Calcium: A central regulator of plant growth and development. *Plant Cell*. 17: 2142-2155.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V. P., Guzmán, M. y Zapata M. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero. Corpoica, Centro de Investigaciones La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 48 p.
- Jingquan, Y. and Dewei C. 1988. Effects of different nitrogen forms on tomato grown in carbonized rice hull. *Soilless Culture* 4: 51-61.
- Jones, J. B. 1999. Tomato plant culture: In the field, greenhouse, and home garden. CRC Press LLC, Florida. 11-53.
- Kays, S. J. 1991. Postharvest physiology of perishable plant products. AVI Books, New York.
- Knight H. 1999. Calcium signaling during abiotic stress in plants. *International Review of Cytology*, 95: 269-324.
- Kraiser, T., Gras, D. E., Gutierrez, A. G., Gonzalez, B. and Gutierrez R. A. 2011. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *Journal of Experimental Botany*. 62(4): 1455-1466.
- Kwak, Y. W., Min, B. H. and Lee, J. M. 1989. Effects of nitrogen source on growth and fruit development of tomatoes grown in nutrient

- solution. Cated Papers Abstracts of Communicated Horticultural Science 7: 60-61.
- Lasa, B., Frechilla, S., Lamsfus, C. and Aparicio-Tejo P. M. 2001. The sensitivity to ammonium is related to nitrogen accumulation. *Scientia Horticulturae*. 91:143-152.
- Leigh, R A. and Wyn Jones, R. G. 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.
- Lorenzo, H., Cid M. C., Siverio, J. M. and Caballero, M. 2000. Influence of additional ammonium supply on some nutritional aspects in hydroponic rose plants. *Journal of Agricultural Science*. 134:421-425.
- Magalhães, J. R., Huber, D. M. 1989. Ammonium assimilation in different plant species as affected by nitrogen form and pH control in solution culture. *Fertilizer Research* 21(1): 1-6.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, San Diego, California.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. San Diego, California. USA.
- Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd ed; Academic Press: London, UK, pp. 178–189.
- Marti, H. R. and Mills, H. A. 1991. Calcium uptake and concentration in bell pepper plants as influenced by nitrogen form and stage of development. *Journal of Plant Nutrition* 14: 1165-1175.

- McLaurin, W. J. 1998. Blossom-end rot. Horticulture Fact Sheet H-98-036. The University of Georgia College of Agricultural & Environmental Sciences Cooperative Extension Service.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. 5th ed., Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. pp: 849 México. 366 p.
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Traducción al Español de la 4ª edición (1987) de R. J.MELGAR Y M. RUÍZ. Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. Mississippi, US. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississippi. USA. Publicación N° 2419. 24 p.
- Mouline, K., Very, A. A., Gaymard, F., Boucherez, J., Pilot, G., Devic, M., Bouchez, D., Thibaud, J. B. and Sentenac, H. 2002. Pollen tube development and competitive ability are impaired by disruption of a Shaker K<sup>+</sup> channel in Arabidopsis. *Gene Dev* 16:339–350.
- Navarro, B. S. y Navarro, G. G. 2003. Química Agrícola; el suelo y los elementos químicos esenciales. 2ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- Nukaya, A., Goto, K., Jang, H., Kano, A. and Ohkawa, K. 1995. Effect of NH<sub>4</sub>-N level in the nutrient solution on the incidence of blossom-end rot and gold specks on tomato fruit grown in rockwool. *Acta Hort.* 401, 381-388.
- Olivares, E., García, N. E., Molina, M., Martínez, J. 2008. Producción de Tomate en Invernadero. Curso Teórico Práctico. Universidad

- Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León.  
101p.
- Paiva, E. A. S., Sampaio, R. A. and Martínez, H. E. P. 1998. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solution containing different calcium concentrations. *J. Plant Nutr.* 21: 2653-2661.
- Pardo, J. M., Cubero, B., Leidi, E. O. and Quintero, F. J. 2006. Alkali cation exchangers: roles in celular homeostasis and stress tolerance. *J Exp Bot* 57:1181–1199.
- Passam, H. C., Karapanos, I. C., Bebeli, P. J. and Savvas, D. 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1(1): 1-21.
- Pérez-Rivas, M. B., Albarracín, M., Moratinos, H. y Zapata Navas F. 2012. Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones protegidas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 395-412.
- Pérez, J., Hurtado, G., Aparicio, V., Argueta, Q., y Larin, M. A. 2002. Guía Técnica, cultivo de tomate. CENTA, Centro Nacional de Tecnologías Agropecuarias y Forestales. San Salvador, El Salvador. 49 p.
- Pettigrew, W. T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol Plant* 133:670–681.

- Pill, W. G. and Lambeth, V. N. 1980. Effects of soil water regime and nitrogen form on blossom-end rot, yield, water relations and elemental composition of tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 105: 730-734.
- Plieth C. 2005. Calcium: Just another regulator in the machinery of life?. *Ann Bot-London*. 96: 1-8.
- Ramírez, M. M., Trejo-Téllez, L. I., Gómez, M. F. C. y Sánchez, G. P. 2010. La Relación  $K^+/Ca$  de la Solución Nutritiva Afecta el Crecimiento y Calidad Postcosecha del Tulipán. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(2): 149–156.
- Resh, M. H. 2006. *Cultivos Hidropónicos*. 5ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- Rodríguez, S. 2003. Forraje verde hidropónico. *Memorias del Congreso Internacional de Hidroponía 2003*. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
- Roosta, H.R. and Schjoerring J.K. 2007. Effects of Nitrate and Potassium on Ammonium Toxicity in Cucumber Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 31(7): 1270-1283.
- Ruiz-Santaella, J. L. 2002. Tipo y especificaciones de calidad en el cultivo de tomate. *Vida Rural*. Nº 148. Ediciones Eumedia S.A., Madrid, España. ISBN: 133-8938, p. 840-842.
- Salsac, L., Chaillou, S., Morot-Gaudry, J., Lesaint, C. and Jolivet, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25: 805-812.

- Villa, M. S., González, G. A., Torres, J. L. T., and Santelises, A. A. 1992. Effect of the NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> ratio on GS and PEPCase activities and on dry matter production in wheat. *Journal of plant nutrition*, 15(11), 2545-2557.
- Sano T., Higaki, T., Handa, K., Kadota, Y., Kuchitsu, K., Hasezawa, S., Hoffmann, A., Endter, J., Zimmermann, U. and Hedrich, R. 2006. Calcium ions are involved in the delay of plant cell cycle progression by abiotic stresses. *FEBS Letters*, 580(2): 597-602.
- Shear, C. B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *Hort Science* 10: 361-365.
- Siddiqi, M. Y., Malhotra, B., Min, X. and Glass, A. D. M. 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165:191-197.
- Simonne, E., Simonne, A. And Wells, L. 2001. Nitrogen source affects crunchiness, but not lettuce yield. *Journal of PlantNutrition.* 24(4, 5):743-751.
- Snyder, R. G. 2006. Guía del cultivo del tomate en invernaderos. Mississippi State University Extension State.
- Sonneveld, C. and Straver, N. 1994. Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates. No 8, series: Voedingsoplossingen glastuinbouw. 10th ed. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk, Proefstation voor de Bloemisterij te Aalsmeer. 45 pp.



- Sonneveld, C. and Voogt. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 431 pp.
- Syngenta, 2010. Boletín Técnico, Producción de Tomate Bajo Invernadero. Segunda Edición. Syngenta Agro S.A de C.V México, D.F.
- Szczerba, M. W., Britto, D. T. and Kronzucker, H. J. 2006. Rapid, futile  $K^+$  cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley. *Plant Physiol.* 141:1494-1507.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. Fisiología Vegetal. 3ª ed. Editorial Universitat Jaume. Brasil.
- Voogt, W. 1998. The growth of beefsteak tomato as affected by K/Ca ratios in the nutrient solution. Glasshouse Crops Research Station Naaldwijk, The Netherlands.
- Watanabe, T., Broadley M. R, Jansen, S., White, P. J., Takada, J., Satake, K., Takamatsu, T., Tuah, S. J. And Osaki, M. 2007. Evolutionary control of leaf element composition in plants. *New Phytol* 174:516-523.
- Wilcox, G. E., Hoff, J. E. and Jones, C. M. 1973. Ammonium reduction of calcium and magnesium content of tomato and sweet corn leaf tissue and influence on incidence of blossom end rot of tomato fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 98: 86-89.