

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
MAESTRIA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA**



**RELACION  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  EN PLANTAS DE PIMIENTO MORRÓN CON  
DESPUNTE TEMPRANO**



**ING. OCTAVIO GONZÁLEZ CHÁVEZ**

**Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:  
Maestro en Agricultura Protegida**

**Xalisco, Nayarit; Junio de 2018**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT**  
**MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA**



**RELACIÓN  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  EN PLANTAS DE PIMIENTO MORRÓN CON DESPUNTE TEMPRANO**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:  
Maestro en Agricultura Protegida**

**Presenta:  
Ing. Octavio González Chávez**

**Comité tutorial:**

Director: Dr. Rubén Bugarín Montoya  
Co-Director: Dr. Gelacio Alejo Santiago  
Asesora: Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

Xalisco, Nayarit; Junio 2018.



## MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA

MIAP/138/18.

Xalisco, Nayarit; 01 de octubre de 2018.

**ING. JOSÉ ERNESTO VILLANUEVA TREJO**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**PRESENTE**

Con base al oficio de fecha 01 de octubre del presente enviado por los CC. **Dr. Rubén Bugarín Montoya, Dr. Gelacio Alejo Santiago y Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete**, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, por tanto se autoriza su impresión, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza el **C. Octavio González Chávez**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado del Programa de Maestría en Agricultura Protegida.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"Por lo nuestro a lo Universal"



**JHONATHAN CAMBERO**  
**Dr. Octavio Jhonathan Cambero Campos**  
**Coordinador**

c.c.p. El interesado.  
c.c.p. Archivo



Xalisco, Nayarit: 18 de Junio de 2018

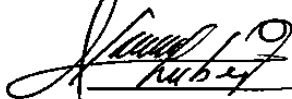
**DR. AGUSTÍN ROBLES BERMÚDEZ**  
**COORDINADOR DEL POSGRADO MIAP**  
**P R E S E N T E**

Los suscritos integrantes del Comité Tutorial para asesorar la tesis titulada: **“RELACIÓN  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  EN PLANTAS DE PIMIENTO MORRÓN CON DESPUNTE TEMPRANO”**, que presenta el **C. Octavio González Chávez**, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN AGRICULTURA PROTEGIDA**

Atentamente:

Director:



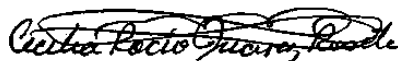
Dr. Rubén Bugarín Montoya

Co-Director:



Dr. Gelacio Alejo Santiago

Asesora:



Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

# RELACIÓN $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ EN PLANTAS DE PIMIENTO MORRÓN CON DESPUNTE TEMPRANO

Octavio González Chávez

## RESUMEN

En los sistemas de producción de pimiento morrón en invernadero, la solución nutritiva y el sistema de conducción, son primordiales para el éxito del cultivo. El objetivo del presente estudio, fue evaluar el efecto de distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva en el crecimiento, rendimiento de fruto y estado nutrimental de dos variedades de pimiento morrón, Avante y Tribeka, manejadas con un sistema de despunte temprano de los ápices de crecimiento por encima de la cuarta bifurcación. El experimento fue desarrollado en condiciones de invernadero y en sistema hidropónico de circuito abierto, en contenedores con un volumen de 10 L de sustrato de roca volcánica basáltica roja. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 4x2 con cinco repeticiones. El mayor rendimiento se obtuvo con la relación 90/10  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en combinación con despunte temprano, reduciendo el ciclo de cultivo a cuatro meses de trasplante a cosecha, con un rendimiento potencial anual de hasta  $17 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . No hubo diferencia significativa en rendimiento de fruto en ambas variedades, sin embargo, Avante obtuvo mayor biomasa seca acumulada. La concentración foliar de N aumentó significativamente conforme se incrementó la proporción de  $\text{NH}_4^+$ , mientras que la concentración foliar de Mg, disminuyó de manera significativa.

**Palabras claves:** Pimiento morrón, nitrato/amonio, despunte temprano.

# **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> RATIO IN PLANTS OF BELL PEPPER WITH EARLY BLUNTING**

**Octavio González Chávez**

## **ABSTRACT**

In greenhouse bell pepper production systems, the nutrient solution and the conduction system are primordial to the success of the crop. The objective of the present study, was to evaluate the effect of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ratios in the nutrient solution on the growth, fruit yield and nutritional status of two bell pepper varieties, Avante y Tribeka, managed with a system of early blunting of the growth apex above the fourth bifurcation. The experiment was developed under greenhouse conditions and in an open circuit hydroponic system, in containers with a volume of 10 L of substrate of red basaltic volcanic stone. The experimental design utilized was the completely randomized, with a 4x2 factorial arrangement with five repetitions. The highest yield was obtained with the 90/10 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ratio in combination with early blunting, reducing the crop cycle to four months from transplant to harvest, with an annual potential yield of up to 17 kg·m<sup>-2</sup>. There was no significant difference in fruit yield in both varieties, however, Avante obtained higher cumulative dry biomass. The foliar concentration of N increased significantly as the proportion of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> increased, while the foliar concentrations of K and Mg, decreased significantly.

**Keywords:** Bell pepper, nitrate/ammonium, early blunting.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres María Esther Chávez Murillo y Andrés González Rogero, por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida, por ser mis pilares y mi fuerza para seguir adelante, porque sin ellos difícilmente estaría en este punto de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para mis estudios de posgrado.

A mi Comité Tutorial: Dr. Rubén Bugarín Montoya, Dr. Gelacio Alejo Santiago y Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete por brindarme su apoyo durante la ejecución de este proyecto de investigación.

A la Dra. Beatriz Guillermina Arrieta Ramos por su amistad, apoyo incondicional y consejos durante la ejecución de este proyecto de investigación.

Al Ing. Félix Rodríguez Cienfuegos por su amistad, apoyo y paciencia brindada durante la fase de análisis químico en laboratorio.

A mis amigos y compañeros que de alguna forma contribuyeron para cumplir esta meta.

*A mis padres,  
todo esto ha sido posible gracias a ustedes*



## CONTENIDO

CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS DEL APÉNDICE.....	iv
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 Importancia del cultivo de pimiento a nivel mundial y nacional .....	4
2.2 Taxonomía y morfología del pimiento.....	4
2.3 Solución nutritiva.....	6
2.4 El $\text{NH}_4^+$ en la plantas.....	8
2.5 El $\text{NO}_3^-$ en la planta.....	9
2.6 Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ y su efecto en el crecimiento y rendimiento de los cultivos.....	10
2.7 Sistemas comerciales de conducción de pimiento en invernadero.....	12
2.8 Estudios en despunte temprano como sistema alternativo de conducción .....	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Localización.....	14
3.2 Material vegetal .....	14
3.3 Siembra y establecimiento del experimento .....	14
3.4 Solución nutritiva.....	14
3.5 Poda y tutorado .....	16
3.6 Tratamientos y diseño experimental .....	16
3.7 Variables de respuesta.....	16
3.8 Análisis estadístico.....	17
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
4.1 Rendimiento de fruto y sus componentes por planta y por unidad de superficie.....	18
4.1.1 Variedades.....	18
4.1.2 Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .....	19
4.1.3 Interacción variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .....	21
4.2 Biomasa seca acumulada.....	27
4.2.1 Variedades.....	27
4.2.2 Relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .....	28
4.3 Concentración nutrimental foliar .....	28
4.3.1 Variedades.....	29
4.3.2 Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .....	30
4.3.3 Interacción variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .....	32
4.4 pH de la solución drenada .....	34
5 CONCLUSIONES .....	35
6 LITERATURA CITADA.....	36
7 APÉNDICE .....	47

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pag.
1	Composición química de la solución universal de Steiner (Steiner 1961).....	7
2	Descripción de las relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ empleadas en los tratamientos.....	15
3	Composición química de las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento.....	15
4	Composición química, pH y conductividad eléctrica del agua utilizada en el experimento para la preparación de las soluciones nutritivas.....	15
5	Análisis de varianza para rendimiento de fruto y sus componentes por planta y unidad de superficie, estudiadas en dos variedades de pimiento morrón con distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ y despunte temprano.....	18
6	Comparación de medias de variedades Avante y Tribeka para rendimiento de fruto y sus componentes por planta y unidad de superficie.....	19
7	Comparación de medias de relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ para rendimiento de fruto y sus componentes por planta y unidad de superficie.....	20
8	Análisis de varianza para biomasa seca acumulada, estudiada en dos variedades de pimiento morrón con distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ a despunte temprano.....	27
9	Comparación de medias de variedades Avante y Tribeka para biomasa seca acumulada.....	27
10	Comparación de medias de relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ para biomasa seca acumulada.....	28
11	Análisis de varianza para la concentración foliar (%) de N, Ca, K y Mg, estudiadas en dos variedades de pimiento morrón con distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ a despunte temprano.....	29
12	Comparación de medias de variedades Avante y Tribeka para la concentración foliar (%) de N, Ca, K y Mg.....	29
13	Comparación de medias de relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ para la concentración foliar (%) de N, Ca, K y Mg.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pag.
1	Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable peso medio de fruto ( $\text{g}\cdot\text{fruto}^{-1}$ ). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P < 0.05$ ).....	22
2	Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable número de frutos por planta. Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $P < 0.05$ ).....	23
3	Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable número de fruto por $\text{m}^2$ . Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P < 0.05$ ).....	24
4	Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable producción de fruto por planta ( $\text{kg}\cdot\text{planta}^{-1}$ ). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P < 0.05$ ).....	25
5	Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable rendimiento de fruto ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P < 0.05$ ).....	25
6	Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre concentración foliar (%) de potasio. Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P < 0.05$ ).....	32
7	Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre concentración foliar (%) de calcio. Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P < 0.05$ ).....	33

## ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro No.		Pag.
1A	Efecto de la Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable peso medio de fruto ( $\text{g}\cdot\text{fruto}^{-1}$ ). .....	47
2A	Efecto de la Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable rendimiento de fruto ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). .....	47
3A	Efecto de la Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable número de frutos por planta. ....	47
4A	Efecto de la Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable producción de fruto por planta ( $\text{kg}\cdot\text{planta}^{-1}$ ). .....	48
5A	Efecto de la Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable número de frutos por $\text{m}^2$ . .....	48
6A	Efecto de la Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable concentración foliar (%) de potasio. ....	48
7A	Efecto de la Interacción de la variedad * relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la variable concentración foliar (%) de calcio. ....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS DEL APÉNDICE

Figura No.		Pag.
1A	Figura 1A. pH de la solución drenada a través del tiempo en dos variedades de pimiento morrón a despunte temprano con distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .....	50
2A	Figura 2A. pH de la solución drenada a través del tiempo con distintas relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .....	51

## 1 INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es uno de los principales cultivos hortícolas producidos en campo abierto e invernadero a nivel mundial. México es el principal proveedor de este producto al mercado de Estados Unidos y Canadá, poniendo de manifiesto la importancia que este cultivo representa y el crecimiento de la industria de la agricultura protegida en nuestro país, dada la demanda generada por el mercado de exportación (Díaz, 2013). Adicionalmente se caracteriza por ser uno de los principales países productores y consumidores de este cultivo, su ubicación geográfica, variabilidad climática, diversidad de material vegetal y la domesticación de esta especie, brinda un impacto positivo por el valor que representa a la producción agrícola (Latournerie *et al.*, 2001). Los estados con mayor producción son Sinaloa, Sonora y Guanajuato, con una producción de 152,431.37, 2,116.25 y 1,660.00 toneladas respectivamente, con un valor aproximado de 3,600 millones de pesos (SIAP, 2016). La producción interna actual satisface en su totalidad la demanda nacional; asimismo, las importaciones mundiales han aumentado más del 30 % en la última década, lo que ha generado un incremento en las exportaciones mexicanas (SAGARPA, 2017).

En México existen distintos sistemas de conducción en pimiento, la mayoría de los invernaderos utilizan el tipo holandés o poda en V, el cual consiste en conducir a la planta a dos tallos mediante la poda de una de las ramas en cada bifurcación, durante 10 meses aproximadamente. El sistema es delicado en su manejo y el costo de producción por kilogramo es elevado (Paschold y Zengerle, 2000). Un sistema alternativo de menor costo, es el despunte temprano, el cual permite detener el crecimiento de las plantas al eliminar los ápices de crecimiento, una vez formada las primeras tres o cuatro bifurcaciones. Mediante este procedimiento se acorta el ciclo de cultivo a cuatro o cinco meses después del trasplante y da lugar a que se pueda establecer al menos dos a tres ciclos de cultivo por año. El rendimiento por planta con este sistema, suele ser menor pero se compensa por unidad de superficie,

dado que la densidad de población es mayor comparado con lo que se emplea de manera comercial (Sánchez *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2009). A nivel experimental, se ha utilizado en cultivos de pimiento, efectuando el despunte arriba de la tercera y cuarta bifurcación, demostrando que potencialmente podrían lograr una productividad anual igual o mayor a los sistemas de poda europeos, pero con tecnologías más sencillas y menores costos de producción (Cruz *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2009). Cabe destacar que el éxito de un sistema de producción de este tipo, no depende solo del sistema de conducción, sino también de la composición y concentración de iones en la solución nutritiva.

En la nutrición de los cultivos, de los 17 elementos reconocidos como esenciales para las plantas, el nitrógeno es el que mayor efecto ejerce sobre el crecimiento y rendimiento, al promover la producción de ramas, hojas y frutos (Martínez *et al.*, 2008). Las principales formas de absorción de nitrógeno por las plantas es en forma de iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , y ambos pueden estar presentes en una solución nutritiva en concentraciones apropiadas. Diversas investigaciones demuestran que una relación adecuada de estos dos iones, puede incrementar el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Chang *et al.*, 2010; Liu, *et al.* 2017), pero solo bajo ciertas circunstancias; y el efecto benéfico varía entre especies (Tucuch-Haas *et al.*, 2012), tales como el grado de desarrollo, las condiciones ambientales y la concentración total de nitrógeno suministrado (Claussen, 2002; Kotsiras *et al.*, 2002). En sistemas hidropónicos, el ion presente en mayor cantidad suele ser  $\text{NO}_3^-$ , y el  $\text{NH}_4^+$  regularmente no excede el 10% de la cantidad total de nitrógeno utilizado en la solución nutritiva como lo sugiere Steiner (1984). Sin embargo Lemaire (2005) reporta que la proporción de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno nítrico puede llegar hasta un 20%. Un inadecuado suministro en la relación  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  podría ser perjudicial al cultivo por los efectos de toxicidad y alteraciones en el metabolismo que se pueden presentar por elevadas concentraciones de nitrógeno (Sheng-Xiu *et al.*, 2013).

En este orden de ideas, el objetivo e hipótesis planteados en la presente investigación fueron los siguientes:

### **1.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva en el crecimiento, rendimiento de fruto y estado nutrimental de pimiento morrón con despunte temprano.

### **1.2 Hipótesis**

El suministro de nitrógeno mediante distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva en combinación con despunte temprano, influyen en el crecimiento, rendimiento y estado nutrimental de pimiento morrón.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia del cultivo de pimiento a nivel mundial y nacional

El cultivo de pimiento morrón se encuentra distribuido en las regiones templadas y cálidas de todo el mundo (Guzmán y Limón, 2000), lo que le ha permitido ubicarse como una de las principales hortalizas con mayor superficie cultivada agricultura protegida (López *et al.*, 2016).

Los principales países productores de pimiento son China, México y Turquía con una producción de 16,120,406, 2,732,635 y 2,127, 944 toneladas respectivamente. Nuestro país aporta el 8.45% de la producción mundial total (FAOSTAT, 2014).

Aunque México es el país que posee una mayor variabilidad genética de *Capsicum*, curiosamente no es el productor más importante de chiles (Latournerie *et al.*, 2001). El bajo nivel de tecnología de producción y uso de cultivos criollos son la principal causa (Borges, 2006). Los estados con mayor producción de pimiento son Sinaloa, Sonora y Guanajuato, con una producción de 152,431.37, 2,116.25 y 1,660.00 toneladas respectivamente, con un valor aproximado de 3,600 millones de pesos (SIAP, 2016).

La producción interna actual de México satisface en su totalidad la demanda nacional; asimismo, las importaciones mundiales han aumentado más del 30% en la última década, lo que genera un incremento en las exportaciones (SAGARPA, 2017), siendo el 90% destinado principalmente al mercado de Estados Unidos y Canadá (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010).

### 2.2 Taxonomía y morfología del pimiento

De acuerdo a Acevedo-Rodríguez y Strong (2012) la clasificación taxonómica es la siguiente:



Reino: Plantae

División: Spermatophyta.

Clase: Magnoliatae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Capsicum*

Especie: *annuum*

La planta de pimiento es de consistencia herbácea, anual y de porte erguido, logrando alcanzar alturas entre uno a dos metros o más en invernaderos (Fumero, 1992; Long *et al.*, 1998; Zamudio, 2006). Sus tallos son de forma cilíndrica o prismática angular y ligeramente lignificados (Urrestarazu y Salas, 2004). El tallo principal es de crecimiento limitado y erecto (Urrestarazu *et al.*, 2002), de ramificación dicotómica hasta el final de su ciclo (Long *et al.*, 1998; Valles *et al.*, 2009). Sus hojas son simples, lampiñas, de forma lanceoladas, con un ápice muy pronunciado y peciolo prolongado (Zamudio, 2006). La inserción en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad (Orellana, 2000). Sus flores son de color blanco, gamosépalas, simpétalas, hermafroditas, dotadas de cinco estambres y de pistilo súpero (Fumero, 1992). Su fruto es una baya hueca, de exocarpio verde, liso y brillante, que al madurar se torna de coloración roja, verde, amarilla o naranja según la variedad. Están formados por tres a cuatro carpelos, separados por tabiques incompletos a lo largo de la pared del fruto (Fumero 1992). Miden de 10 a 15 centímetros de longitud y pesan entre 200 y 500 gramos (Fumero 1992; Long *et al.*, 1998). Sus semillas son de color amarillo pálido, de forma aplanada, lisa, reniforme, cuyo diámetro alcanza entre dos y tres milímetros (Long *et al.*, 1998). Su germinación es epigea y su poder germinativo es alto (Fumero, 1992). Su raíz es axonomorfa, pivotante y profunda, puede alcanzar 70 a 100 cm o más si las condiciones físicas del suelo lo

permiten, mientras que sus raíces adventicias pueden alcanzar un crecimiento horizontal entre 50 y 90 cm de longitud (Cabello *et al.*, 2004).

### 2.3 Solución nutritiva

Con el descubrimiento de los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas y su disolución en agua, dio origen a lo que conocemos como solución nutritiva (Gil *et al.*, 2003). Esta disolución provoca la disociación de sales en sus correspondientes formas catiónicas y aniónicas asimilables para la planta. (Alarcón, 2002).

La composición química de una solución nutritiva, de acuerdo con Steiner (1961), está determinada por a) Relación mutua de cationes, b) Relación mutua de aniones, c) Concentración iónica total, y d) pH.

La respuesta de las plantas en crecimiento y desarrollo a la solución nutritiva depende de varios factores, el más importante de éstos es la concentración total de iones (Steiner, 1966), expresada como presión osmótica de la solución nutritiva, que es una propiedad fisicoquímica de las soluciones que depende de la cantidad de partículas, o solutos disueltos. Un aumento de la presión osmótica debido al incremento en el contenido de nutrientes o de otros iones en la solución nutritiva provoca que la planta realice un esfuerzo mayor para absorber agua y algunos nutrientes y por consiguiente un desgaste de energía metabólica (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

La relación mutua de aniones y cationes se basa en que la solución nutritiva debe estar regulada en sus nutrientes, los cuales corresponden a los aniones ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cationes ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ), generalmente los más usados para su preparación (Serna-Rodríguez *et al.*, 2011). Tal relación no es solo acerca de la cantidad total de cada ion en la solución, sino en la relación cuantitativa que mantiene unido a los iones: si la relación es incorrecta el rendimiento del cultivo se puede ver afectado

negativamente. De esta manera, la restricción del balance iónico hace imposible suministrar un ion sin introducir su contra ion (Steiner, 1961).

El pH de una solución nutritiva está determinado por la concentración de las bases y los ácidos, de tal manera que la proporción de cationes y aniones, y la concentración iónica total determinan el pH (Steiner, 1968). Por tanto cambiar el pH afecta su composición, especiación y disponibilidad de nutrientes. Una característica importante de la solución nutritiva es que deben contener los iones en solución y en formas químicas que puedan ser absorbidas por las plantas, por ello la productividad de una planta está estrechamente relacionada con la absorción de nutrientes y la regulación del pH (Steiner, 1961). De acuerdo con Lucas y Davis (1961) y Maya (2014) los elementos están disponibles en un rango de pH entre 5.5 a 6.5, por lo que las soluciones nutritivas deben ser mantenidas en esa condición.

Steiner diseñó la Solución Universal (Cuadro 1), la cual es ampliamente utilizada en el mundo, en su forma original o con algunas modificaciones. Además, muchas soluciones nutritivas diferentes a la de Steiner se han venido utilizado tanto de manera comercial como para investigación en temas de nutrición vegetal. La composición de las soluciones es un aspecto importante para lograr el éxito en el cultivo, sin embargo no existe una formulación única (Urrestarazu, 2000).

Cuadro 1. Composición química de la solución universal de Steiner (Steiner 1961).

meq L <sup>-1</sup>					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
12	1	7	7	9	4

## 2.4 El $\text{NH}_4^+$ en la plantas

La mayoría de las especies vegetales prefieren la forma  $\text{NO}_3^-$  como fuente de nitrógeno para su crecimiento (Zhou *et al.*, 2011), mientras que al  $\text{NH}_4^+$ , aunque es una forma común de acceso por las plantas, puede ser perjudicial para el crecimiento de muchas especies si se absorbe como única fuente de nitrógeno (Kotsiras *et al.*, 2005; Rivera-Espejel *et al.*, 2014).

Se ha establecido que altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo o en solución nutritiva puede conducir a una baja productividad de los cultivos, debido a una acidificación de la rizósfera (Britto y Kronzucker, 2002) producto de la liberación de un ion  $\text{H}^+$  por cada ion de  $\text{NH}_4^+$  absorbido (Lemaire, 2005). También puede provocar bajas concentraciones de los iones  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (Balkos *et al.*, 2010).

La respuesta a la nutrición de  $\text{NH}_4^+$  varía entre especies. Además, la edad de la planta, temperatura, intensidad de la luz, pH y concentraciones de nutrientes en el medio de crecimiento afectan la tolerancia del  $\text{NH}_4^+$  en las plantas (Kotsiras *et al.*, 2005). En la solución nutritiva, Steiner (1984) sugiere no adicionar más del 10% del contenido de nitrógeno total en la forma de  $\text{NH}_4^+$  y el resto como  $\text{NO}_3^-$ . Sin embargo, Lemaire (2005) reporta que la proporción de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno nítrico puede llegar hasta un 20% en el medio de cultivo.

Aunque el  $\text{NH}_4^+$  puede ser perjudicial para muchas especies, una nutrición amoniacal bien suministrada puede convertirse en una herramienta eficaz para mejorar la absorción de nitrógeno en plantas, partiendo del hecho de que la asimilación de nitrógeno por la absorción de la forma amoniacal es más rápida (Martínez, 2013) y de menor costo energético (Degiovanni *et al.*, 2010).

Algunos estudios con ciertas especies vegetales han demostrado las ventajas de la nutrición amoniacal. Estos indican que plantas con aporte de  $\text{NH}_4^+$  muestran una mayor conductancia estomática y tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  que aquellas con nutrición exclusiva de  $\text{NO}_3^-$  (Guo *et al.*, 2002). Se ha observado que plantas de soja (*Beta vulgaris* L.) cultivadas exclusivamente con  $\text{NH}_4^+$  pueden presentar mayor actividad fotosintética como resultado del mantenimiento de la conductancia estomática y del aumento de la concentración de enzimas relacionadas a la bioquímica de la fotosíntesis (Raab y Terry, 1994). Plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* cv. Festival) en etapa vegetativa-floración, presentaron mayor área foliar, peso de materia fresca y seca y acumulación de nitrógeno inorgánico cultivadas exclusivamente con amonio (Campos-García *et al.*, 2016).

## 2.5 El $\text{NO}_3^-$ en la planta

Muchas especies vegetales crecen mejor cuando el nitrógeno se suministra en forma de  $\text{NO}_3^-$ , por tal motivo la fuente más común de nitrógeno en las soluciones nutritivas para la producción de cultivos en hidroponía es el  $\text{NO}_3^-$  (Preciado-Rangel *et al.*, 2001).

La asimilación del  $\text{NO}_3^-$ , en comparación con la del  $\text{NH}_4^+$ , es más costosa en términos de energía, debido a una serie compleja de reacciones bioquímicas que demandan un alto gasto energético, llegando a representar hasta el 15% de la energía total de la planta (Chapin *et al.*, 1987). Este proceso necesita 12 moles de ATP para reducir un mol de  $\text{NO}_3^-$  (Taiz y Zeiger, 2006) mientras que 5 moles de ATP para asimilar un mol de  $\text{NH}_4^+$  (Degiovanni *et al.*, 2010; Martínez, 2013).

Distintos estudios han demostrado las ventajas de la nutrición nítrica. Un suministro de nitrógeno en forma de nitrato, puede causar altas concentraciones de iones  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  aumentando la síntesis de ácidos orgánicos (Perdomo *et al.*, 1999). También promueve de forma significativa y rápida la síntesis y el transporte de hormonas originadas en raíz generando alargamiento celular y el crecimiento

de las plantas; a su vez, aumentan las cantidades totales de azúcar soluble, la acumulación reductora de azúcares, y contenidos de celulosa en la raíz (Sheng-Xiu *et al.*, 2013).

Un estudio realizado en plantas de nopal para evaluar la cinética de la absorción de los iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  indicaron que la planta mostró una tasa de absorción de nitrógeno mayor cuando el medio nutritivo se suministró con  $\text{NO}_3^-$  que con  $\text{NH}_4^+$ , ocasionando una mayor producción de materia seca (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2000). En cultivo de pimiento, Marti y Mills (1991) obtuvieron una mayor producción de materia seca de raíz cuando las plantas fueron tratadas con  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de nitrógeno. En plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.), Antúnez-Ocampo *et al.* (2014) reportaron que la concentración de azúcares fue mayor en frutos de plantas nutridas con  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de nitrógeno, comparadas con aquellas nutridas con una porción de  $\text{NH}_4^+$  en la solución. En plantas de olivo (*Olea europaea* L. cv.Kalamon) se obtuvo un mayor crecimiento cuando fueron fertilizadas con  $\text{NO}_3^-$  que con urea o  $\text{NH}_4^+$  (Tsabarducas *et al.*, 2017).

## **2.6 Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ y su efecto en el crecimiento y rendimiento de los cultivos**

Las plantas pueden aprovechar el nitrógeno en forma de  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$ , por lo que en hidroponía es posible utilizar estos iones en las soluciones nutritivas (González *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2013). Se ha argumentado que en cualquiera de las dos formas es benéfico, o de igual forma, puede causar desbalances nutrimentales en la solución nutritiva.

Diversas investigaciones, demuestran que varias especies de plantas pueden incrementar su crecimiento y rendimiento, cuando estas dos formas principales de nitrógeno son suministradas en una relación particular (Chang *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2017), comparado con cualquiera de las dos formas de nitrógeno por separado (Sheng-Xiu *et al.*, 2013). Pero este efecto benéfico varía entre circunstancias y especies (Tucuch-Haas *et al.*, 2012), tales como el grado de desarrollo, las condiciones ambientales y

la concentración total de nitrógeno suministrado (Claussen, 2002; Kotsiras *et al.*, 2002), así como la concentración iónica total de la solución nutritiva.

En cultivo de tomate, Dong *et al.* (2004) reportaron que una relación 25/75  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  aumenta el peso fresco y seco de frutos. Por su parte, Claussen (2002) y Xu *et al.* (2001) mencionaron que cultivos hidropónicos de pimiento y tomate en invernadero, se obtiene el máximo crecimiento y rendimiento cuando la concentración de  $\text{NH}_4^+$  no es superior a 30%. En cultivo de uchuva, los más altos rendimientos se obtuvieron, con relaciones 50/50 y 25/75 de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  (Antúnez-Ocampo *et al.*, 2014). En tomate, Siddiqi *et al.* (2002) y Bialczyk *et al.* (2007), reportaron incrementos en el rendimiento en 15 y 20% al añadir 10 y 20% del nitrógeno total en forma de  $\text{NH}_4^+$  a la solución nutritiva. El rendimiento en términos de peso fresco y seco de fruta en plantas de fresa aumentó significativamente en los tratamientos 75/25 y 50/50  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  (Tabatabaei *et al.*, 2008). Plantas de caña gigante (*Arundo donax* L.) suministradas con  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de forma equimolar, presentaron una biomasa, longitud de hoja, número de brotes y tasa de producción de brotes significativamente superiores a las plantas alimentadas con  $\text{NO}_3^-$  (Tho *et al.*, 2017).

El incremento de los rendimientos al emplear una proporción  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ , se atribuye, en parte a la mayor actividad de las enzimas cuando se suministra en conjunto el  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NO}_3^-$ , como glutamina sintetasa y glutamato sintetasa (Liu *et al.*, 2017), así como las enzimas implicadas en el metabolismo del nitrógeno como nitrato y nitrito reductasa (Tabatabaei *et al.*, 2008) y las enzimas relacionadas con la protección del cultivo como superóxido dismutasa y catalasa (Sheng-Xiu *et al.*, 2013).

También el incremento en los rendimientos de cultivos se le atribuye al mantenimiento del pH casi neutro, dado que el pH de la solución nutritiva se ve influenciado por la concentración de las distintas relaciones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , así cuando se eleva la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , el pH de la solución disminuye

y cuando la concentración del  $\text{NO}_3^-$  es mayor, el pH aumenta (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2000; Dickson *et al.*, 2016). En este sentido una adecuada relación mantendrá un pH estable.

En general, el crecimiento de muchas especies de plantas está afectado por la forma de nutrición nitrogenada utilizada (Guo *et al.*, 2007). Sin embargo, la proporción  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  más apropiada depende de la especie a considerar.

## **2.7 Sistemas comerciales de conducción de pimiento en invernadero**

Existen dos sistemas productivos comerciales utilizados para la producción de pimiento en invernadero; uno de ellos es el sistema de poda en “V” o sistema holandés, que consiste en remover uno de los dos tallos que se desarrolla en cada bifurcación de la planta y dejando la flor formada en ésta. Los tallos son guiados individualmente de tal forma que la planta simula una “V” con dos tallos principales, formando así un fruto en cada nudo, lo que da lugar a dos frutos por cada nivel. Este sistema es utilizado principalmente en hidroponía e invernadero, con densidades de población de 2 a 3 plantas. $\text{m}^2$  (4 a 6 tallos  $\text{m}^2$ ) que alcanzan a crecer más de 2 m de altura (Jovicich *et al.*, 2004). El sistema es delicado en su manejo, requiere alto grado de control ambiental y el costo de producción por kilogramo es elevado (Paschold y Zengerle, 2000). El otro sistema es el “español” en el cual se dejan de 2 a 4 tallos principales, con un mínimo de poda manteniéndose las ramas laterales, se guía por líneas sostenidas por alambre y postes que se distribuyen en ambos lados a lo largo de las hilera de las plantas; se utiliza principalmente para siembra en suelo y la densidad es de hasta 4 plantas. $\text{m}^2$  los rendimientos de este sistema son menores a los 10  $\text{kg}.\text{m}^2$  (Jovicich *et al.*, 2004).

El ciclo de cultivo en ambos sistemas es largo, por lo general superior a 10 meses de trasplante a cosecha, por lo que se tiene un solo ciclo de cultivo por año. Los primeros frutos maduros son cosechados después de tres o cuatro meses, con un periodo de cosecha de cuatro a siete meses: los



periodos duran por espacio de 50 días aproximadamente, por lo que el periodo de cosecha se prolonga y solo se tiene fruta para venta la mitad del tiempo (Schepers *et al.*, 2006).

## **2.8 Estudios en despunte temprano como sistema alternativo de conducción**

En cultivo de tomate se ha desarrollado y utilizado un sistema de manejo en invernadero que consiste en la eliminación de ápices en desarrollo o despunte por encima de la primera, segunda o tercera inflorescencia (Ucan *et al.*, 2005), reduciendo el ciclo de cultivo de trasplante a fin de cosecha, lo cual permite lograr hasta cuatro ciclos productivos por año.

El rendimiento por planta suele ser menor en este tipo de sistema, pero es compensado por unidad de superficie, dado que la densidad de población es mayor a las que se emplean de manera comercial, dando por resultado incrementos en la productividad anual, comparado con los sistemas convencionales de producción (Sánchez *et al.*, 2006; Ortiz *et al.*, 2009).

Este sistema se ha validado de manera comercial, con resultados exitosos en lo técnico y económico en varias empresas, como "Complejo Agrícola de Morelos" en Ocuituco, Morelos; "Sol y Plantas" en Tetecalita, Morelos; "Industrial Agropecuaria Junco" en Texcoco, Estado de México; "Rancho Cartujano" en Cadereyta, Querétaro; "Hidroponía Tepetlaoxtoc" en Tepetlaoxtoc, Estado de México y "Grupo CRESA" en Pachuca, Hidalgo (Ucan *et al.*, 2005).

De manera experimental, se ha probado este sistema a despunte temprano en cultivos de pimiento, arriba de la tercera y cuarta bifurcación; se ha demostrado que potencialmente podrían lograr una productividad anual igual o mayor a los sistemas de poda europeos, pero con tecnologías más sencillas y menores costos de producción (Cruz *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2009).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización**

El estudio se realizó en un invernadero tipo túnel modificado con ventilación cenital y lateral, localizado en la Unidad Académica de Agricultura, a 21° 25' latitud Norte y 104° 53' longitud Oeste en Xalisco, estado de Nayarit.

#### **3.2 Material vegetal**

Se emplearon dos variedades de pimiento morrón tipo blocky; Avante y Tribeka con frutos de color rojo al madurar, los cuales presentan resistencia alta a virus del mosaico del tabaco y resistencia intermedia a virus del bronceado del tomate y tristeza del pimiento.

#### **3.3 Siembra y establecimiento del experimento**

La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades colocando una semilla por cavidad; como sustrato se utilizó turba vegetal (Sunshine®) mezcla fina número 3. Una vez germinadas las semillas, se efectuaron los riegos y la fertilización al aparecer las primeras hojas verdaderas, aplicando la solución universal Steiner al 25%. A los 45 días después de la siembra, cuando las plantas habían formado de dos a tres hojas verdaderas, se realizó el trasplante en bolsas negras de polietileno de 10 litros de capacidad, con roca volcánica basáltica roja como sustrato con una granulometría de 6 mm a fino. El inicio de los tratamientos se realizó el mismo día. El marco de plantación consistió en líneas pareadas; 1,20 m de distancia entre pasillos, 0.60 m entre líneas y 0.50 m entre plantas.

#### **3.4 Solución nutritiva**

Se utilizó la solución universal Steiner (Steiner, 1961) al 50%, modificando la concentración de nitratos en la relación de aniones a 7.5 meq·L<sup>-1</sup>. La cantidad de N se modificó con la inclusión de

nitrógeno amoniacal y finalmente las relaciones de  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  fueron: 100/0, 90/10, 80/20 y 70/30 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de las relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  empleadas en los tratamientos.

Relación	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$
$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ (%)	-----meq·L <sup>-1</sup> -----	
1 (100/0)	7.5	0
2 (90/10)	6.75	0.75
3 (80/20)	6	1.5
4 (70/30)	5.25	2.25

Cuadro 3. Composición química de las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento.

$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$	PO
(%)	-----meq·L <sup>-1</sup> -----							atm
1 (100/0)	7.09	0.31	2.18	3.35	3.77	1.58	0.00	0.376
2 (90/10)	6.34	0.41	2.84	3.08	3.43	1.43	0.75	0.373
3 (80/20)	5.59	0.50	3.50	2.81	3.10	1.28	1.50	0.371
4 (70/30)	4.84	0.59	4.15	2.56	2.75	1.13	2.25	0.370

PO: presión osmótica expresada en atmósferas (atm).

Cuadro 4. Composición química, pH y conductividad eléctrica del agua utilizada en el experimento para la preparación de las soluciones nutritivas.

$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$	C.E.	pH
-----meq·L <sup>-1</sup> -----							dS·m <sup>-1</sup>	
0.41	0	0	0.15	0.73	0.42	0	0.2	7.11

C.E.: conductividad eléctrica.

Para la preparación de las soluciones nutritivas en los diferentes tratamientos, se consideraron las concentraciones de aniones y cationes presentes en el agua de riego (Cuadro 4.). Como fuente de nutrimentos, se utilizaron fertilizantes comerciales grado fertirriego: nitrato de calcio tetrahidratado, nitrato de potasio, sulfato de potasio heptahidratado, sulfato de magnesio, sulfato de amonio y fosfato monopotásico. Como fuente de micronutrimentos, se utilizó Ultrasol<sup>®</sup>micromix de la empresa SQM. El ajuste del pH a 6 de las soluciones nutritivas se efectuó con ácido sulfúrico.

### **3.5 Poda y tutorado**

Las plantas se cultivaron con el crecimiento de todos sus tallos hasta la cuarta bifurcación y a las tres hojas por encima de ésta, se realizó la eliminación de los ápices de crecimiento o despunte. El tutorado se efectuó con cordones de rafia sostenida sobre alambre sujetado en la estructura del propio invernadero a una altura de 3.2 m.

### **3.6 Tratamientos y diseño experimental**

Los factores en estudio fueron cuatro relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  y dos variedades de pimiento morrón tipo blocky: Avante y Tribeka. De esta manera, se establecieron 8 tratamientos en un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial 4x2, con cinco repeticiones. La unidad experimental consistió en una planta colocada en una bolsa negra de polietileno de 10 litros de capacidad.

### **3.7 Variables de respuesta**

#### **A. Rendimiento de fruto y sus componentes por planta y por unidad de superficie:**

Peso medio del fruto fresco en g (PMF, en  $\text{g} \cdot \text{fruto}^{-1}$ ). En cada corte los frutos se cosecharon en madurez comercial y se pesaron en una balanza digital.

Número de frutos por planta (NFP, Número de frutos  $\cdot \text{planta}^{-1}$ ). Se contabilizaron los frutos cosechados por planta en cada corte.

Producción de fruto por planta (RP, Producción de fruto  $\text{kg}\cdot\text{planta}^{-1}$ ). Se pesaron todos los frutos cosechados por planta de cada corte en una balanza digital.

Rendimiento de fruto por  $\text{m}^2$  ( $\text{RM}^2$ , Rendimiento de fruto  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Todos los frutos cosechados en cada corte, por  $\text{m}^2$ , se pesaron en una balanza digital.

Número de frutos por  $\text{m}^2$  ( $\text{NFM}^2$ , Número de fruto  $\cdot\text{m}^{-2}$ ). Se contabilizaron todos los frutos por  $\text{m}^2$  cosechados.

B. Biomasa seca total acumulada ( $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ). Esta variable se determinó mediante una balanza digital. Las muestras de raíz, hoja, tallo y fruto se secaron en una estufa con circulación de aire forzado a  $70^\circ\text{C}$  hasta alcanzar peso constante.

C. Concentración de N, Ca, K y Mg en hoja (%). Después de la cosecha, se muestrearon las hojas maduras más jóvenes, provenientes de la cuarta bifurcación. Se secaron en estufa con circulación de aire forzado a  $70^\circ\text{C}$  hasta peso constante y posteriormente se molieron. Las determinaciones nutrimentales fueron las siguientes: N-total, determinado por la metodología de Kjeldahl; K por flamometría de llama; Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

### **3.8 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de las variables de respuesta consideradas en los tratamientos experimentales se sometieron a un Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con el programa estadístico SAS®. Los gráficos se procesaron con el programa Excel versión 2013.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Rendimiento de fruto y sus componentes por planta y por unidad de superficie

El análisis de varianza indica que hubo diferencias significativas para el factor variedad en la mayoría de las variables de estudio, excepto para rendimiento de fruto por m<sup>2</sup> (RM<sup>2</sup>). El factor relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e interacción variedad \* relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> tuvieron diferencias significativas en todas las variables de estudio (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza para rendimiento de fruto y sus componentes por planta y unidad de superficie, estudiadas en dos variedades de pimiento morrón con distintas relaciones NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y despunte temprano.

Variable	C.V.	Variedad	Pr>F	
			Relación NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Variedad * Relación NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
PMF	12.1610	0.0001*	0.0046*	0.0030*
NFP	18.0219	0.0001*	0.0001*	0.0022*
RP	16.674	0.0277*	0.0001*	0.0022*
RM <sup>2</sup>	8.5409	0.0593	0.0071*	0.0358*
NFM <sup>2</sup>	10.0084	0.0001*	0.0004*	0.0304*

PMF: Peso medio de fruto; NFP; número de frutos por planta; RP: Producción de fruto por planta; RM<sup>2</sup>: rendimiento de fruto por m<sup>2</sup>; NFM<sup>2</sup>: número de frutos por m<sup>2</sup>.

C.V.: Coeficiente de variación.

\*: Diferencias significativas  $P \leq 0.05$ .

#### 4.1.1 Variedades

La variedad Avante fue superior en la mayoría de los componentes de rendimiento, RP, NFP y NFM<sup>2</sup> superando a Tribeka en un 7.57, 28.68, y 25.74% respectivamente (Cuadro 6). Las variables NFP y NFM<sup>2</sup> están altamente correlacionadas, ya que el número de frutos por m<sup>2</sup> depende del número de frutos por planta. Estos resultados son superiores a los reportados por Reséndiz-Melgar *et al.* (2010) en un estudio con 17 variedades de pimiento cultivadas a 4 y 6 plantas por m<sup>2</sup>.

El rendimiento de fruto por m<sup>2</sup> fue estadísticamente igual para ambas variedades (Cuadro 6). La variedad Tribeka a pesar de tener menor número de frutos por planta, el peso medio de fruto fue superior en un 20.79% respecto a Avante, compensando así el rendimiento por unidad de superficie. Monge-Pérez *et al.* (2016) y Borosic *et al.* (2012) mencionan que el peso medio de fruto en pimiento varía entre 98 y 289 g; los resultados para esta variable se ubican dentro de este rango.

Se sabe que ocurren situaciones de estrés que pueden provocar el aborto de flores y frutos en el cultivo del pimiento, como cambios de luz, temperatura, déficit de presión de vapor o competencia por asimilados y relaciones de dominancia entre frutos debido a efectos hormonales; estos factores no necesariamente actúan por separado sino que pueden actuar conjuntamente y en poco tiempo provocando la disminución en el número de frutos (Marcelis *et al.*, 2004).

Cuadro 6. Comparación de medias de variedades Avante y Tribeka para rendimiento de fruto y sus componentes por planta y unidad de superficie.

Variedad	Peso medio de fruto (g·fruto <sup>-1</sup> )	Número de frutos·planta <sup>-1</sup>	Producción de fruto (kg·planta <sup>-1</sup> )	Rendimiento de fruto (kg·m <sup>-2</sup> )	Número de frutos·m <sup>-2</sup>
Avante	152.08 b	9.60 a	1.42 a	5.66 a	37.85 a
Tribeka	183.71 a	7.46 b	1.32 b	5.37 a	30.10 b
DMS	7.146	0.538	0.080	0.303	2.190

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey.  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.1.2 Relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

La prueba de comparación de medias, muestra diferencias significativas para todas las variables de estudio, pudiéndose observar que la relación 90/10 y 100/0 sobresalen en la mayoría de las variables de estudio cuantificadas.

La mayor cantidad de frutos por planta y número de frutos por m<sup>2</sup>, se obtuvo en los tratamientos NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 90/10 y 100/0, sin diferencias significativas entre éstos. Ambos tratamientos superaron estadísticamente a los tratamientos 80/20 y 70/30 (Cuadro 7). La disminución en estas variables de respuesta, al adicionar una proporción mayor del 20% de amonio con respecto a la concentración total de N en la solución nutritiva, indica el efecto negativo de la alta concentración de amonio en la fase generativa del pimiento. Esto concuerda con Jones (2007) quién reportó que adiciones mayores del 25% del NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del nitrógeno total en la solución nutritiva disminuyeron el número de frutos en tomate. Lo anterior, pudiera deberse a la disminución del pH de la rizósfera producto de las adiciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Figura 2a), lo cual tiene un efecto adverso sobre el crecimiento y por ende en el rendimiento de frutos (González. *et al.*, 2009).

El peso medio de los frutos no difirió de manera significativa entre las proporciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> utilizadas en la solución nutritiva. Sin embargo, el tratamiento 80/20, promovió mayor peso medio de fruto con 175.84 g.fruto<sup>-1</sup>, con respecto al tratamiento sin NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, con 157.4 g.fruto<sup>-1</sup> (Cuadro 7). Estos resultados contrastan con los reportados por Antúnez-Ocampo *et al.* (2014) en plantas de uchuva, donde el peso medio de fruto no fue afectado por las distintas relaciones NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Cuadro 7. Comparación de medias de relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para rendimiento de fruto y sus componentes por planta y unidad de superficie.

Relación NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	Peso medio de fruto (g·fruto <sup>-1</sup> )	Número de frutos·planta <sup>-1</sup>	Producción de fruto (kg·planta <sup>-1</sup> )	Rendimiento de fruto (kg·m <sup>-2</sup> )	Número de frutos·m <sup>-2</sup>
100/0	157.43 b	9.21 a	1.41 a	5.66 a	36.40 a
90/10	168.04 ab	9.34 a	1.48 a	5.87 a	36.70 a
80/20	175.84 a	8.09 b	1.37 ab	5.40 ab	32.10 b
70/30	170.27 ab	7.50 b	1.22 b	5.11 b	30.70 b
DMS	13.299	1.002	0.149	0.570	4.120

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤ 0.05).



La producción de fruto por planta y el rendimiento por m<sup>2</sup>, no fueron afectados por la adición de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la solución nutritiva, en el intervalo de 0 a 20%. Los tratamientos 100/0 y 90/10 superaron significativamente al tratamiento 70/30 en estas variables cuantificadas, pero este último no difirió de la respuesta promovida por la proporción 80/20 para ambas variables (Cuadro 7). Resultados similares obtuvieron Parra *et al.* (2012a) y Tucuch-Haas *et al.* (2011) en plantas de tomate y chile habanero, donde el mayor rendimiento lo obtuvieron al incorporar 15 y 10% en forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del nitrógeno total, respectivamente. Bar-Tal *et al.* (2001) afirma que concentraciones mayores a 1 mmol·L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la solución nutritiva, disminuye el rendimiento de fruto, como se observa en las relaciones 80/20 y 70/30 del presente estudio.

#### 4.1.3 Interacción variedad \* relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

El peso medio de fruto fue afectado significativamente por la interacción de los factores variedad \* relación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. En la variedad Avante, los mayores valores de peso de fruto se obtuvieron con las proporciones 80/20 y 70/30 con 165.1 y 158.5 g.fruto<sup>-1</sup>, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos. Mientras que con los tratamientos 100/0 y 90/10 se obtuvieron frutos de menor peso con 144.3 y 140.3 g, aunque sin diferencias significativas con el tratamiento 70/30.

En la variedad Tribeka, el mayor peso de fruto se logró con la adición de 10% de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la solución nutritiva con 195.7 g por fruto; pero no difirió cuando la proporción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se incrementó a 20 ó 30%. En cambio, cuando no se suministró NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, los frutos fueron significativamente de menor peso comparado con el tratamiento con 10 % de amonio, pero sin diferir de los tratamientos con 20 y 30 % de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Figura 1).

De esta manera, los resultados evidencian que las mejores respuestas para peso de fruto se obtuvieron adicionando una proporción de 10 a 20 % de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la solución.

Con respecto a la variabilidad en el peso medio de fruto, Ucan *et al.* (2005) mencionaron, que se debe al número de frutos producidos por planta, dado que la cantidad de fotoasimilados se reparte en una mayor cantidad de frutos y se propicia a un menor rendimiento, o viceversa, menor cantidad de frutos mayor rendimiento. Resultado similares obtuvo Monge-Pérez *et al.* (2016) en plantas de pimiento tipo Bloky cv. Vikingo, donde menor rendimiento de fruto se obtuvo de plantas con mayor cantidad de frutos y viceversa.

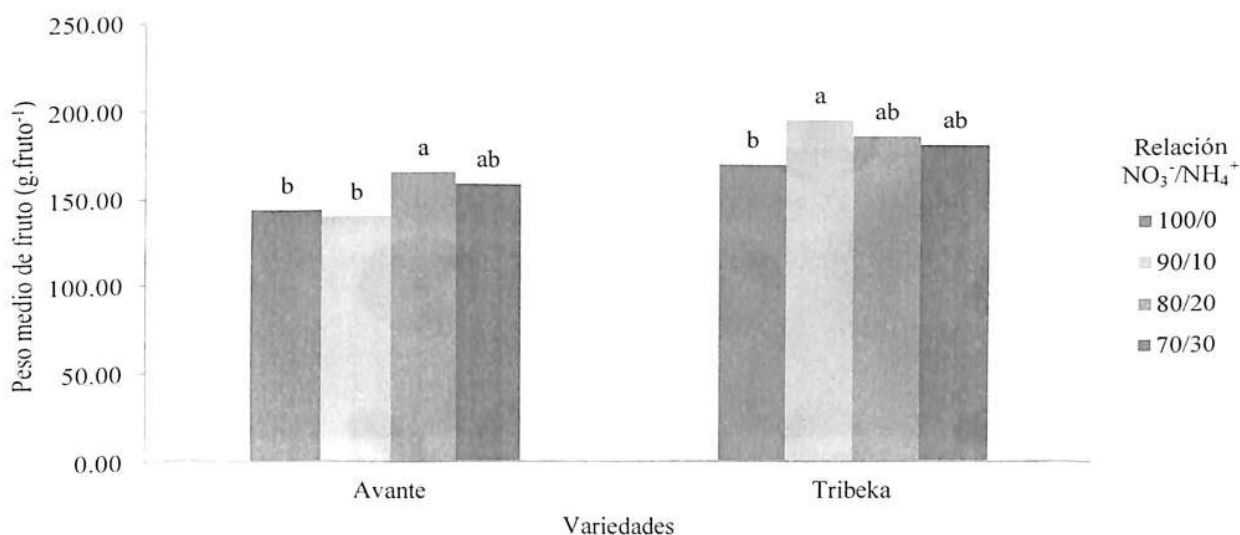


Figura 1. Interacción de la variedad \* relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sobre la variable peso medio de fruto (g·fruto<sup>-1</sup>). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤ 0.05).

En la Figura 2, se puede observar que la mayor cantidad de frutos por planta se obtuvo en los tratamientos 90/10 y 100/0, con 10.7 y 10.1 frutos. En la variedad Tribeka, en el intervalo de 0 a 20% de amonio adicionado en la solución nutritiva se presentó la mejor respuesta para la variable número de frutos por planta, sin diferencias estadísticas entre los tratamientos 100/0, 90/10 y 80/20, con 8.3, 7.9 y 7.8 frutos por planta. Dichos tratamientos superaron significativamente al tratamiento 70/30 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

$/\text{NH}_4^+$ , con 5.8 frutos por planta. Estos resultados contrastan con lo reportado por Parra *et al.* (2012b) en cultivo de tomate cv. IB-9, donde el número de frutos por planta no fue afectado significativamente por las distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ : urea y la concentración de potasio en la solución nutritiva. Gamboa (2005) mencionó que el factor más importante para el rendimiento de un cultivo es el número de frutos por planta.

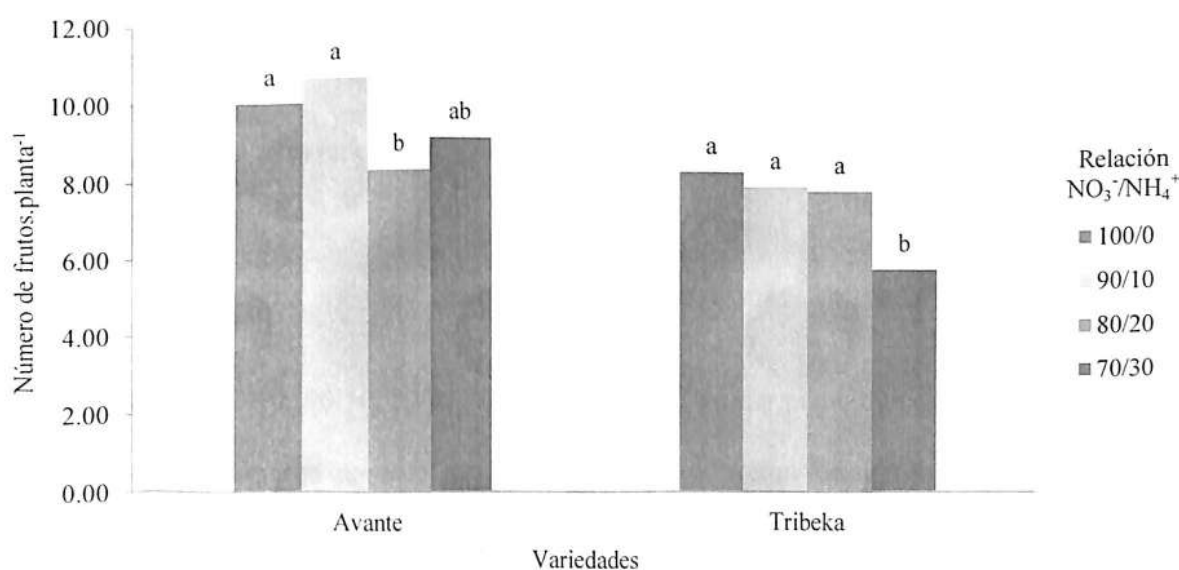


Figura 2. Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable número de frutos por planta. Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

La respuesta en el número de frutos por  $\text{m}^2$  tuvo una tendencia similar a lo obtenido en la variable número de frutos por planta. En la variedad Avante, con la proporción 90/10 se obtuvo una media de 41.8 frutos  $\cdot \text{m}^2$ , pero estadísticamente igual a la proporción 100/0 y 70/30 con 39.8 y 36.4 frutos  $\cdot \text{m}^2$ , respectivamente (Figura 3). Estos resultados difieren con lo reportado por Antúñez-Ocampo *et al.* (2014) en plantas de uchuva, donde distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  no tuvieron diferencia significativa sobre el número de frutos.

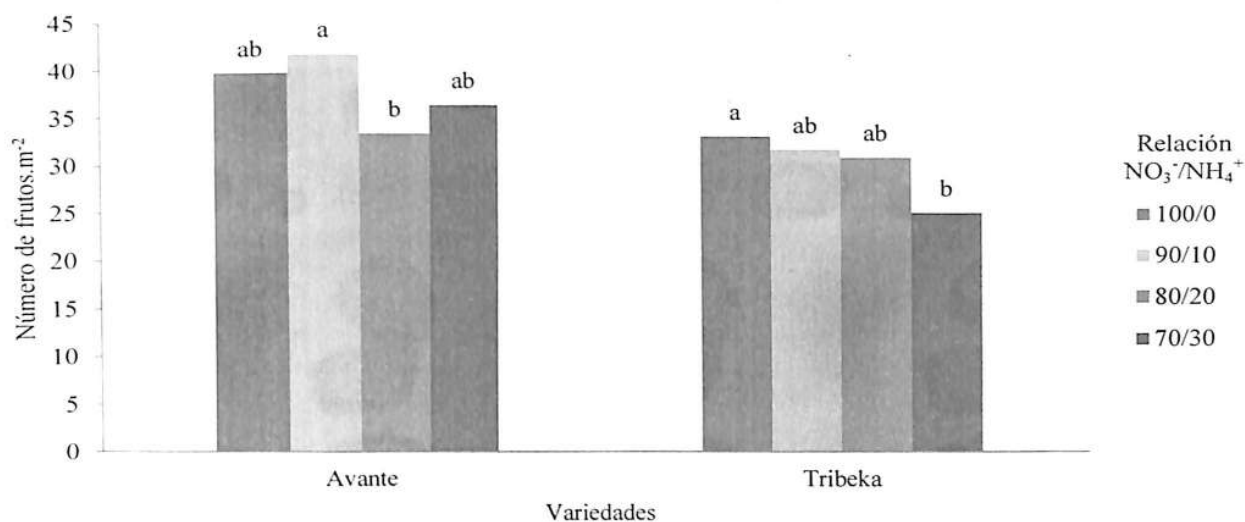


Figura 3. Interacción de la variedad \* relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sobre la variable número de fruto por m<sup>2</sup>. Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤ 0.05).

Con las relaciones 100/0, 90/10, 80/20, la producción de fruto por planta fue estadísticamente igual en ambas variedades, mientras que para la relación 70/30 la producción fue significativamente menor para la variedad Tribeka comparada con Avante (Figura 4). Tucuch-Haas *et al.* (2012) reportaron que con una relación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 70/30 y tamaño de partícula de 3 a 5 mm de roca volcánica basáltica roja, la producción por planta en cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) fue significativamente menor, lo que coincide con los resultados de este estudio para la variedad Tribeka. Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación, contrasta con lo reportado por Sandoval-Villa *et al.*, (2001), donde la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la solución nutritiva no afectó la producción de frutos en tomate al suministrar diferentes relaciones NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, pero concuerda con los resultados de este estudio en la variedad Avante.

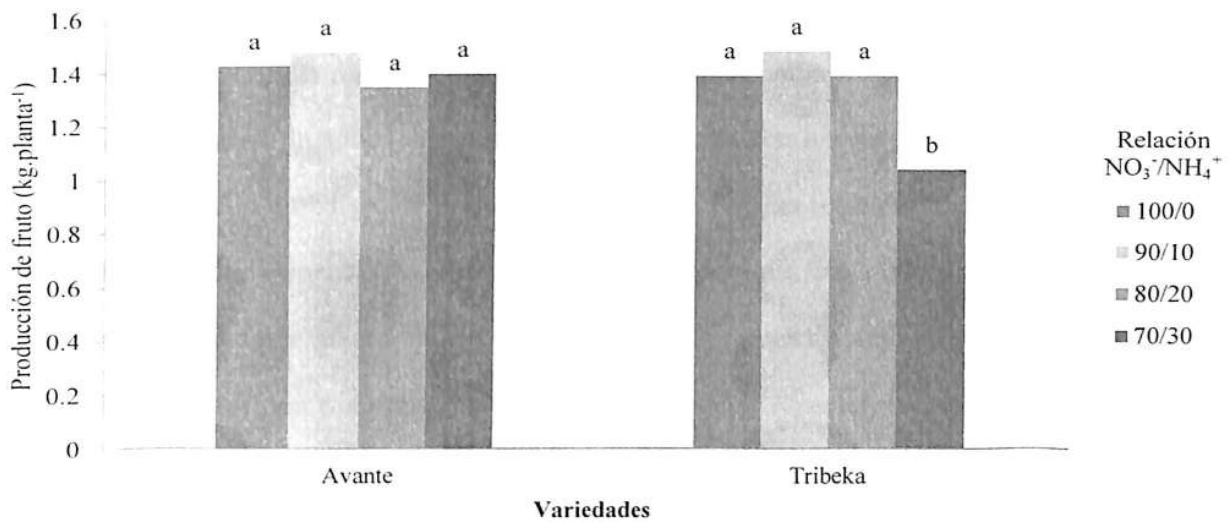


Figura 4. Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable producción de fruto por planta ( $\text{kg}\cdot\text{planta}^{-1}$ ). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

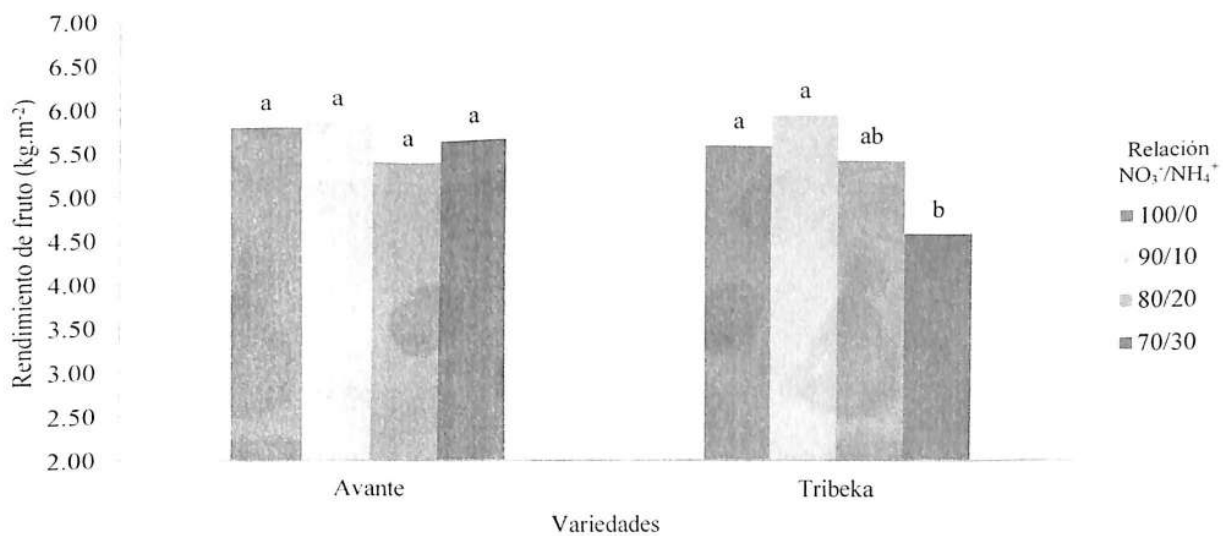


Figura 5. Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable rendimiento de fruto ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Las relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  no tuvieron efecto significativo en el rendimiento por  $\text{m}^2$  para la variedad Avante. Xu *et al.* (2002) reportaron que el rendimiento temprano de pimiento no es afectado por la forma de nitrógeno en la solución nutritiva, lo que coincide con los resultados de este estudio para la variedad Avante. Sin embargo, contrasta con la variedad Tribeka relación 70/30 donde el rendimiento disminuyó significativamente (Figura 5). Esto se infiere dado que fue la variedad que menor número de frutos y producción por planta obtuvo. Esta variabilidad en rendimiento entre las dos variedades se debe a que la proporción óptima de  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  depende entre especies, incluso entre cultivares (Chen *et al.*, 2013).

Cabe destacar que los mayores rendimientos por  $\text{m}^2$  se obtuvieron con la relación 90/10, con un rendimiento de 5.92 y 5.82  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  para Tribeka y Avante respectivamente. Estos rendimientos son mayores a lo reportado por Cruz *et al.* (2009) en un ciclo de cultivo similar.

Con despunte temprano, se logró que el periodo de trasplante a fin de cosecha fuera de 121 días para fruto rojo, por lo que es posible obtener 3 ciclos de cultivo por año, lo que equivale un rendimiento potencial anual de al menos 17  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , sin embargo para fruto verde, el periodo de trasplante a fin de cosecha fue de 97 días, aumentando así el número de ciclos a 3.7 con un rendimiento potencial anual de al menos 21  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ .

La tecnología de invernadero utilizada en el presente estudio fue de clasificación baja de acuerdo a Mazuela *et al.* (2010) y García *et al.* (2011), sin embargo el rendimiento potencial es similar a los obtenidos en ciclos anuales con invernaderos de mayor tecnología. (Bar-Tal *et al.*, 2000; Paschold y Zengerle 2000; Zuñiga-Estrada *et al.*, 2004; Monge-Pérez *et al.*, 2016).

## 4.2 Biomasa seca acumulada

El análisis de varianza indica que hubo diferencias significativa para el factor variedad y relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  pero no hubo interacción entre factores, por lo que se detallan únicamente los efectos para cada factor principal (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza para biomasa seca acumulada, estudiada en dos variedades de pimiento morrón con distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  a despunte temprano.

Variable	C.V.	Variedad	Pr>F	
			Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad * Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$
BSA	8.0533	0.0297*	0.0001*	0.3759

BSA: Biomasa seca acumulada.

C.V.: Coeficiente de variación.

\*: Diferencias significativas  $P \leq 0.05$ .

### 4.2.1 Variedades

La prueba de medias indica diferencia significativa entre la variedades, siendo la variedad Avante superior en un 5.97% respecto a Tribeka (Cuadro 9). Reséndiz-Melgar *et al.* (2010) reportan variaciones en biomasa seca acumulada entre 118 y 202 g en plantas de pimiento bajo sistema a despunte temprano: los resultados del presente estudio se ubican dentro de este intervalo.

Cuadro 9. Comparación de medias de variedades Avante y Tribeka para biomasa seca acumulada.

Variedad	Biomasa seca acumulada (g·planta <sup>-1</sup> )
Avante	166.42 a
Tribeka	157.04 b
DMS	8.389

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey.  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.2.2 Relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$

Los efectos producidos por las distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  si afectaron significativamente la biomasa seca acumulada, obteniendo el mayor valor con la proporción 90/10 con 176.10 g.planta<sup>-1</sup>, y el menor valor con la proporción 70/30 con 145.85 g (Cuadro 10). Resultados similares se obtuvieron en pimiento cv. California Wonder, donde cada incremento de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva disminuyó el peso seco de la planta y fruto (Marti y Mills, 1991). En contraste, Sandoval-Villa *et al.* (2001) no encontraron diferencia significativa sobre el peso fresco y seco en cultivo de tomate al suministrar diferentes relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en los estados vegetativo, vegetativo + floración, floración + fructificación, fructificación y en todo el ciclo de producción. La presencia de ambas formas de nitrógeno en la solución nutritiva incrementa la biomasa seca total en comparación con aquellas plantas tratadas solo con  $\text{NO}_3^-$  (González *et al.*, 2009), sin embargo suministros más altos o exclusivos de  $\text{NH}_4^+$  pueden disminuirla (Wang *et al.*, 2009), como se observa en el decremento a partir de 10% de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva.

Cuadro 10. Comparación de medias de relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  para biomasa seca acumulada.

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ (%)	Biomasa seca acumulada (g.planta <sup>-1</sup> )
100/0	166.07 ab
90/10	176.10 a
80/20	158.89 bc
70/30	145.85 c
DMS	15.782

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.3 Concentración nutrimental foliar

El análisis de varianza indica que hubo diferencia significativa entre las variedades estudiadas, solo para la concentración foliar de potasio y magnesio. La proporción  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  promovió diferencias significativa en las concentraciones nutrimentales foliares de N, K, Ca y Mg. Para la interacción



variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  solo hubo diferencias significativas para la concentración foliar de potasio y calcio. (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para la concentración foliar (%) de N, Ca, K y Mg, estudiadas en dos variedades de pimiento morrón con distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  a despunte temprano.

Variable	C.V.	Variedad	Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad * Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$
Nitrógeno	6.2422	0.1757	0.0001*	0.2930
Potasio	2.1718	0.0338*	0.0001*	0.0001*
Calcio	9.6119	0.7449	0.0052*	0.0124*
Magnesio	3.7958	0.0010*	0.0080*	0.0601

C.V.: Coeficiente de variación.

\*: Diferencias significativas  $P \leq 0.05$ .

#### 4.3.1 Variedades

La prueba de comparación de medias indica que hubo diferencia significativa para la concentración foliar de potasio y magnesio entre las variedades Avante y Tribeka. La concentración foliar de potasio fue mayor en Tribeka con 3.95% y significativamente menor en Avante con 3.89%. En el caso de Mg, la variedad Avante, tuvo una concentración de 0.58% y Tribeka de 0.54%. No existieron diferencias significativas entre variedades para las concentraciones de nitrógeno y calcio (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias de variedades Avante y Tribeka para la concentración foliar (%) de N, Ca, K y Mg.

Variedad	Nitrógeno	Potasio	Calcio	Magnesio
-----%				
Avante	2.81 a	3.89 b	1.97 a	0.58 a
Tribeka	2.89 a	3.95 a	1.95 a	0.54 b
DMS	0.114	0.054	0.121	0.013

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

De acuerdo con Pineda-Pineda *et al.* (2008), la variabilidad en la concentración nutrimental foliar, puede deberse principalmente a condiciones climáticas, propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato, calidad del agua y factores nutrimentales; sin embargo las diferencias observadas en las concentraciones nutrimentales de K y Mg entre las variedades de pimiento Avante y Tribeka son atribuibles a las variaciones de respuesta entre ambos genotipos, dado que estuvieron en las mismas condiciones de crecimiento y desarrollo en invernadero.

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

La concentración foliar de N se incrementó conforme se elevó el nivel de amonio en la solución nutritiva, obteniendo el valor más alto la relación 70/30 con 3.06%, mientras que el más bajo fue con la relación 100/0 con 2.66% (Cuadro 13). Estos resultados concuerdan con Na *et al.* (2014) en plantas de sandía, donde las mayores concentraciones de nitrógeno se obtuvieron en plantas suministradas con una mezcla de  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en comparación con  $\text{NO}_3^-$  solo. La coexistencia de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva, favorece mayor absorción de N en comparación con el suministro por separado de  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$  (Sheng-Xiu *et al.*, 2013).

Cuadro 13. Comparación de medias de relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  para la concentración foliar (%) de N, Ca, K y Mg.

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ %	Nitrógeno	Potasio	Calcio	Magnesio
	-----%			
100/0	2.66 c	4.14 a	1.89 b	0.70 a
90/10	2.74 bc	3.97 b	1.94 ab	0.66 b
80/20	2.94 ba	3.62 c	2.16 a	0.50 c
70/30	3.06 a	3.93 b	1.86 b	0.38 d
DMS	0.216	0.103	0.229	0.026

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

La concentración foliar de potasio, disminuyó con la inclusión de amonio en la solución nutritiva, donde el valor más alto se obtuvo con la relación 100/0 con 4.14 % y existió una clara tendencia a la disminución significativa de la concentración foliar de K al aumentar la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva (Cuadro 13). Mengel y Kirkby (2000) reportaron que plantas que absorben preferencialmente nitratos en lugar del amonio contienen niveles altos de cationes, entre los cuales está el potasio. Mientras que los niveles crecientes de  $\text{NH}_4^+$  en el medio de cultivo tienen efecto negativo en la concentración de  $\text{K}^+$  (Hoopen *et al.*, 2010).

Para la concentración de calcio, el valor más alto se obtuvo con la relación 80/20, siendo estadísticamente igual a la relación 90/10 con 2.16 y 1.94 % respectivamente, mientras que el más bajo se obtuvo con la relación 70/30. La inclusión de amonio en la solución nutritiva causa una disminución en la concentración de calcio (Bar-Tal *et al.*, 2001), lo cual coincide con la relación 70/30 pero difiere con la relación 100/0 que fueron estadísticamente iguales, y se esperaría que fuera mayor, dado que no hay interacción de amonio que limite su absorción (Parra *et al.*, 2012b). Esto pudiera deberse al pH del medio de crecimiento que obtuvieron las plantas de pimiento al incorporar  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de N, que alcanzó niveles superiores a 8 (Figura 2a), pudiendo así, causar una disminución de calcio disponible en la solución del medio producto de una precipitación (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

En el caso de magnesio, se puede observar que a medida que aumenta la concentración de amonio, disminuyó significativamente la concentración foliar de dicho elemento, obteniendo el valor más alto con la relación 100/0 con 0.70 % y el más bajo con la relación 70/30 con 0.38 %. Esto puede atribuirse a que la inclusión de amonio en ciertas concentraciones puede limitar la absorción de magnesio, y su contenido en la planta (Lasa *et al.*, 2000). Sin embargo la mayor concentración se obtuvo con 100 % nitrato, ya que en estas condiciones este es el principal anión absorbido, por lo que requiere de

cantidades equivalentes de cationes, entre los cuales está el magnesio para balancear la carga negativa del nitrato (Mengel y Kirkby, 2000).

### 4.3.3 Interacción variedad \* relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$

El suministro de amonio en la solución nutritiva afectó significativamente la concentración foliar de potasio en ambas variedades, obteniendo las mayores concentraciones con la relación 100/0, con valores de 4.13 y 4.16 % en Avante y Tribeka respectivamente. Sin embargo, una proporción igual o mayor a 90/10 en la variedad Tribeka, no ocasionó diferencias significativas; mientras que en la variedad Avante, si hubo diferencias significativas, obteniendo la menor concentración foliar al emplear la relación 80/20 (Figura 6).

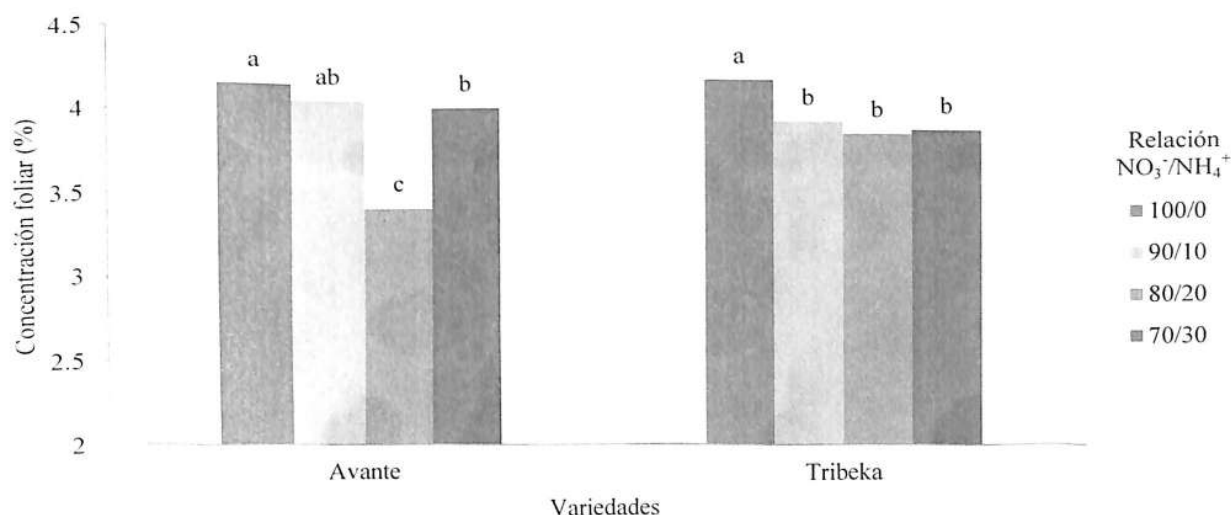


Figura 6. Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre concentración foliar (%) de potasio. Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

El  $\text{NO}_3^-$  es un ion univalente que funciona como contraion al  $\text{K}^+$  y viceversa, por tal motivo, existe una mayor concentración de potasio en hojas, en soluciones donde el nitrato se utiliza como única forma de nitrógeno (Bar-Tal, 2011).

La concentración foliar de calcio en Tribeka mostró diferencias significativas entre las relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ , obteniendo el valor más alto con la relación 80/20 (2.30 %), siendo únicamente distinta a 70/30 (1.70 %) que presentó la concentración más baja. En la variedad Avante, se observa un ligero incremento en la concentración foliar de calcio conforme aumentó el nivel de amonio en la solución nutritiva sin ser estadísticamente significativo (Figura 7). Estos resultados son similares a lo reportado por Savvas *et al.* (2006) en plantas de lechuga cv. Vardac, donde la incorporación de amonio en la solución nutritiva no tuvo efecto significativo sobre la concentración de calcio en hojas, pero difiere con lo reportado por Del Amor *et al.* (2015) en plantas de pimiento, donde la incorporación amonio en la solución nutritiva disminuyó la concentración de calcio en hojas.

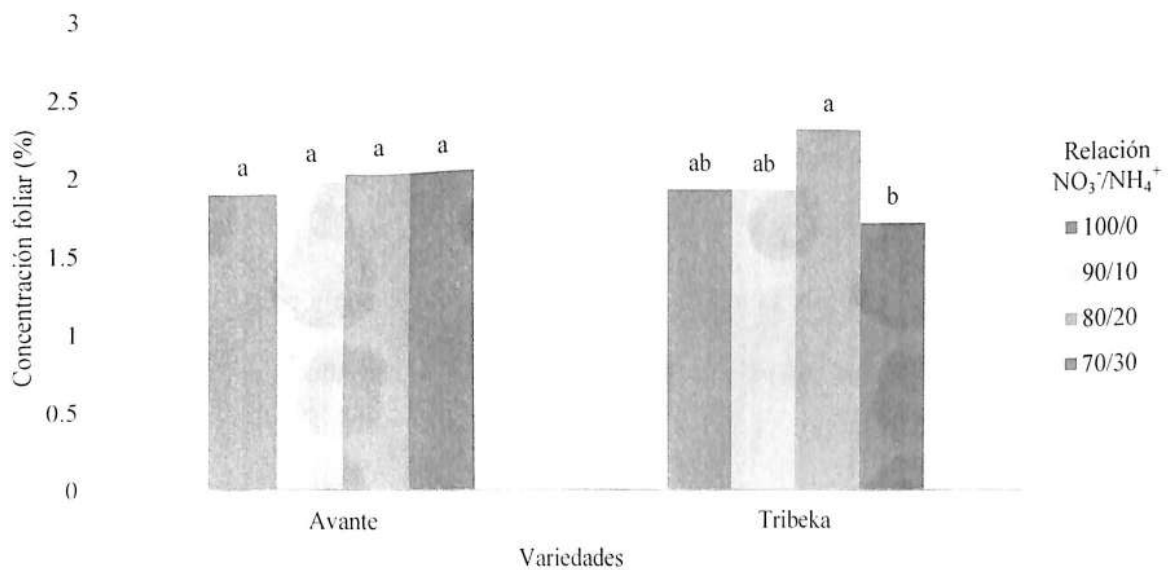


Figura 7. Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre concentración foliar (%) de calcio. Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P < 0.05$ ).

A medida que disminuye la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ , aumenta la absorción de cationes/aniones (Dickson *et al.*, 2016); esto podría explicar la razón por la cual existe una mayor concentración de calcio en hojas conforme aumenta el nivel de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva, sin embargo, este efecto difiere entre especies, la concentración de amonio utilizada y la respuesta al pH producto del eflujo de iones de la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  (Conesa *et al.*, 2008; Maschner, 2012).

#### 4.4 pH de la solución drenada

Los niveles más altos de pH en la solución drenada, se obtuvieron cuando se suministró  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de nitrógeno en la solución nutritiva, alcanzando valores superiores a 8. Se puede observar que conforme aumenta la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva, el pH de la solución drenada disminuye considerablemente, obteniendo valores de hasta 4.22 (Figura 1A). Esta variabilidad se debe a que el pH de la solución del medio está dominado por la forma de nitrógeno y la concentración aplicada; la absorción de amonio de la solución nutritiva, produce una reacción ácida que disminuye el pH como resultado del eflujo de iones  $\text{H}^+$  de las raíces, mientras que la absorción de  $\text{NO}_3^-$  produce una reacción alcalina, que aumenta el pH debido al eflujo de iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  (Dickson *et al.*, 2017).

La incorporación de 10% y 20% de amonio en la solución nutritiva en Avante, mantuvieron un pH más estable dentro de los límites superior e inferior del intervalo de absorción de elementos, comparado con la variedad Tribeka y las demás concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  como única fuente de nitrógeno (Figura 2A). Esto se debe a que el pH de la solución del medio es afectado por la especie a pesar de utilizar la misma forma y concentración de nitrógeno en la solución nutritiva (Dickson *et al.*, 2016).

De esta manera, los resultados evidencian que la mejor respuesta para mantener un pH estable en la solución del medio se obtiene adicionando una proporción de 10 a 20 % de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva.

## 5 CONCLUSIONES

El uso de distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva en plantas de pimiento morrón con despunte temprano, afectó significativamente las variables de crecimiento y rendimiento, siendo los mayores resultados con la relación 90/10  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ; mientras que en la variable estado nutricional, los valores más altos para Mg y K se obtuvieron con la relación 100/0 y para N y Ca con 70/30 y 80/20 respectivamente.

El sistema a despunte temprano en el cultivo de pimiento, en la cuarta bifurcación en combinación con la relación 90/10  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva, permitió obtener los rendimientos más altos en un ciclo de cuatro meses de trasplante a cosecha, con un rendimiento potencial anual de hasta  $17 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ .

No hubo diferencia significativa en rendimiento de fruto en ambas variedades. Sin embargo, la variedad Avante obtuvo mayor biomasa seca acumulada.

La concentración foliar de N aumentó significativamente conforme se incrementó la proporción de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva, mientras que la concentración foliar de Mg disminuyó. Los niveles crecientes de amonio en la solución nutritiva, no causaron diferencia significativa para la concentración foliar de Ca en la variedad Avante, sin embargo el mayor valor se obtuvo con la relación 80/20 en Tribeka con diferencias significativas entre tratamientos; la relación 100/0 promovió mayor concentración foliar de K en ambas variedades.

## 6 LITERATURA CITADA

- Acevedo-Rodríguez, P., and Strong, M. T. (2012). Catalogue of seed plants of the West Indies. *Smithsonian Contributions to Botany*, (98), 1185.
- Alarcón, V. A. L. (2002). Consideraciones necesarias en la preparación de la solución nutritiva. *Vida rural*, 143, 36-40.
- Antúñez-Ocampo, O. M., Sandoval-Villa, M., y Alcántar-González, G. (2014). Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia*, 48(8), 805-817.
- Balkos, K. D., Britto, D. T., and Kronzucker, H. J. (2010). Optimization of ammonium acquisition and metabolism by potassium in rice (*Oryza sativa* L. cv. IR-72). *Plant, Cell & Environment*, 33(1), 23-34.
- Bar-Tal, A. (2011). The effects of nitrogen form on interactions with potassium. *Optimizing Crop Nutrition*. (29), 1-11.
- Bar-Tal, A., Aloni, B., Karni, L., and Rosenberg, R. (2001). 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(7), 1252-1259.
- Bar-Tal, A., Keinan, M., Aloni, B., Karni, L., Oserovitz, Y., Gantz, S., and Hazan, A. (2000). Relationships between blossom-end rot and water availability and Ca fertilization in bell pepper fruit production. In *World Congress on Soilless Culture: Agriculture in the Coming Millennium 554* (pp. 97-104).
- Bialczyk, J., Lechowski, Z., Dżiga, 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
- Borges, G. L. (2006). Predicción de potasio por las raíces de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tesis de Doctorado. Centro de investigación científica de Yucatán. Mérida, Yucatán. pp. 8.



- Borgognone, D., Colla, G., Roupael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., and Schwarz, D. (2013). Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia horticultrae*, 149, 61-69.
- Borasic, J., Benko, B., Fabek, S., Novak, B., Dobricevic, N. & Bucan, L. (2012). Agronomic traits of soilless grown bell pepper. *Acta Horticulturae*, 927, 421-428.
- Britto, D. T., and Kronzucker, H. J. (2002).  $\text{NH}_4^+$  toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*. 159(6), 567-584.
- Cabello, M. J., Ribas, F., Valencia, M. M. M., y Casero, A. M. M. (2004). El cultivo del pimiento. *Agricultura: Revista agropecuaria*, (863), 476-481.
- Campos-García, T., Sánchez-García, P., Alcántar-González, G., y Calderón-Zavala, G. (2016). Respuesta agronómica y nutrimental de fresa a soluciones nutritivas con diferente relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3).
- Chang, J., Liu, D., Cao, H., Chang, S. X., Wang, X., Huang, C., and Ge, Y. (2010).  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratios affect the growth and N removal ability of *Acorus calamus* and *Iris pseudacorus* in a hydroponic system. *Aquatic Botany*, 93(4), 216-220.
- Chapin, F. S., Bloom, A. J., Field, C. B., y Waring, R. H. (1987). Plant responses to multiple environmental factors. *Bioscience*, 37(1), 49-57.3
- Chen, G., Guo, S., Kronzucker, H. J., and Shi, W. (2013). Nitrogen use efficiency (NUE) in rice links to  $\text{NH}_4^+$  toxicity and futile  $\text{NH}_4^+$  cycling in roots. *Plant and Soil*, 369(1), 351-363.
- Claussen, W. (2002). Growth, water use efficiency, and proline content of hydroponically grown tomato plants as affected by nitrogen source. *Plant and Soil*, 247(2), 199-209.
- Conesa, E., Niñirola, D., Vicente, M. J., Ochoa, J., Bañón, S., and Fernández, J. A. (2008). The influence of nitrate/ammonium ratio on yield quality and nitrate, oxalate and vitamin C content of baby leaf spinach and bladder campion plants grown in a floating system. In *International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 843*. 269-274.

- Cruz, H. N., Sánchez, C. F., Ortiz, C. J., y Mendoza, C. M. C. (2005). Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivado en altas densidades. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3).
- Cruz, H. N., Sánchez, C. F., Ortiz, C. J., y Mendoza, C. M. C. (2009). Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y periodo de cosecha en chile pimiento. *Agricultura técnica en México*, 35(1), 73-80.
- Degiovanni, B. V., Martínez, C. P. R., y Motta, F. O. (2010). Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical. (CIAT). Colombia. pp. 488.
- Del Amor, F. M., Piñero, M. C., Otálora-Alcón, G., Pérez-Jimenez, M., & Marín-Miñano, M. (2015). Effect of Different Nitrogen forms and CO<sub>2</sub> Enrichment on the Nutrient Uptake and Water Relations of Pepper Plants (*Capsicum annuum* L.). *Procedia Environmental*, 29, 203-204.
- Díaz F. A., Alvarado, C. M., Ortiz C. F., y Grageda, C. O. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 4(2), 315-321.
- Dickson, R. W., Fisher, P. R., and Argo, W. R. (2017). Quantifying the Acidic and Basic Effects of Fifteen Floriculture Species Grown in Peat-based Substrate. *HortScience*, 52(8), 1065-1072.
- Dickson, R. W., Fisher, P. R., Argo, W. R., Jacques, D. J., Sartain, J. B., Trenholm, L. E., and Yeager, T. H. (2016). Solution Ammonium: Nitrate ratio and cation/anion uptake affect acidity or basicity with floriculture species in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 200, 36-44.
- Dong, C., Shen, Q., and Wang, G. (2004). Tomato growth and organic acid changes in response to partial replacement of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N by NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N. *Pedosphere*, 14(2), 159-164.
- FAOSTAT. (2014). Producción de productos alimentarios y agrícolas. Disponible en: [http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries\\_by\\_commodity/S](http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S).
- Fumero, M. J. (1992). Pimientos. I Parte. Desde América a Europa con escala en Canarias. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (83), 22-28.

- Gallegos-Vázquez. C., Olivares-Sáenz, E., Vázquez-Alvarado, R., y Zavala-García, F. (2000). Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, 18(2), 133-139.
- Gamboa. W. (2005). Producción agroecológica: una opción para el desarrollo del cultivo del chayote (*Sechium edula* (Jacq.) Sw.). Editorial Universidad de Costa Rica. 219 p.
- García. V. N., van der Valk. O. M. C., and Elings, A. (2011). Mexican protected horticulture: Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed (No. 1126). Wageningen UR Greenhouse Horticulture/LEI.
- Gil, I., Sánchez. F., y Miranda, Y. I. (2003). Producción de Jitomate en hidroponía bajo invernadero. Manual de manejo. Serie de publicaciones Agribot. *Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México*. pp. 75.
- González. G. J. L., Rodríguez. M. M. N., Sánchez, G. P., y Gaytán, A. E. A. (2009). Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura técnica en México*, 35(1), 5-11.
- Guo, S., Brück, H., and Sattelmacher, B. (2002). Effects of supplied nitrogen form on growth and water uptake of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Plant and Soil*, 239(2), 267-275.
- Guo, S., Zhou, Y., Shen, Q., and Zhang, F. (2007). Effect of ammonium and nitrate nutrition on some physiological processes in higher plants-growth, photosynthesis, photorespiration, and water relations. *Plant Biology*, 9(1), 21-29.
- Guzmán. O., y Limón, V. (2000). Producción de chile morrón (*Capsicum annum* L.) en la zona oriente del valle de México bajo invernadero-hidroponía. Tesis de licenciatura UACH. Chapingo, México. pp. 94.
- Hernández-Fuentes, A. D., Campos-Montiel, R., y Pinedo-Espinoza, J. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) var. California por efecto de la

- fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Revista Iberoamericana De Tecnología Postcosecha*, 11(1), 82-91.
- Hoopen, F. T., Cuin, T. A., Pedas, P., Hegelund, J. N., Shabala, S., Schjoerring, J. K., and Jahn, T. P. (2010). Competition between uptake of ammonium and potassium in barley and Arabidopsis roots: molecular mechanisms and physiological consequences. *Journal of Experimental Botany*, 61(9), 2303-2315.
- Jingquan, Y., and Dewei, C. 1988. Effects of different nitrogen forms on tomato grown in carbonized rice hull. *Soilless Culture* (4), 51-61.
- Jones, Jr. J. B. (2007). Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden. CRC Press. New York. 420 p
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., and Stoffella, P. J. (2004). Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *HorTechnology* 14: 507-513.
- Kotsiras, A., Olympios, C. M., and Passam, H. C. (2005). Effects of nitrogen form and concentration on yield and quality of cucumbers grown on rockwool during spring and winter in southern Greece. *Journal of plant nutrition*, 28(11), 2027-2035.
- Kotsiras, A., Olympios, C. M., Drosopoulos, J., and Passam, H. C. (2002). Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruits. *Scientia Horticulturae*, 95(3), 175-183.
- Lasa, B. S., Frechilla, M., Aleu, B. G., Moro, C., Lamsfus, P. M., and Aparicio, T. (2000) Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. *Plant Soil* 225:167-174
- Latournerie, M. L., Chávez, J. L., Pérez, M., Hernández, C. F., Martínez, R., Arias, L. M., y Castañón, G. (2001). Exploración de la diversidad morfológica de chiles regionales en Yaxcaba, Yucatán, México. *Agronomía Mesoamericana*, 12(1), 41-47.

- Lemaire, F. (2005). Cultivos en macetas y contenedores: Principios agronómicos y aplicaciones. Madrid. España. Mundi-Prensa Libros. pp. 210.
- Liu, G., Du, Q., and Li, J. (2017). Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 214, 41-50.
- Long, S. J., Álvarez, M., y Camarena, A. (1998). El placer del chile. México. Editorial Clío. pp. 11-25.
- López, M. J., Porras, C. I., Ros, I. C., y Brotons, M. J. M. (2016). Estudio de la rentabilidad del cultivo de pimiento. *Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA)*, (1), 57-71.
- Lucas, R. E., and Davis, J. F. (1961). Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. *Soil Science*, 92(3), 177-182.
- Marcelis, L. F. M., Heuvelink, E., Baan Hofman-Eijer, L. R., Den Bakker, J., and Xue, L. B. (2004). Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of experimental Botany*, 55(406), 2261-2268.
- Marschner, P. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd ed. Academic Press, San Diego, California.
- Marti, H.R., and Mills, H.A (1991). Nutrient uptake and yield of sweet pepper as affected by stage of development and N form. *Journal of plant nutrition*, 14(11), 1165-1175.
- Martínez, E. R. M. (2013). Avances en el metabolismo del nitrógeno: de la genómica y la proteómica a las aplicaciones agronómicas, industriales y medioambientales. España. Editorial Club Universitario. pp. 105.
- Martínez, F. E., Sarmiento, J., Fischer, G., y Jiménez, F. (2008). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 26(3), 389.
- Maya, A. M. A. (2014). Operaciones culturales, riego y fertilización. Málaga. España. IC Editorial.
- Mazuela, P., Acuña, L., Álvarez, M., y Fuentes, Á. (2010). Producción y calidad de un tomate cherry en dos tipos de invernadero en cultivo sin suelo. *Idesia (Arica)*, 28(2), 97-100.

- Mengel, K. y Kirkby, E. A. (2000). Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4<sup>a</sup> edición de Melgar, R. J. y Ruiz, M. Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland.
- Monge-Pérez, J. E. (2016). Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(2), 125-136.
- Na, L., Li, Z., Xiangxiang, M., Ara, N., Jinghua, Y., and Mingfang, Z. (2014). Effect of nitrate/ammonium ratios on growth, root morphology and nutrient elements uptake of watermelon (*Citrullus lanatus*) seedlings. *Journal of plant nutrition*, 37(11), 1859-1872.
- Orellana, B. (2000) El cultivo de chile dulce. Guía técnica. Centro Nacional de tecnología agropecuaria y forestal. San Salvador. El Salvador. pp. 9-19.
- Ortiz, C. J., Sánchez del C. F., Mendoza, C. M. y Torres, G. A. (2009). Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4), 289-294.
- Parra, T. S., Lara, M. P. Villareal, M. R., y Hernández, V. S. (2012a). Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(2), 143-153.
- Parra, T. S., Mendoza, P. G., y Villarreal R. M. (2012b). Relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la producción de tomate hidropónico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 113-124.
- Paschold, P. J., and Zengerle, K. H. (2000). Sweet pepper production in a closed system in mound culture with special consideration to irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 554: 329–333.
- Perdomo, C., Barbazan, M., y Duran, J. (1999). Catedra de fertilidad nitrógeno. Área de suelos y agua. Montevideo, Uruguay. Universidad de la Republica. pp. 72.

- Pineda-Pineda J. Avitia-García E. Castillo-González AM, Corona-Torres T, Valdez-Aguilar LA, Gómez-Hernández J. (2008). Extracción de macronutrientes en frambueso rojo. *Terra Latinoamericana*; 26: 333-340.
- Preciado-Rangel, P., Baca-Castillo, G. A., Tirado-Torres, J. L., Kohashi-Shibata, J., Tijerina-Chávez, L., y Martínez-Garza, A. (2001). Fertirrigación nitrogenada, fosfórica y programa de riego y sus efectos en melón y suelo. *Terra Latinoamericana*, 22(2), 175-186.
- Raab, T. K., and Terry, N. (1994). Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. *Plant Physiology*, 105(4), 1159-1166.
- Reséndiz-Melgar, R. C., Moreno-Pérez, E. D. C., Castillo, S. D., Rodríguez-Pérez, J. E., y Peña-Lomeli, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3), 223-229.
- Rivera-Espejel, E. A., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, M. N., Trejo-López, C., y Gasga-Peña, R. (2014). Fertilización de tomate con nitrato y amonio en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(1), 57-70.
- SAGARPA (2017). Planeación Agrícola 2017 – 2030. Chiles y pimientos mexicanos.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E., y Vicente, G. E. (2006) Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo mediante trasplante tardío. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 87-90.
- Sandoval-Villa, M., Guertal, E. A., and Wood, C. W. (2001). Greenhouse tomato response to low ammonium-nitrogen concentrations and duration of ammonium-nitrogen supply. *Journal of plant nutrition*, 24(11), 1787-1798.
- Savvas, D., Passam, H. C., Olympios, C., Nasi, E., Moustaka, E., Mantzos, N., & Barouchas, P. (2006). Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. *HortScience*, 41(7), 1667-1673.
- Schepers, H.E., Kromdijk, W., and Kooten, O. V. (2006). The Conveyor Belt Model for Fruit Bearing Vegetables: Application to Sweet Pepper Yield Oscillations *Acta Horticulturae* 718: 43-50.

- Serna-Rodríguez, J. R., Castro-Brindis, R., Colinas-León, M. T., Sahagún-Castellanos, J., y Rodríguez-Pérez, J. E. (2011). Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mili.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(1), 9-13.
- Sheng-Xiu, L., Zhao-Hui W., and Stewart, B.A. (2013). Responses of Crop Plants to Ammonium and Nitrate N. Donald L. Sparks. *Advances in Agronomy*. Academic Press. pp 205-397.
- SIAP. (2016). Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo Modalidad riego + temporal. Disponible [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp).
- 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. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165(2): 191-197.
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15(2), 134-154.
- Steiner, A. A. (1966). The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant and Soil*, 24(3), 454-466.
- Steiner, A. A. (1968). Soilless culture. Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy. 324- 341.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: *I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. The Netherlands*. 633-649.
- Tabatabaei, S. J., Yusefi, M., and Hajiloo, J. (2008). Effects of shading and  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  ratio on the yield, quality and N metabolism in strawberry. *Scientia horticulturae*, 116(3), 264-272.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). Fisiología vegetal. Vol 1. Universidad Jaume. New Jersey. pp. 490-497.
- Tho, B. T., Lambertini, C., Eller, F., Brix, H., and Sorrell, B. K. (2017). Ammonium and nitrate are both suitable inorganic nitrogen forms for the highly productive wetland grass *Arundo donax*, a candidate species for wetland paludiculture. *Ecological Engineering*, 105, 379-386.



- Trejo-Téllez, L. I., and Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient solutions for hydroponic systems. In *Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech.
- Tsabarucas, V., Chatzistathis, T., Therios, I., and Patakas, A. (2017). How nitrogen form and concentration affect growth, nutrient accumulation and photosynthetic performance of *Olea europaea* L.(cv. 'Kalamon'). *Scientia Horticulturae*, 218, 23-29.
- Tucuch-Haas, C. J., Alcántar-González, G. Ordaz-Chaparrp, V. M., Santizo-Rincón, J. A. y Larqué-Saavedra, A. (2012). Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 9-15.
- Ucan, C. I., Sánchez, C. F., Contreras, M. E., Corona, S. T. (2005). Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(1), 33-38.
- Urrestarazu G. M. (2000). Manual de cultivo sin suelo. Almería, España. Mundi-Prensa. pp. 340.
- Urrestarazu, M., Castillo, J. E., Salas, M. (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (159), 18-26.
- Urrestarazu, M., y Salas, M. C. (2004). Sistemas con sustratos y recirculación de la disolución nutritiva. *Tratados de cultivos sin suelo*. Madrid. Mundi-Prensa. pp. 155-160.
- Valles, R. G. J., Lugo, J. G., Rodríguez, Z. F., y Díaz, L. T. (2009). Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(2), 159-178.
- Wang, J., Zhou, Y., Zhou, C., Shen, Q., and Putheti, R. (2009). Effects of  $\text{NH}_4^+ \text{-N} / \text{NO}_3^- \text{-N}$  ratios on growth, nitrate uptake and organic acid levels of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *African Journal of Biotechnology*, 8(15) 3597-3602.

- Xu, G., Wolf, S., and Kafkafi, U. (2001). Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield. *Journal of Plant Nutrition*, 24(7), 1099-1116.
- Xu, G., Wolf, S., and Kafkafi, U. (2002). Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *Journal of plant nutrition*, 25(4), 719-734.
- Zamudio, M. A. F. (2006). Análisis económico de la tecnología de los invernaderos mediterráneos: aplicación en la producción del pimiento. *ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario*, 102(3), 260-277.
- Zhou, Y. H., Zhang, Y. L., Wang, X. M., Cui, J. X., Xia, X. J., Shi, K., and Yu, J. Q. (2011). Effects of nitrogen form on growth, CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence, and photosynthetic electron allocation in cucumber and rice plants. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 12(2), 126-134.
- Zúñiga-Estrada, L., Martínez-Hernández, J. D. J., Baca-Castillo, G. A., Martínez-Garza, Á., Tirado-Torres, J. L., y Kohashi-Shibata, J. (2004). Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *Agrociencia*, 38(2).

## 7 APÉNDICE

En los siguientes cuadros se presentan las interacciones significativas obtenidas en el presente estudio.

Cuadro 1A. Efecto de la Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable peso medio de fruto ( $\text{g} \cdot \text{fruto}^{-1}$ ).

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad	
	Avante	Tribeka
100/0	144.35 b	170.50 b
90/10	140.31 b	195.77 a
80/20	165.10 a	186.57 ab
70/30	158.54 ab	182.00 ab

DMS: 22.271

Cuadro 2A. Efecto de la Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable rendimiento de fruto ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad	
	Avante	Tribeka
100/0	5.75 a	5.57 a
90/10	5.83 a	5.92 a
80/20	5.41 a	5.41 ab
70/30	5.66 a	4.58 b

DMS 0.9652

Cuadro 3A. Efecto de la Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable número de frutos por planta.

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad	
	Avante	Tribeka
100/0	10.12 a	8.31 a
90/10	10.75 a	7.93 a
80/20	8.37 b	7.81 a
70/30	9.18 ab	5.81 b

DMS: 1.6786

Cuadro 4A. Efecto de la Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable producción de fruto por planta ( $\text{kg} \cdot \text{planta}^{-1}$ ).

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad	
	Avante	Tribeka
100/0	1.43 a	1.39 a
90/10	1.48 a	1.48 a
80/20	1.35 a	1.39 a
70/30	1.40 a	1.04 b

DMS: 0.2501

Cuadro 5A. Efecto de la Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable número de frutos por  $\text{m}^2$ .

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad	
	Avante	Tribeka
100/0	39.8 ab	33.00 a
90/10	41.8 a	31.60 ab
80/20	33.4 b	30.80 ab
70/30	36.4 ab	25.00 b

DMS 6.9664

Cuadro 6A. Efecto de la Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable concentración foliar (%) de potasio.

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad	
	Avante	Tribeka
100/0	4.1326 a	4.1654 a
90/10	4.0342 ab	3.9194 b
80/20	3.4018 c	3.8456 b
70/30	3.9932 b	3.8702 b

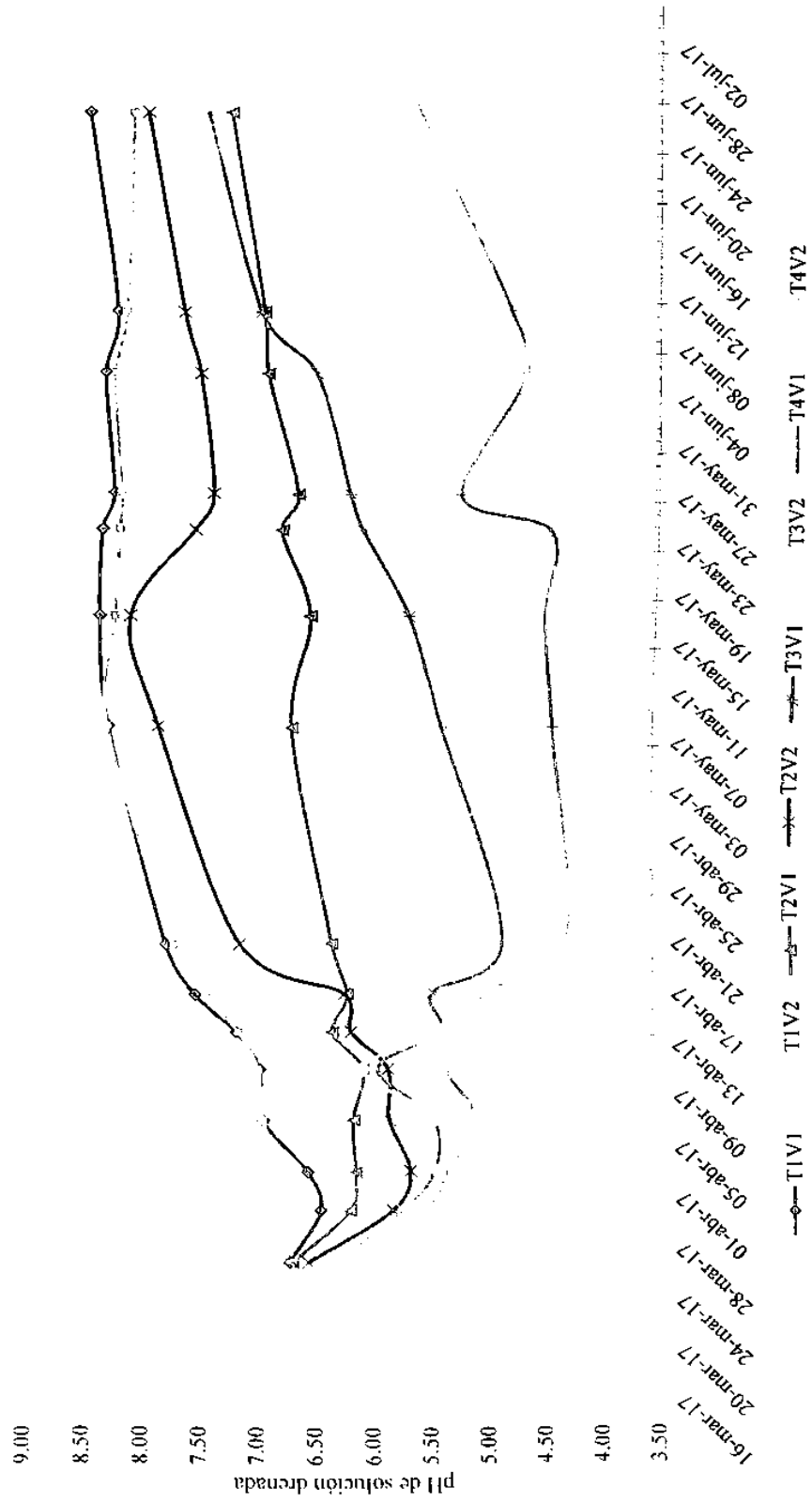
DMS 0.1744

Cuadro 7A. Efecto de la Interacción de la variedad \* relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  sobre la variable concentración foliar (%) de calcio.

Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Variedad	
	Avante	Tribeka
100/0	1.8780 a	1.9093 ab
90/10	1.9721 a	1.9094 ab
80/20	2.0270 a	2.3014 a
70/30	2.0270 a	1.7055 b

DMS 0.3875

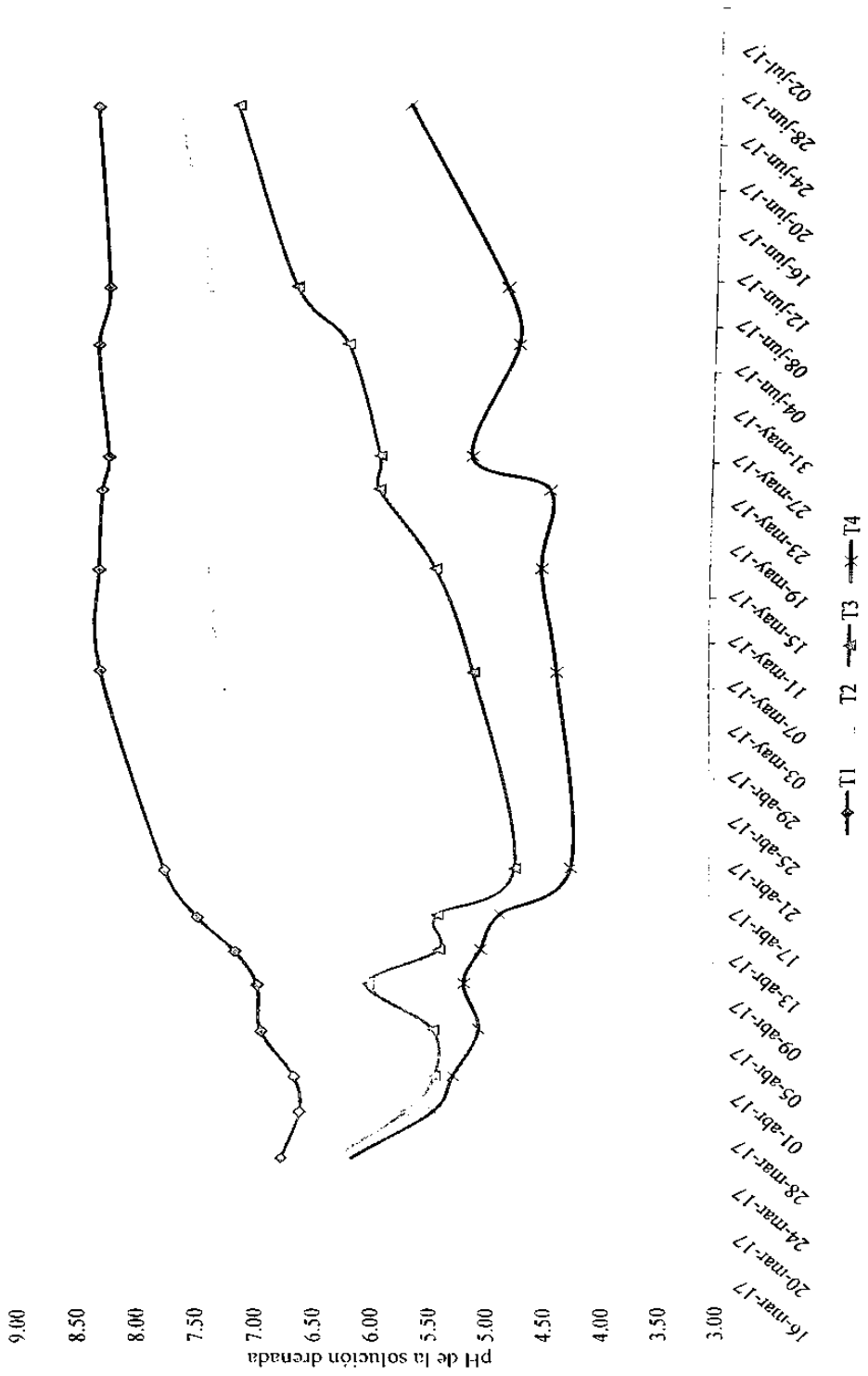
Figura 1A. pH de la solución drenada a través del tiempo en dos variedades de pimiento morrón a despunte temprano con distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .



T1: 100/0; T2:90/10; T3:80/20; T4:70/30  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .

V1: Tribeka; V2: Avante.

Figura 2A. pH de la solución drenada a través del tiempo con distintas relaciones  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .



T1: 100/0; T2:90/10; T3:80/20; T4:70/30  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ .