

# Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.)

Determinación del requerimiento de nitrógeno del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

Gelacio Alejo-Santiago<sup>1</sup>; Gregorio Luna-Esquivel<sup>1</sup>; Rufo Sánchez-Hernández<sup>2\*</sup>; Eduardo Salcedo-Pérez<sup>3</sup>; Juan Diego García-Paredes<sup>1</sup>; Víctor Manuel Jiménez-Meza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km. 9, Tepic, Nayarit, C.P. 63780, MÉXICO.

<sup>2</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km. 25.5, Ranchería La Huasteca, municipio del Centro, Tabasco, C.P. 86280, MÉXICO. Correo-e: rusaher@hotmail.com (\*Autor para correspondencia).

<sup>3</sup>Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara. Carretera Guadalajara-Nogales km. 15.5, Jalisco, C.P. 45110, MÉXICO.

## Abstract

An experiment was conducted under protected conditions using soilless culture to determine the internal nitrogen requirement (INR) for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) variety Big Brother. Treatments consisted of four concentrations of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) in nutrient solution (5, 10, 15 and 20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ). The response variables were dry matter (DM) production and N concentration in the different plant organs. The results indicate that a plant produces an average of 357.1 g DM, of which 64.5 % is fruit, while the rest is distributed in stem, leaves and flowers. However, with regard to DM weight, leaves and flowers concentrated more N than fruit, with 2.3 and 3.3 % respectively, while fruit concentrated 1.5 % N. It was found that the  $\text{NO}_3^-$  concentration in the nutrient solution had a significant effect on the N concentration in total DM, ranging from 1.06 to 2.74 %. The highest yield was obtained in plants treated with the 15  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$  concentration, while the concentration with 20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  significantly reduced fruit yield. The minimum N concentration in total biomass when maximum fruit yield was reached was 2.2 %, a value that was considered as the INR for the crop. Based on this value, the N requirement for habanero pepper variety Big Brother is 5.1 kg per ton of fruit.

**Keywords:** soilless culture, crop nutrition, nutrimental removal, internal requirement.

## Resumen

Se realizó el experimento bajo condiciones protegidas e hidroponía para determinar el requerimiento interno (RI) de nitrógeno (N) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), variedad Big Brother. Los tratamientos consistieron en cuatro concentraciones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en la solución nutritiva 5, 10, 15 y 20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ . Las variables de respuesta fueron la producción de materia seca (MS) y las concentraciones de N en los diferentes órganos de la planta. Los resultados indicaron que una planta en promedio produce 357.1 g de MS; de los cuales 64.5 % corresponde a frutos, el resto se distribuye en tallo, hojas y flores. No obstante, con respecto al peso de MS, las hojas y flores son las que concentran más N, 2.3 y 3.3 % respectivamente; mientras que los frutos solo 1.5 %. Se observó que la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva tuvo efecto significativo en la concentración de N en la MS total, con intervalo de 1.06 a 2.74 %. El mayor rendimiento se obtuvo en las plantas tratadas con la solución de 15  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ; mientras que la concentración de 20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  redujo significativamente el rendimiento de fruto. La concentración mínima de N en la biomasa total cuando se obtuvo el máximo rendimiento del fruto fue de 2.2 %, valor que fue considerado como el RI de N para el cultivo. Con base en este valor, el requerimiento de N para chile habanero variedad Big Brother fue de 5.1 kg por tonelada de fruto.

**Palabras clave:** hidroponía, nutrición de cultivos, extracción nutrimental, requerimiento interno.

Please cite this article as follows (APA 6): Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., García-Paredes, J. D., & Jiménez-Meza, V. M. (2015). Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.), Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(3), 215-227. doi: 10.5154/r.rchsh.2014.04.015



Revista Chapingo  
Serie Horticultura

## Introduction

Improper fertilizer use is a factor in environmental degradation. On the one hand, an insufficient dose from the nutritional point of view generates low yields, while an excessive one generates high economic and environmental costs. Therefore, in recent decades, a balanced fertilization approach, which consists of supplying nutrients in the amount and at the time required by the crop, has been promoted (Ryan, 2008). Under this view, knowledge regarding crop nutrient requirements and nutrient supply, based on chemical analysis of the soil and plants, is needed.

According to Etchevers (1999), information on the nutrient content of plants at harvest time, along with the expected or possible yields, enables us to calculate the nutrient demand (ND), and thereby determine the kilograms of nutrients per hectare that plants need to remove and incorporate into their tissues to achieve the highest possible yields. According to Rodríguez, Pinochet, and Matus (2001), calculating ND requires knowing the crop's internal requirement (IR), which they defined as the minimum optimum concentration of the nutrient in the dry matter produced. In addition, they stated that to facilitate the calculation of ND based on the harvested product, factors have been established from the IR and the proportion of the harvested product in the total aboveground biomass produced. Also, other methodologies have been put forward that indicate that it is possible to determine the internal nitrogen requirement (INR) by determining its concentration during growth phases, although such methodologies indicate that DN varies based on phenological stages, and that plant organs are continually being adapted depending on N requirements (Caloin & Yu, 1984).

The close relationship that N has with some specific activities of the various plant organs makes it possible to indirectly identify some of these physiological functions. One of them is respiration, which has a close correlation with the accumulation of N in the different plant organs. It has been observed that by increasing the respiration rate, the tissue N content increases, with the leaves and roots having the greatest N demand to carry out this process (Reich et al., 2008). The same authors proposed that quantifying N in plant components may be an indirect measure to determine respiration rate. Also, the photosynthetic capacity of plants is related to the N content, since this element is a constituent of thylakoid proteins, which are involved in the Calvin cycle (Evans, 1989; Barker & Bryson, 2007). Because respiration and photosynthesis are functions that, preferably, are made by the aboveground part of plants, there are other approaches in which it is stated that the IR is the optimum nutrient concentration in total aboveground biomass at harvest time (Greenwood et al. 1980). In this sense, a methodology for determining

## Introducción

El uso inadecuado de fertilizantes es un factor que influye en el deterioro del ambiente. Por una parte, la dosis deficitaria desde el punto de vista nutrimental genera bajos rendimientos; mientras que una excesiva genera altos costos económicos y ambientales. Por ello, durante las últimas décadas, se ha impulsado el enfoque de la fertilización balanceada; la cual consiste en suministrar nutrimentos en la cantidad y el momento en que el cultivo lo requiere (Ryan, 2008). Bajo esta visión, se necesitan conocimientos respecto a los requerimientos nutrimentales de los cultivos, así como el suministro de nutrimentos a partir de análisis químicos del suelo y plantas.

Según Etchevers (1999), la información relativa al contenido nutrimental de las plantas en el momento de la cosecha, junto con la de los rendimientos esperados o posibles, permiten calcular la demanda nutrimental (DN), y con ello determinar los kilogramos de nutrimentos por hectárea que las plantas necesitan extraer e incorporar a sus tejidos para alcanzar los mayores rendimientos posibles. De acuerdo con Rodríguez, Pinochet, y Matus (2001), para calcular la DN es necesario conocer el requerimiento interno (RI) del cultivo; el cual definieron como la concentración mínima óptima del nutriente en la materia seca producida. Además, mencionaron que para facilitar el cálculo de la DN en función del producto cosechado, se han establecido los factores a partir del RI, y de la proporción del producto cosechado en la biomasa aérea total producida. Asimismo, se han planteado otras metodologías que señalan que es posible determinar el RI de nitrógeno (N), mediante el diagnóstico de su concentración durante las fases de crecimiento; aunque dichas metodologías refieren que la DN varía de acuerdo con sus etapas fenológicas, y que los órganos de la planta continuamente se están adaptando dependiendo de los requerimientos de N (Caloin & Yu, 1984).

La estrecha relación que el N tiene con algunas actividades específicas de los diferentes órganos de las plantas hace posible determinar indirectamente algunas de estas funciones fisiológicas. La respiración es una de ellas, la cual mantiene una estrecha correlación con la acumulación de N en los diferentes órganos de la planta. Se ha observado que al incrementar la tasa de respiración el contenido de N tisular aumenta, siendo en primera instancia las hojas y las raíces las que mayores demandas de N presentan para efectuar dicho proceso (Reich et al., 2008). Los mismos autores propusieron que la cuantificación de N en los componentes de la planta puede ser una medida indirecta para determinar la tasa de respiración. Asimismo, la capacidad fotosintética de las plantas está relacionada con el contenido de N; ya que este elemento es un constituyente de las proteínas de los tilacoides, que intervienen en el ciclo de Calvin (Evans, 1989; Barker & Bryson, 2007). Debido

the IR in vegetables consists of providing increasing doses of the nutrient under evaluation to a given crop, seeking to maintain the sufficiency level in the rest of the nutrients, a situation that is difficult to control under experimental field conditions; therefore, it is recommended that this type of research be conducted under controlled conditions, i.e., hydroponically (Bugarín, Galvis, Sánchez, & García, 2002).

Etchevers (1999) pointed out that in soils it is common to find a deficit of N, P and K, and eventually of B and Mg. In this regard, Marschner (2012) mentioned that the optimum N concentration to achieve good growth and development in most crops is 2 to 5 %, although this range may vary depending on the species and the state of development of the organs. Havlin, Tisdale, Beaton, and Nelson (2004) indicated that the N level in plants is between 1 and 5 % of total DM. Some of the important N functions in plants are related to the molecular synthesis of nucleic acids, amino acids, proteins, chlorophylls and alkaloids; in addition, the nitrate ion ( $\text{NO}_3^-$ ) and other reduced forms of N contribute to reducing the hydric potential of the vacuole in the osmoregulation process (Cárdenas-Navarro, Sánchez-Yáñez, Farías-Rodríguez, & Peña-Cabriales, 2004). Considering that water is the main limiting factor for plant development and that it is the only substance capable of integrating growth and metabolic activity at the cellular level, the role of N as an osmotic agent has been considered very important in plant nutrition (Mcintyre, 2001; Mengel, Kirkby, Kosegarten, & Appel, 2001).

Another important factor in the dynamics of the N concentration in plants is the growth stage. In some crops, such as cereals, the greatest N demand occurs during grain production, and even within this vegetative stage there is differentiation in the need for this nutrient, being during grain filling where up to two-thirds is required. According to Lemaire, Jeuffroy, and Gastal (2008), knowing the correct amount and time for supplying a nutrient demanded by a crop allows controlling its status without falling into excesses or deficits, which can affect both costs and the environment. In this sense, Fageria, Santos, and Cutrim (2008) determined that the genetic factor influences the N requirement in plants; therefore, it is necessary to specifically identify the appropriate amount of N for each species and variety as a strategy to get the best possible yield.

Pereira et al. (2013) highlighted the importance of knowing the nutrient status of plants in order to generate the most appropriate fertilizer doses to maximize yields, and the need to identify the amount demanded, the time at which it is required and the relationships maintained among the different nutrients. Furthermore, although eventually visual diagnosis is a tool to identify

a que la respiración y la fotosíntesis son funciones que, preferentemente, son realizadas por la parte aérea de las plantas, hay otros enfoques en los que se señala que el RI es la concentración nutrimental óptima en la biomasa aérea total en el momento de la cosecha (Greenwood et al. 1980). En este sentido, una metodología para determinar el RI en hortalizas consiste en aportar dosis crecientes del nutrimento que se evalúa a un cultivo determinado, procurando mantener el nivel de suficiencia en el resto de los nutrimentos, situación que es difícil de controlar bajo condiciones experimentales en campo; por lo anterior se recomienda realizar este tipo de investigaciones bajo condiciones controladas, es decir, cultivos hidropónicos (Bugarín, Galvis, Sánchez, & García, 2002).

Etchevers (1999) señaló que en los suelos es frecuente encontrar déficit de N, P y K, y eventualmente de B y Mg. Al respecto, Marschner (2012) mencionó que la concentración óptima de N, para alcanzar un buen crecimiento y desarrollo, en la mayoría de los cultivos es de 2 a 5 %, aunque este rango puede variar dependiendo de la especie y el estado de desarrollo de los órganos. Havlin, Tisdale, Beaton, y Nelson (2004) indicaron que en las plantas el N se encuentra entre 1 y 5 % como componente de MS total. Algunas de las funciones importantes del N en la planta, es que se relaciona con la síntesis molecular de ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides; además de que el ión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y otras formas reducidas del N contribuyen en la reducción del potencial hídrico de la vacuola dentro del proceso de osmoregulación (Cárdenas-Navarro, Sánchez-Yáñez, Farías-Rodríguez, & Peña-Cabriales, 2004). Tomando en cuenta que el agua es el principal factor limitante para el desarrollo de las plantas, y que es la única sustancia capaz de integrar el crecimiento y la actividad metabólica a nivel celular, la función del N como agente osmótico ha sido considerada muy importante en la nutrición vegetal (Mcintyre, 2001; Mengel, Kirkby, Kosegarten, & Appel, 2001).

Otro factor importante, sobre la dinámica de la concentración del N en la planta, es la etapa de crecimiento. En algunos cultivos, como los cereales, la mayor demanda de N ocurre durante la producción de granos, e inclusive dentro de esta etapa vegetativa hay diferenciación en la necesidad de este nutriente; siendo durante el llenado de grano donde se requiere hasta 2/3. Según Lemaire, Jeuffroy, y Gastal (2008), conocer la cantidad y momento de la demanda de un nutrimento por el cultivo permite controlar su estado sin caer en excesos o déficit, que pueden afectar tanto en costos como en problemas ambientales. En este mismo sentido, Fageria, Santos, y Cutrim (2008) identificaron que el factor genético influye en el requerimiento de N en la planta; por lo que es necesario identificar específicamente la cantidad adecuada de N para cada

deficiencias, tissue analysis, particularly of the leaves, is the most appropriate strategy for generating more accurate fertilizer dose recommendations.

Although studies have been performed to determine the IR of various crops (Rodríguez, 1993; Galvis, Álvarez, & Etchevers, 1998; Bugarín et al., 2002), there are others for which there is a lack of information, which prevents, among other things, determining the optimum fertilization doses for different growing areas. One such crop is the habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.), which, in recent years, has aroused great interest in the United States and Canada markets, since it is considered one of the spiciest and aromatic peppers in the world, characteristics that have made it one of the favorites in international cuisine; it has a wide variety of applications, such as natural colorants, as a source of minerals and vitamins and as an input in the pharmaceutical and chemical industries. The leading exporters of this vegetable are Mexico and Belize; it is usually distributed in fresh or paste form (Ruiz-Lau, Medina-Lara, & Martínez-Estévez, 2011).

Due to the importance of habanero pepper in Mexico's economy and the role played by nitrogen in the physiology of this plant, the aim of this study was to determine the internal requirement, and with this calculate the nitrogen nutrient demand of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq) variety Big Brother, under greenhouse and hydroponic conditions.

## Materials and methods

The experiment was conducted in a greenhouse equipped with a hydroponic system at Autonomous Nayarit University (UAN), in Xalisco county, state of Nayarit, Mexico, located at coordinates 21° 25' 33.96" NL and 104° 53' 30.68" WL. During the production cycle the minimum and maximum temperatures recorded were 16 and 34 °C, respectively.

Seeds of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) variety Big Brother were sown in 200-cavity plastic trays. When seedlings presented two true leaves, they were transplanted into 20-L polyethylene bags, which were filled with red basaltic volcanic scoria substrate, with grain size of 3-6 mm in diameter.

Treatments consisted of four concentrations of nitrates (5, 10, 15 and 20 meq·L<sup>-1</sup>) in the nutrient solution (NS). These solutions were formulated in accordance with the methodology proposed by Steiner and Van-Winden (1970). As macronutrient sources, potassium nitrate, calcium nitrate, 85 % phosphoric acid, 98 % sulfuric acid, potassium sulfate, magnesium sulfate, calcium sulfate and 55 % nitric acid were used, while H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O and CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O were used as micronutrient sources. The Fe was provided in the form

especie y variedad como una estrategia para obtener el mayor rendimiento posible.

Pereira et al. (2013) resaltaron la importancia de conocer el estado nutrimental de las plantas con la finalidad de generar las dosis de fertilización más adecuadas para obtener los máximos rendimientos; así como la necesidad de identificar la cantidad demandada, el momento en que se requiere y las relaciones que se mantienen entre los diferentes nutrientes. Además, aunque eventualmente el diagnóstico visual es una herramienta para identificar deficiencias, el análisis de tejidos, particularmente el foliar, es el más apropiado para generar recomendaciones de dosis de fertilización más precisas.

Aunque se han desarrollado estudios para determinar el RI de varios cultivos (Rodríguez, 1993; Galvis, Álvarez, & Etchevers, 1998; Bugarín et al., 2002), existen otros en los que se carece de información, lo que impide, entre otras cosas, determinar las dosis óptimas de fertilización para diferentes zonas productoras. Uno de esos cultivos es el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.); el cual, en los últimos años ha despertado gran interés en los mercados de Estados Unidos y Canadá, debido a que es considerado uno de los chiles más picantes y aromáticos del mundo, características que lo han hecho uno de los favoritos en la cocina internacional; tiene gran diversidad de usos, por ejemplo colorantes naturales, fuente de minerales, vitaminas y como insumo en la industria farmacéutica y química. Los principales exportadores de esta hortaliza son México y Belice; generalmente se distribuye en fresco o en forma de pasta (Ruiz-Lau, Medina-Lara, & Martínez-Estévez, 2011).

Por la importancia que tiene el chile habanero en la economía de México, y por el rol que juega el nitrógeno en la fisiología de esta planta, el objetivo del estudio fue determinar el requerimiento interno, y con ello calcular la demanda nutrimental de nitrógeno del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) variedad Big Brother, bajo condiciones de invernadero e hidroponía.

## Materiales y métodos

El experimento se desarrolló en un invernadero equipado con sistema hidropónico en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), en el municipio de Xalisco, estado de Nayarit, México. La ubicación geográfica corresponde a las coordenadas 21° 25' 33.96" LN y 104° 53' 30.68" LO. Durante el ciclo de producción las temperaturas mínimas y máximas registradas fueron 16 y 34 °C, respectivamente.

Para el establecimiento del experimento se sembraron semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) variedad Big Brother en charolas de plástico de 200

of EDTA-Fe. The details of the chemical composition of the NS evaluated are presented in Table 1.

As can be seen, as the concentration of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) in treatments 1, 2 and 3 was increased, the concentration of sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) was modified, without exceeding the anion concentration of  $20 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ . In the case of treatment 4, it was necessary to raise the  $\text{K}^+$  concentration to  $12 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$  in order to maintain the electrolyte balance between anions and cations. The adjustment of NS pH between 6 and 6.5 was done by providing NaOH or  $1\text{N H}_2\text{SO}_4$ , every 24 hours.

The NS was provided by a drip irrigation system, applying six daily irrigations of 300 mL per plant. Each irrigation lasted 5 minutes, with 90-minute intervals, starting at 9:00 am. The chemical composition expressed in  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  of drinking water, used in the preparation of the NS, was  $2.1 \text{ Na}^+$ ,  $0.15 \text{ K}^+$ ,  $0.3 \text{ Mg}^{2+}$ ,  $0.1 \text{ Ca}^{2+}$ ,  $0.1 \text{ SO}_4^{2-}$ ,  $1.3 \text{ HCO}_3^-$  and  $0.1 \text{ Cl}^-$ , as well as  $\text{EC } 0.20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $\text{pH } 6.19$  and  $\text{SAR } 4.5$ ; therefore, it was classified as C1S1 according to the Riverside standard (Dell'Amico, Morales, & Calaña, 2011). As response variables, DM production, N concentration in different plant organs and agronomic yield (AY) were evaluated.

At the beginning of harvest time, 25 plants per treatment were labeled. For seven weeks fruit collections were performed, with one-week intervals. The AY was determined from the sum of the weights of the collected fruits, regardless of their size and quality. At the end of the harvest period, the plants were cut at the base of the stem, they were weighed complete and the leaves, stems, flowers and fruits were sectioned. The sectioned parts were washed with distilled water and dried at  $65^\circ\text{C}$  in a Lumistell® Model HTP-42 forced air oven, to constant weight. Once the samples were dried, they were ground and passed through a 20-mesh screen ( $850 \mu\text{m}$  in diameter). Subsequently, the samples were prepared using as extractant a 2:1 mixture of nitric acid and perchloric acid, according to the methodology proposed by Alcántar and Sandoval (1999).

In this experiment, the root was not considered, as suggested by the methodology proposed by Greenwood

cavidades. Cuando las plántulas presentaron dos hojas verdaderas se trasplantaron en bolsas de polietileno de 20 L, las cuales se llenaron con sustrato de escoria volcánica basáltica roja, con granulometría de 3 a 6 mm de diámetro.

Los tratamientos consistieron en cuatro concentraciones de nitratos ( $5, 10, 15$  y  $20 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en la solución nutritiva (SN). Dichas soluciones fueron formuladas de acuerdo con la metodología propuesta por Steiner y Van-Winden (1970). Como fuentes de macronutrientes fueron usados nitrato de potasio, nitrato de calcio, ácido fosfórico al 85 %, ácido sulfúrico al 98 %, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio y ácido nítrico al 55 %; mientras que como fuente de micronutrientes se utilizaron  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{MnSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . El Fe se suministró en forma de EDTA-Fe. Los detalles de la composición química de las SN evaluadas se presentan en el Cuadro 1.

Como se puede observar, conforme se incrementó la concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en los tratamientos 1, 2 y 3, se modificó la concentración de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sin exceder la concentración de aniones de  $20 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ . En el caso del tratamiento 4, fue necesario elevar la concentración de  $\text{K}^+$  a  $12 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$  con la finalidad de mantener el balance electrolítico entre aniones y cationes. El ajuste de las SN a pH de 6 a 6.5, se realizó mediante el suministro de NaOH o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N, cada 24 horas.

La SN fue suministrada mediante el sistema de riego por goteo, aplicando diariamente seis riegos de 300 mL por planta. Cada riego duró 5 minutos, con espaciamientos de hora y media, a partir de las 9:00 a.m. La composición química expresada en  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  del agua potable, usada en la preparación de las SN, fue de  $2.1$  de  $\text{Na}^+$ ,  $0.15$  de  $\text{K}^+$ ,  $0.3$  de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $0.1$  de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $0.1$  de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $1.3$  de  $\text{HCO}_3^-$  y  $0.1$  de  $\text{Cl}^-$ , y CE de  $0.20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , pH de  $6.19$  y RAS de  $4.5$ ; por lo que fue clasificada como C1S1 de acuerdo con la norma Riverside (Dell'Amico, Morales, & Calaña, 2011). Como variables de respuesta se evaluaron la producción de MS, concentración de N en diferentes órganos de la planta y rendimiento agronómico (RA).

**Table 1. Composition of nutrient solutions evaluated in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.).**

**Cuadro 1. Composición de soluciones nutritivas evaluadas en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).**

Nutrient solution / Solución nutritiva	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$
	$\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$					
1	5	1	14	7	9	4
2	10	1	9	7	9	4
3	15	1	4	7	9	4
4	20	1	4	12	9	4

et al. (1980). Some studies report that the proportion of DM corresponding to the root ranges from 5 to 7 %, while the stem, leaves and fruit account for 15, 16 and 64 % respectively, i.e. together they represent between 95 and 97 % of total DM produced by pepper plants. Besides the above, it is reported that the lowest levels of N, P and K are concentrated in the root mass (Terbe, Szabó, & Kappel, 2006).

The N was determined by the Kjeldahl method, modified by Bremmer and Mulvaney (1982) to include  $\text{NO}_3^-$ . The P concentration was determined by the ammonium molybdate method (Chapman & Pratt, 1979), the  $\text{K}^+$  by flame photometry (Kalra, 1998), and the  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  by spectrophotometry (Kalra, 1998).

The experiment was established under a completely randomized design, with four treatments and five replications; each experimental unit included five plants. Data were analyzed by analysis of variance and the Tukey test ( $P \leq 0.05$ ) after transforming the percentages using the arcsine function. Furthermore, quadratic regression analysis was performed to obtain the relationship between the N concentration in total biomass (TB) and AY. For the above, the Statistical Analysis System, ver 6.12 (SAS, 2013) was used.

## Results and discussion

### Dry matter (DM) production

By increasing the  $\text{NO}_3^-$  concentration in the NS, the DM production in the different plant organs significantly increased ( $P \leq 0.01$ ). It was noted that with the dose of  $20 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ , the DM corresponding to leaves, stems and flowers was the highest compared to the other treatments. However, the greatest total DM production was recorded in the  $15 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$  treatment (Table 2).

These results are due to the decrease in DM production in fruit, starting with the  $20 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$  treatment, which meant a reduction in total DM, since the biomass corresponding to this organ is equivalent to 61 % of the plant total. DM gain in leaves, stems and flowers, by increasing  $\text{NO}_3^-$  levels in the NS, coincides with that reported by Landis (2000), who notes that high N levels promote rapid cell division and elongation. Salisbury and Ross (2000) indicated that slow growth in plants may be due to low N availability, so nitrogen fertilization, supplemented with other elements such as P and K, contributes to increased plant height (Close, Bail, Hunter, & Beadle, 2005).

Nutrients are involved in specific physiological functions in plants, and they are also structural components of cells; in the case of N at high doses, it is regarded as a stimulator of increased vegetative growth (Rubio-Covarrubias, Grünwald, & Cadena-Hinojosa, 2005). This may explain the reduction in DM production

Al inicio de la cosecha se etiquetaron 25 plantas por tratamiento. Durante siete semanas se realizaron recolecciones de frutos, con espaciamientos de una semana. El RA fue determinado a partir de la sumatoria de los pesos de los frutos colectados, sin considerar su tamaño y calidad. Al término del periodo de la cosecha, las plantas fueron cortadas en la base del tallo, se pesaron completas y se seccionaron las hojas, tallos, flores y frutos. Las partes seccionadas se lavaron con agua destilada y fueron secadas en  $65^\circ\text{C}$  en una estufa de aire forzado marca Lumistell® Modelo HTP-42, hasta alcanzar un peso constante. Una vez secas las muestras, se molieron y se pasaron a través de un tamiz de malla 20 ( $850 \mu\text{m}$  de diámetro). Posteriormente, se prepararon las muestras usando como extractante una mezcla 2:1 de ácido nítrico y ácido perclórico, según la metodología propuesta por Alcántar y Sandoval (1999).

En este experimento, la parte correspondiente a la raíz no fue considerada, tal como sugiere la metodología propuesta por Greenwood et al. (1980). Algunas investigaciones refieren que la proporción de MS correspondiente a la raíz, oscila de 5 a 7 %; mientras que el tallo, las hojas y frutos representan 15, 16 y 64 % respectivamente, es decir, en conjunto representan entre 95 y 97 % de MS total producida por las plantas de chile. Además de lo anterior, se reporta que los niveles más bajos de N, P y K se concentran en la masa radicular (Terbe, Szabó, & Kappel, 2006).

El N se determinó por el método de Kjeldahl, modificado por Bremmer y Mulvaney (1982) para incluir  $\text{NO}_3^-$ . La concentración de P fue determinada mediante el método de molibdato de amonio (Chapman & Pratt, 1979), el  $\text{K}^+$  por flameofotometría (Kalra, 1998), y el  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$  por espectrofotometría (Kalra, 1998).

El experimento fue establecido bajo un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones; en cada unidad experimental se incluyeron cinco plantas. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), previa transformación de los porcentajes usando la función arcoseno. Además se realizó análisis de regresión cuadrática para obtener la relación entre la concentración de N en biomasa total (BT) y el RA. Para lo anterior se usó el paquete Statistical Analysis System, ver 6.12 (SAS, 2013).

## Resultados y discusión

### Producción de materia seca (MS)

Al incrementar la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la SN, la producción de MS en los diferentes órganos de la planta aumentó significativamente ( $P \leq 0.01$ ). Se observó que

**Table 2. Dry matter production in different organs of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.).****Cuadro 2. Producción de MS en diferentes órganos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).**

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq·L <sup>-1</sup> )	Leaf /Hoja	Stem /Tallo	Flower /Flor	Fruit /Fruto	Total
	g·plant <sup>-1</sup>				
5	49.2b <sup>§</sup>	51.4ab	5.6b	144.5c	250.6b
10	57.8b	44.8b	10.8a	195.1bc	308.5b
15	72.8ab	68.8ab	11.6a	311.7a	464.9a
20	96.0a	76.0a	12.0a	254.2ab	454.2b
HSD/DMSH	26.9	26.2	5.0	107.8	132.3
CV	21.63	24.11	27.97	26.32	19.79

<sup>§</sup>Different letters in columns indicate significant differences among treatments (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). HSD: honestly significant difference, CV: coefficient of variation.

<sup>§</sup>Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DMSH: diferencia mínima significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

in fruit, since plants that received a higher N dose had increased leaf and stem production, which required a greater amount of minerals in their tissue formation, diverting it from fruit filling, so towards the end of the harvest cycle it was eventually reflected in lower DM production in the fruits. The habanero pepper, like other vegetables, is phenologically characterized because the greatest biomass production in fruits is recorded during the first harvests or cuts, whereas, as a result of the senescence of the plant and its energy expenditure, during the last collections, even though a greater number of fruits can be obtained, they are smaller, so total DM production is reduced.

According to Bar-Tal, Aloni, Karni, and Rosenberg (2001), a 15 meq·L<sup>-1</sup> N dose in the NS causes decreased DM production in peppers grown hydroponically. In research conducted in other species of vegetables, similar results have been reported. Tei, Benincasa, & Guiducci (2000) noted that the N supply to lettuce plants may have greater effect on fresh weight, rather than DM production, because it has been shown that the accumulation of N as NO<sub>3</sub><sup>-</sup> exerts an osmotic effect on the water content in the plant. Lefsrud, Kopsell, and Kopsell (2007) reported that N addition in lettuce can increase its production, an effect that was also indicated by Kandil and Gad (2009) in broccoli plants. The results obtained in the present study confirm that crops have an N saturation point; therefore, DM production stops or is reduced, even though the fertilization doses are increased.

The concentrations of 5 and 10 meq·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> can be considered deficient in N supply for growing habanero pepper, because, as can be seen, DM production in leaf and fruit were the lowest (Table 2). A study conducted by Doncheva, Vassileva, Ignatov, and Pandev (2001) in *Capsicum annuum* L. cv. Zlatan medal, indicates that N deficiency affects CO<sub>2</sub> assimilation and photosynthetic efficiency, so DM accumulation is directly affected by both processes.

con la dosis de 20 meq·L<sup>-1</sup>, la MS correspondiente a hojas, tallos y flores fue la más alta con respecto a los demás tratamientos. Sin embargo, la mayor producción de MS total se registró en el tratamiento de 15 meq·L<sup>-1</sup> (Cuadro 2).

Estos resultados obedecen a la disminución en la producción de MS en fruto, a partir del tratamiento de 20 meq·L<sup>-1</sup>, lo que significó la reducción en MS total; ya que la biomasa correspondiente a este órgano equivale al 61 % del total de la planta. La ganancia de MS en hojas, tallos y flores, al incrementar los niveles de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN, coincide con lo reportado por Landis (2000), quien señala que los niveles elevados de N, promueve la rápida división y elongación celular. Salisbury y Ross (2000) indicaron que el crecimiento lento en las plantas puede deberse a la baja disponibilidad de N; por lo que una fertilización nitrogenada, adicionada con otros elementos como el P y K, contribuyen a incrementar la altura de las plantas (Close, Bail, Hunter, & Beadle, 2005).

Los nutrimentos cumplen con funciones fisiológicas específicas en las plantas, además de que son componentes estructurales de las células; en el caso del N en altas dosis se considera como un estimulador de mayor crecimiento vegetativo (Rubio-Covarrubias, Grünwald, & Cadena-Hinojosa, 2005). Lo anterior puede ser una explicación de la reducción en la producción de MS en fruto; ya que las plantas al recibir una dosis más alta de N tuvieron mayor producción de hoja y tallo, la cual requirió mayor cantidad de minerales en su conformación tisular, restándose al llenado de frutos, por lo que hacia la parte final del ciclo de cosecha, eventualmente, se reflejó en menor producción de MS en los frutos. El chile habanero, al igual que otras hortalizas, se caracteriza porque, fenológicamente la mayor producción de la biomasa de los frutos se registra durante las primeras cosechas o cortes; mientras que, producto de la senescencia de la planta y de su desgaste energético, durante las últimas

## N concentration in plant organs

The N concentration in different harvested organs is presented in Table 3, where highly significant differences among treatments ( $P \leq 0.01$ ) are shown. The accumulation of N in different plant components increased as the  $\text{NO}_3^-$  concentrations in the MS were increased.

As can be seen, the greatest N accumulation in the plant organs was recorded in the 20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  treatment (Table 3); this is a result of the high affinity between the root system and the ion  $\text{NO}_3^-$ . Glass et al. (2002) reported that many upper plants have a higher affinity for this ion, enabling more efficient N absorption. However, the highest DM production was recorded in the 15  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  treatment, so it appears that this element can be absorbed and structurally accumulated in different plant organs, without this meaning greater yield of the organ of interest. Conversely, higher biomass in stems, leaves and flowers could use a greater amount of nutrients and cause lower translocation to the fruits, as well as a lower harvest yield, such as occurred with the 20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  treatment.

This phenomenon can be interpreted as the accumulation of unnecessary or excessive nutrients, an effect described by Mourão and Brito (2001) as luxury N uptake, which not only reduces DM production but also even delays the time taken to reach commercial maturity. Reich et al. (2008) identified a close correlation between the respiration rate and N accumulation in different plant organs; they also observed that by increasing the respiration rate the N content of their tissues was increased, with the leaves and roots demanding the most N. The aforementioned authors also proposed that quantifying N in the components of the plant may be an indirect measure of its respiration rate.

The concentrations of 5 and 10  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$  recorded the lowest N levels in leaf, stem, flower and fruit, plus they were the ones with the lowest fruit production, so these doses can be considered deficient for this crop. It was noted that the concentration of 2.8 % N in total biomass, which was obtained in the 20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$  treatment, was similar to the 3.0 % obtained by Noh-Medina, Borges-Gómez, and Soria-Fregoso (2010) by applying a dose of 130 kg N per hectare via fertigation to a habanero pepper crop. Undoubtedly, the criteria for determining the appropriate fertilization dose under field conditions are different from those of a hydroponic system; in both cases, the results suggest that when the N contribution reaches a saturation level, it may cause an overdose that would affect both DM production and potential yield. From this comes the importance of generating a dose that addresses fertilizer recovery efficiency, as well as considers the N from other supply sources, such as, possibly, soil

recolecciones, aun cuando se puedan obtener mayor número de frutos, éstos son de menor tamaño, por lo que la producción de la MS total se ve reducida.

Según Bar-Tal, Aloni, Karni, y Rosenberg (2001), una dosis de 15  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  de N en la SN provoca disminución en la producción de MS en pimientos cultivados bajo condiciones hidropónicas. En investigaciones realizadas en otras especies de hortalizas, se han reportado resultados similares. Tei, Benincasa, & Guiducci (2000) señalaron que el suministro de N a plantas de lechuga puede tener mayor efecto sobre el peso fresco, más que en la producción de MS; esto debido a que se ha demostrado que la acumulación de N en forma de  $\text{NO}_3^-$  ejerce un efecto osmótico en el contenido de agua en la planta. Lefsrud, Kopsell, y Kopsell (2007) reportaron que la adición de N en el cultivo de lechuga puede incrementar su producción; efecto que también fue indicado por Kandil y Gad (2009) en plantas de brócoli. Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman que los cultivos presentan saturación de N; por ello, la producción de MS se detiene o se reduce, aun cuando se incrementen las dosis de fertilización.

Las concentraciones de 5 y 10  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  pueden considerarse como deficientes en el abastecimiento de N para el cultivo de chile habanero; ya que, como se puede notar, la producción de MS en hoja y fruto fueron las más bajas (Cuadro 2). Una investigación conducida por Doncheva, Vassileva, Ignatov, y Pandev (2001) en *Capsicum annuum* L. cv. Zlatan medal, indica que la deficiencia de N afecta la asimilación de  $\text{CO}_2$  y la eficiencia fotosintética, por lo que la acumulación de MS se ve afectada directamente por ambos procesos.

## Concentración de N en los órganos de la planta

La concentración de N en los diferentes órganos cosechados se presenta en el Cuadro 3; en éste se muestran diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.01$ ). La acumulación de N en los diferentes componentes de la planta aumentó conforme se elevaron las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en la SN.

Como se puede observar, la mayor acumulación de N en los órganos de las plantas, se registró en el tratamiento de 20  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  (Cuadro 3); esto como resultado de la alta afinidad entre el sistema radicular y el ion  $\text{NO}_3^-$ . Glass et al. (2002) reportaron que muchas plantas superiores presentan mayor afinidad a este ion, lo que permite mayor eficiencia en la absorción del N. No obstante, la mayor producción de MS se registró en el tratamiento de 15  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ , por lo que queda de manifiesto que este elemento puede ser absorbido y acumulado estructuralmente en los diferentes órganos de la planta, sin que esto signifique mayor rendimiento del órgano de interés. Por el contrario, mayor biomasa de tallos, hojas y flores, podría utilizar mayor cantidad de nutrimentos y

**Table 3. N concentration in different organs of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.).****Cuadro 3. Concentración de N en los diferentes órganos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).**

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq·L <sup>-1</sup> )	Leaf/Hoja	Stem /Tallo	Flower/Flor	Fruit/Fruto	Total
	-----		(%)	-----	
5	1.2c	0.6c	2.0c	1.0c	1.0d
10	1.6c	0.9c	2.9b	1.5b	1.5c
15	2.8b	1.6b	3.8a	2.2a	2.3b
20	3.5a	2.5a	3.7a	2.5a	2.8a
HSD/DMSH	0.66	0.40	0.78	0.48	0.37
CV	16.3	15.7	13.9	14.8	11.1

Different letters in columns indicate that the arcsine of the means is different according to the Tukey test ( $P \leq 0.05$ ). HSD: honestly significant difference, CV: coefficient of variation.

Letras diferentes en columnas indican que el arcoseno de las medias es diferente según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). DMSH: diferencia mínima significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

organic matter. Moreover, Medina-Lara et al. (2008) reported a 3.5 % N concentration in leaf by using nutrient solutions with concentrations of 308 and 420 mg·L<sup>-1</sup> N; that is, with levels higher than those used in this study, the N concentrations in the leaf component were similar.

#### Agronomic yield (AY) and internal N requirement (INR)

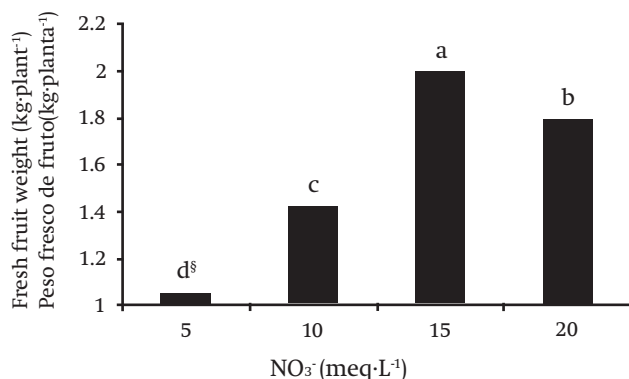
Agronomic yield is the most important in production, as it represents the DM component that generates income for producers. This yield is the result of an adequate nutrient supply, and good functioning of the plants. It was observed that increasing the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration in the NS, up to a dose of 15 meq·L<sup>-1</sup>, resulted in an increase in AY. However, starting with a dose of 20 meq·L<sup>-1</sup>, the AY began a significant decline (Figure 1).

According to Evans (1983), it is inappropriate in plant nutrition to provide only NO<sub>3</sub><sup>-</sup> as a source of N; this is because once the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> enters the plant, it has to expend energy converting the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> to NH<sub>4</sub><sup>+</sup> to continue the development pathway of amino acids and proteins. This energy expenditure can explain, in part, the decrease in AY that occurred with the 20 meq·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> treatment. This author stated that the relationship between the N concentration in leaves and the CO<sub>2</sub> assimilation rate is quadratic, which means that there is a point at which the N concentration does not correspond to an increase in CO<sub>2</sub> uptake. In this sense, Medina-Lara et al. (2008) evaluated increasing N doses in the NS for growing habanero pepper, concluding that 210 mg·L<sup>-1</sup> N is the optimum dose, since it allows greater fruit set, while exceeding that concentration decreases the number of fruits. In the case of the present study, the 15 meq·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> solution was the one that generated the most fresh fruit production (kg·plant<sup>-1</sup>). In this regard, Pire and Colmenarez (1994) observed that increasing the N dose from 270 to 360 kg·ha<sup>-1</sup> in sweet pepper significantly

ocasionar menor translocación a los frutos, así como menor rendimiento de cosecha, tal como ocurrió en el tratamiento de 20 meq·L<sup>-1</sup>.

Este fenómeno se puede interpretar como la acumulación de nutrimentos innecesaria o excesiva, efecto que fue descrito por Mourão y Brito (2001) como la absorción de lujo de N; la cual no solo reduce la producción de MS, sino que inclusive retrasa la madurez comercial. Reich et al. (2008) identificaron una estrecha correlación entre la tasa de respiración y la acumulación de N en los diferentes órganos de la planta; además, observaron que al incrementar la tasa de respiración el contenido de N de sus tejidos se aumentó, siendo en primera instancia las hojas y las raíces las que mayores demandas de N presentaron. Los autores antes mencionados también propusieron que la cuantificación de N en los componentes de la planta puede ser una medida indirecta de su tasa de respiración.

Las concentraciones de 5 y 10 meq·L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> registraron los niveles más bajos de N en hoja, tallo, flor y fruto; además de que fueron los que presentaron la menor producción de fruto, por lo que estas dosis se pueden considerar como deficientes para este cultivo. Se pudo precisar que la concentración de 2.8 % de N en la biomasa total, que se obtuvo en el tratamiento de 20 meq·L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, fue similar a la de 3.0 % obtenida por Noh-Medina, Borges-Gómez, y Soria-Fregoso (2010) al aplicar una dosis de 130 kg de N por hectárea vía fertirrigación, a un cultivo de chile habanero. Ciertamente, los criterios para determinar la dosis de fertilización bajo condiciones de campo son distintos a los de un sistema hidropónico; en ambos casos, los resultados sugieren que cuando el aporte de N llega a un nivel de saturación puede provocar una sobredosis que afectaría, tanto la producción de MS como el rendimiento potencial. De ahí proviene la importancia de generar dosis que contemplen la eficiencia de recuperación de los fertilizantes; así como considerar



**Figure 1. Agronomic yield of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) with different NO<sub>3</sub><sup>-</sup> inputs in the nutrient solution. <sup>§</sup>Different letters indicate significant differences in each column (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).**

**Figura 1. Rendimiento agronómico de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes aportes de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la solución nutritiva. <sup>§</sup>Letras diferentes indican diferencias significativas en cada columna (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).**

reduced fruit yield. Borges-Gómez et al. (2010) stated that to improve AY and fruit quality it is necessary that the conditions in which the plant develops allow good nutrient uptake, regardless of the increase in fertilization doses.

As already mentioned in Table 3, the N concentration in total aboveground biomass was increased by increasing the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations in the NS. It was also noted that fruit yield presented the same trend up to the concentration of 15 meq·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, since from 20 meq·L<sup>-1</sup> it decreased significantly.

According to the results obtained in this research, the INR in habanero pepper is 2.2 % (Figure 2). Taking into account that the crop produced 0.232 kg DM per kilogram of fresh fruit, then to get a ton of fresh habanero pepper requires the production of 232 kg DM, which creates a demand for 5.1 kg N. This value is less than that reported by Pire and Colmenarez (1994) for sweet pepper; by quantifying an N removal of 97.65 kg·ha<sup>-1</sup>, with yield of 12.07 t de fruit, the demand per ton of fruit amounts to 8.09 kg N; however, these authors suggest that with this level of removal there may have been an oversupply of N to the crop.

#### Nutrient content in total biomass

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations showed a significant impact on the absorption of other ions present in the NS. An upward trend was observed in most ions, with the exception of Ca and Fe, where no significant differences were observed (Table 4). Other research suggests that NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, provided as a source of N in the solution, helps raise

the N proveniente de otras fuentes de suministro, como podría ser la materia orgánica del suelo. Por otro lado, Medina-Lara et al. (2008) reportaron una concentración de 3.5 % de N en hoja al utilizar soluciones nutritivas con concentraciones de 308 y 420 mg·L<sup>-1</sup> de N; es decir que con niveles superiores a los utilizados en este estudio, las concentraciones de N en el componente foliar fueron similares.

#### Rendimiento agronómico (RA) y requerimiento interno (RI) de N

El RA es lo más importante en la producción, ya que éste representa el componente de MS que ofrece el ingreso económico a los productores. Dicho rendimiento es consecuencia de un adecuado suministro nutricional, y de un buen funcionamiento de las plantas. Se pudo observar que el incremento de la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN, hasta una dosis de 15 meq·L<sup>-1</sup>, provocó aumento en el RA. No obstante, a partir de una dosis de 20 meq·L<sup>-1</sup>, el RA inició un importante descenso (Figura 1).

De acuerdo con Evans (1983), un inconveniente en la nutrición vegetal es aportar únicamente NO<sub>3</sub><sup>-</sup> como fuente de N; esto debido a que una vez que el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ingresa a la planta, ésta tiene que realizar un gasto energético en la conversión del NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para seguir con la ruta de elaboración de aminoácidos y proteínas. Este desgaste energético puede explicar, en parte, la disminución que se tuvo en el RA en el tratamiento de 20 meq·L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Este mismo autor indicó que la relación entre la concentración de N en las hojas y la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> es cuadrática, lo que implica la existencia de un punto en el cual, la concentración de N no corresponde a un incremento en la asimilación de CO<sub>2</sub>. En este sentido, Medina-Lara et al. (2008) evaluaron las dosis crecientes de N en la SN en el cultivo de chile habanero donde concluyeron que 210 mg·L<sup>-1</sup> de N corresponden a la dosis óptima, ya que ésta permite mayor amarre del fruto; mientras que al aumentar la concentración antes mencionada, el número de frutos disminuye. En el caso de la presente investigación, la solución de 15 meq·L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fue la que generó mayor producción de fruto fresco (kg·planta<sup>-1</sup>). Al respecto, Pire y Colmenarez (1994) observaron que el aumento de 270 a 360 kg·ha<sup>-1</sup> en la dosis de N en el cultivo de pimiento, el rendimiento de fruto se redujo significativamente. Borges-Gómez et al. (2010) precisaron que para mejorar el RA y la calidad del fruto es necesario que las condiciones en las que se desarrolla la planta permitan una buena absorción nutricional, independientemente del incremento en las dosis de fertilización.

Como ya se había mencionado en el Cuadro 3, la concentración de N en la biomasa aérea total aumentó al incrementar las concentraciones NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN. Asimismo, se observó que el rendimiento de fruto

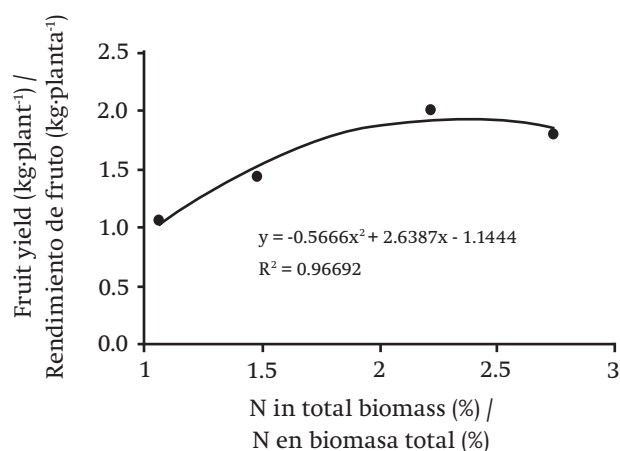
**Table 4. Nutrient concentration in the biomass of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.).****Cuadro 4. Concentración nutrimental en la biomasa de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).**

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq·L <sup>-1</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- ( g·kg <sup>-1</sup> ) -----					----- ( mg·kg <sup>-1</sup> ) -----			
5	10.0d	2.0c	13.6b	18.9a	2.3b	20.50b	10.20a	70.51b	16.62b
10	15.0c	2.8b	17.2b	17.7a	3.3a	24.42a	19.19a	115.85a	39.68a
15	23.0b	2.3 bc	16.1b	21.1a	3.5a	20.88ab	10.31a	72.73b	39.83ab
20	28.0a	4.2a	26.3a	19.2a	3.5a	24.37a	11.31a	110.56a	45.48a
HSD/DMSH	3.70	0.50	5.80	7.00	0.60	3.60	9.00	35.50	21.06
CV	11.49	9.76	17.49	20.36	10.96	18.63	25.23	6.61	7.26

Different letters in columns indicate significant differences among treatments (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). HSD: honest significant difference.

Letras diferentes en columna indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

the salinity of that NS (González-Raya et al., 2005), which affects both the transpiration and absorption of other nutrients. According to Villa-Castorena, Catalán-Valencia, Inzunza-Ibarra, and Sánchez-Cohen (2006), at the beginning of growth, salinity reduces transpiration and nutrient uptake, but at later stages of growth, salinity does not affect transpiration and increases nutrient uptake.

**Figure 2. Correlation between the N concentration (%) in total biomass and agronomic yield of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.).****Figura 2. Correlación entre la concentración de N (%) en la biomasa total y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).**

## Conclusions

The N concentration in TB increased as the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration in the NS increased. However, this increase did not have a directly proportional effect on AY. The highest yield was obtained with the 15 meq·L<sup>-1</sup> solution. Plants treated with that solution recorded an N concentration in biomass of 2.2 %; this value was considered the INR for growing habanero pepper

presentó una misma tendencia hasta la concentración de 15 meq·L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; ya que a partir de 20 meq·L<sup>-1</sup> el rendimiento disminuyó significativamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, el RI del N en chile habanero es de 2.2 % (Figura 2). Si se toma en cuenta que el cultivo produce 0.232 kg de MS por cada kilogramo de fruto fresco entonces para obtener una tonelada de chile habanero fresco se requiere la producción de 232 kg de MS, lo que genera una demanda de 5.1 kg de N. Este valor es inferior al nivel reportado por Pire y Colmenarez (1994) en el cultivo de pimiento, al cuantificar una extracción de N de 97.65 kg·ha<sup>-1</sup>, con rendimiento de 12.07 t de fruto, la demanda por tonelada de fruto asciende a 8.09 kg de N; sin embargo, estos autores indican que con este nivel de extracción pudo haber existido un sobre abastecimiento de N para el cultivo.

## Contenido de nutrimentos en biomasa total

Las concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> presentaron un efecto significativo sobre la absorción del resto de iones presentes en la SN. En la mayoría, se observó una tendencia creciente; con excepción del Ca y el Fe, donde no se observaron diferencias significativas (Cuadro 4). Otras investigaciones señalan que el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, aportado como fuente de N en la solución, contribuye a elevar la salinidad de dicha SN (González-Raya et al., 2005); lo que afecta tanto a la transpiración, como a la absorción del resto de nutrientes. Según Villa-Castorena, Catalán-Valencia, Inzunza-Ibarra, y Sánchez-Cohen (2006) al inicio del crecimiento, la salinidad disminuye la transpiración y la absorción de nutrimentos; pero en etapas más avanzadas del crecimiento, la salinidad no afecta la transpiración e incrementa la absorción de nutrimentos.

## Conclusiones

La concentración de N en la BT se incrementó conforme aumentó la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la

variety Big Brother. Based on this INR, the demand for N in the crop was 5.1 kg per ton of fresh fruit.

### End of English version

## References / Referencias

- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (Publicación especial No. 10). Chapingo, México. 156 p.
- Barker, A. V., & Bryson, G. M. (2007). Nitrogen. In: Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (Eds.), *Handbook of plant nutrition* (pp. 21–50). CRC Press. Boca Raton, USA.
- Bar-Tal, A., Aloni, B., Karni, L., & Rosenberg, R. (2001). Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. *Hortscience*, 36(7), 1252-1259. Recuperado de <http://hortsci.ashspublications.org/content/36/7/1252.full.pdf>
- Borges-Gómez, L., Cervantes, C. L., Ruiz, N. J., Soria, F. M., Reyes, O. V., & Villanueva, C. E. (2010). Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 35-41.
- Bremner, L. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Total nitrogen. In: Page, R., Miller, H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (pp. 595-634). Second edition. Madison, USA.
- Bugarín, M. R., Galvis, S. A., Sánchez, G. P., & García, J. D. (2002). Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra Latinoamericana*, 20(4), 391-399.
- Caloin, M., & Yu, O. (1984). Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. *Annals of Botany*, 54, 69-76.
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriaes, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178.
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1979). Métodos de análisis para suelos, plantas y agua. Trillas. México, D.F. 195 p.
- Close, D. C., Bail, I., Hunter, S., & Beadle, C. L. (2005). Effects of exponential nutrient-loading on morphological and nitrogen characteristics and on after-planting performance of *Eucalyptus globulus* seedlings. *Forest Ecology and Management*, 205(1-3), 397-403. doi:10.1016/j.foreco.2004.10.041
- Dell'Amico, R. J., Morales, G. D., & Calaña, N. J. M. (2011). Monitoreo de la calidad del agua para riego de fuentes de abasto subterráneas en la parte alta del nacimiento de la cuenca Almendares-Vento. *Cultivos tropicales*, 32(4), 71-81.

SN. No obstante, dicho aumento no tuvo un efecto directamente proporcional con el RA. El mayor rendimiento se obtuvo con la solución de 15 meq·L<sup>-1</sup>; las plantas tratadas con dicha solución registraron una concentración de N en la biomasa de 2.2 %, este valor fue considerado como RI de N para el cultivo de chile habanero variedad Big Brother. Con base en este RI, la demanda de N en el cultivo fue de 5.1 kg por tonelada de fruto fresco.

### Fin de la versión en español

- Doncheva, S., Vassileva, V., Ignatov, G., & Pandev, S. (2001). Influence of nitrogen deficiency on photosynthesis and chloroplast ultrastructure of pepper plants. *Agriculture and Food Science in Finland*, 10, 59-64.
- Etchevers, J. D. (1999). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3): 209-219. Recuperado de <http://chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art209-219.pdf>
- Evans, J. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, 78, 9-19. doi: 10.1007/BF00377192
- Evans, J. R. (1983). Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*, 72(2), 297-302. doi: org/10.1104/pp.72.2.297
- Fageria, N. K., Santos, A. B., & Cutrim, V. A. (2008). Dry matter and yield of lowland rice genotypes as influence by nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 31(4), 788-795. DOI:10.1080/01904160801928471
- Galvis, S. A., Álvarez, S. E., & Etchevers, B. J. (1998). A method to quantify N fertilizer requirement. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51, 155-162. doi: 10.1023/A:1009714932119
- Glass, A. D. M., Britto, D. T., Kaiser, B. N., Kinghorn, J. R., Kronzucker, H. J., Kumar, A., Okamoto, M., Rawat, S., Siddiqi, M. Y., Unkles, S. E., & Vidmar, J. J. (2002). The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53(370), 855-864. Recuperado de <http://jxb.oxfordjournals.org/content/53/370/855.full.pdf>
- González-Raya, E., Benavides-Mendoza, A., Ramírez, H., Robledo-Torres, V., Maiti, R., Reyes-López, A., Aguilera-Carbo, A. F., Fuentes-Lara, L. O., & Hernández-Valencia, R. E. M. (2005). Crecimiento de jitomate y calidad de frutos con diferentes concentraciones de nitrato. *Terra Latinoamericana*, 23, 105-111.
- Greenwood, J. D., Cleaver, T. J., Turner, M. K., Hunt, J. Niendorf, K. B., & Loquens, S. M. H. (1980). Comparison of the effects of potassium fertilizer on the yield, potassium content and quality of 22 different vegetable and agricultural crops. *The Journal of Agricultural Science*, 95, 441-456. doi: 10.1017/S0021859600039496

- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Beaton, J. D., & Nelson, W. L. (2004). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. Seventh edition. Prentice Hall, Inc. New Jersey, USA.
- Kalra, Y. P. (1998). *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.
- Kandil, H., & Gad, N. (2009). Effects of inorganic and organic fertilizers on growth and production of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Factori si Procese Pedogenetice din Zona Temperata*, 8, 61-69.
- Landis, T. D. (2000). Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. In: Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (Eds.), *Manual Agrícola* (pp. 1-67, vol. 4). Department of Agriculture Forest Service. Washington, DC. USA.
- Lefsrud, M. G., Kopsell, D. A., & Kopsell, D. E. (2007). Nitrogen levels influence biomass, elemental accumulations, and pigment concentrations in spinach. *Journal of Plant Nutrition*, 30(2), 171-185. doi: 10.1080/01904160601117838
- Lemaire, G. M., Jeuffroy, H., & Gastal, F. (2008). Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28, 614-624. doi: 10.1016/j.eja.2008.01.005
- Marschner, P. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press. San Diego, CA, USA.
- Mcintyre, G. I. (2001). Control of plant development by limiting factors: A nutritional perspective. *Physiologia Plantarum*, 113, 165-175.
- Medina-Lara, F., Echevarría-Machado, I., Pacheco-Arjona, R., Ruiz-Lau, N., Guzmán-Antonio A., & Martínez-Estévez, M. (2008). Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Hortscience*, 43(5), 1549-1554. doi: 10.1007/978-94-010-1009-2
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., & Appel, T. (2001). *Principles of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.
- Mourão, I., & Brito, M. (2001). Effects to direct film crop cover and top dress Nitrogen on earliness and yield of broccoli crop (*Brassica oleracea* var. *italic* Plenck). *Acta Horticulturae*, 563, 103-109. doi: 10.17660/ActaHortic.2001.563.12
- Noh-Medina, J., Borges-Gómez, L., & Soria-Fregoso, M. (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 219-228.
- Pereira-Serra, A., Bungenstab, D. J., Estevão-Marchetti, M., Nunes-Guimarães, F. C., Do Amaral-Conrad, V., Soares-de Moraes, H., Gonçalves-da Silva, M. A., & Pereira-Serra, R. (2013). Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) to assess the nutritional state of plants. In: Matovic, M. D. (Eds.), *Biomass now-sustainable growth and use* (pp. 129-146). InTech, Canada. doi: 10.5772/54576
- Pire, R., & Colmenarez, O. (1994). Extracción y Eficiencia de Recuperación de Nitrógeno por plantas de pimentón sometidas a diferentes dosis y fraccionamiento del elemento. *Agronomía Tropical*, 46(4), 353-369.
- Reich, P. B., Tjoelker, M. G., Pregitzer, K. S., Wright, I. J., Oleksyn, J., & Machado, J. L. (2008). Scaling of respiration to nitrogen in leaves, stems and roots of higher land plants. *Ecology Letters*, 11, 793-801.
- Rodríguez, S. J., Pinochet, T. D., & Matus, B. F. (2001). *La fertilización de los cultivos*. LOM Ediciones. Santiago de Chile.
- Rodríguez, S. J. (1993). *La Fertilización de los cultivos, un método racional*. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.
- Rubio-Covarrubias, O. A., Grünwald, N. J., & Cadena-Hinojosa, M. A. (2005). Influencia del nitrógeno sobre la infección de tizón tardío en el cultivo de papa en Toluca, México. *Terra Latinoamericana*, 23(4), 487-493.
- Ruiz-Lau, N., Medina-Lara, F., & Martínez-Estévez, M. (2011). El chile habanero: su origen y usos. *Ciencia*, 70-77.
- Ryan, J. J. (2008). A perspective on balanced fertilization in the Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(2), 79-89.
- Salisbury, F., & Ross, C. (2000). *Fisiología Vegetal*. Thomson Editores, Spain Paraninfo. Madrid, España.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2013). *SAS/STAT 6.12 user's guide*. Cary, NC, USA: Author.
- Steiner, A. A., & Van-Winden, H. (1970). Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiology*, 46, 862-863.
- Tei, F., Benincasa, P., & Guiducci, M. (2000). Effect of nitrogen availability on growth and nitrogen uptake in lettuce. *Acta Horticulturae*, 533, 385-392. doi: 10.17660/ActaHortic.2000.533.47
- Terbe, I., Szabó, Z. S., & Kappel, N. (2006). Macronutrient accumulation in green pepper (*Capsicum annum* L.) as affected by different production technologies. *International Journal of Horticultural Science*, 12(1), 13-19.
- Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E. A., Inzunza-Ibarra, M. A., & Sánchez-Cohen, I. (2006). La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrimentos en plantas de chile. *Terra Latinoamericana*, 24(3), 391-399.