

# Analysis of growth and yield of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) grown hydroponically under greenhouse conditions

## Análisis de crecimiento y rendimiento de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivada en hidroponía e invernadero

Cid Aguilar-Carpio<sup>1</sup>; Porfirio Juárez-López<sup>1\*</sup>; Irving H. Campos-Aguilar<sup>1</sup>; Irán Alia-Tejaca<sup>1</sup>; Manuel Sandoval-Villa<sup>2</sup>; Víctor López-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Av. Universidad núm. 1001, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62210, MÉXICO.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Programa de Edafología. Carretera México-Texcoco km 36.5,

Montecillo, Texcoco, México, C. P. 56230, MÉXICO.

\*Corresponding author: porfiriojlopez@yahoo.com

### Abstract

The cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) is an exotic fruit with a growing international market. In Mexico, there is little research on its growth and mineral nutrition. Therefore, the objective of this study was to determine the growth dynamics and yield of cape gooseberry cultivation based on three Steiner nutrient solution concentrations (50, 100 and 150 %) under greenhouse conditions. The experiment was established in Cuernavaca, Morelos, Mexico (18° 58' 51" North latitude and 99° 13' 55" West longitude, at 1,866 masl). The accumulated heat units (HU) were determined and the occurrence of the phenological phases was recorded during crop development. Crop growth was assessed through the number of leaves, leaf area and dry matter accumulated per plant. At harvest, the number and weight of fruits (with and without calyx) were recorded. The phenology of cape gooseberry cultivation was favored with the highest concentration of the nutrient solution, requiring 1,370 HU from transplant to ripeness; this represented 15 and 5 days of precocity compared to the other concentrations: 1,527 HU (50 %) and 1,435 HU (100 %), respectively. The highest leaf production, leaf area, dry matter, crop growth rate and fruit weight (with and without calyx) were obtained with the Steiner nutrient solution at 100 and 150 %, so it is suggested to use the 100 % solution.

### Keywords:

crop growth rate, crop nutrition, leaf area.

### Resumen

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es un fruto exótico con un mercado internacional en crecimiento, y en México existe escasa investigación sobre su crecimiento y nutrición mineral. Por lo que el objetivo del presente estudio fue determinar la dinámica de crecimiento y el rendimiento del cultivo de uchuva en función de tres concentraciones de la solución nutritiva Steiner (50, 100 y 150 %) bajo condiciones de invernadero. El experimento se estableció en Cuernavaca, Morelos, México (18° 58' 51" latitud norte y 99° 13' 55" longitud oeste, a 1,866 msnm). Se determinaron las unidades calor (UC) acumuladas y se registró la ocurrencia de las fases fenológicas durante el desarrollo del cultivo. El crecimiento del cultivo se evaluó a través del número de hojas, área foliar y materia seca acumulada por planta. En la cosecha se registró el número y peso de frutos (con y sin cáliz). La fenología del cultivo de uchuva se favoreció con la mayor concentración de la solución nutritiva, al requerir 1,370 UC de trasplante a madurez de consumo; esto representó 15 y 5 días de precocidad en comparación con las otras concentraciones: 1,527 UC (50 %) y 1,435 UC (100 %), respectivamente. La mayor producción de hojas, área foliar, materia seca, tasa de crecimiento del cultivo y peso de frutos (con y sin cáliz) se obtuvo con la solución nutritiva de Steiner al 100 y 150 %; por lo que se sugiere emplear la solución al 100 %.

### Palabras clave:

tasa de crecimiento del cultivo, nutrición de cultivos, área foliar.



## Introduction

Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) is a plant native to the Andean region and belongs to the family Solanaceae (Fischer, Ebert, & Lüdder, 2007). Its fruit is a bright yellow berry with a sweet semi-acid flavor (Fischer, Herrera, & Almanza, 2011). It is mainly consumed fresh and nutraceutical properties are attributed to it due to its content of vitamin C and other antioxidant compounds (Gutiérrez, Hoyos, & Páez, 2007). The main producing countries are Australia, Colombia, Ecuador, India, New Zealand, Peru, South Africa and Zimbabwe, while consumers are Germany, Brazil, Belgium, Canada, Spain, the United States of America, France, Holland, England, Italy and Switzerland (Fischer, Almanza, & Miranda, 2014).

In Mexico, there are still no intensive or extensive cape gooseberry production areas; however, it represents an alternative due to its productive potential (Castañeda-Salinas et al., 2013), so it is necessary to study its agronomic management, with an emphasis on mineral nutrition and greenhouse conditions.

In an agricultural production system, mineral nutrition is one of the main factors that must be taken into account, since an excess or deficiency of an element limits the optimal development of the plant, which directly affects its yield (Sánchez, Molinos, Alcántar, & Sandoval, 2009). Martínez, Sarmiento, Fischer, and Jiménez (2008) found 90 % less fruit in cape gooseberry plants that did not receive fertilization with boron or potassium and limited in nitrogen (15% of the complete solution), while the absence of phosphorus decreased yield by 50 % compared to control plants. In this regard, it has been reported that the cape gooseberry plant grows, develops and fructifies adequately with Steiner nutrient solution at 50 and 75 % concentration (Gastelum-Osorio, Sandoval-Villa, Trejo-López, & Castro-Brindis, 2013).

The production environment, such as climate and crop management, influences the productive use time of the cape gooseberry (Mora-Aguilar, Peña-Lomelí, López-Gaytán, Ayala-Hernández, & Ponce-Aguirre, 2006), since under optimal conditions it can last up to six years (Fischer et al., 2014). To achieve this, broad knowledge of plant physiology is indispensable.

Based on the above, growth analysis is used to study the factors influencing plant development and yield (Santos-Castellanos, Segura-Abril, & Núñez-López, 2010). This analysis uses direct measures such as dry matter weight, which depends on the size and duration of the leaf area (Tekalign & Hammes, 2005), with which the crop growth rate (CGR) can be calculated. This rate is considered an agricultural productivity index that measures a crop's weight gain per unit area and time (Santos-Castellanos et al., 2010).

## Introducción

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una planta originaria de la región andina, perteneciente a la familia de las solanáceas (Fischer, Ebert, & Lüdder, 2007). Su fruto es una baya color amarillo brillante y sabor dulce semiácido (Fischer, Herrera, & Almanza, 2011). Se consume principalmente en fresco y se le atribuyen propiedades nutraceuticas por su contenido de vitamina C y otros compuestos antioxidantes (Gutiérrez, Hoyos, & Páez, 2007). Los principales países productores son Australia, Colombia, Ecuador, India, Nueva Zelanda, Perú, Sudáfrica y Zimbabwe; mientras que los consumidores son Alemania, Brasil, Bélgica, Canadá, España, Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Inglaterra, Italia y Suiza (Fischer, Almanza, & Miranda, 2014).

En México, aún no existen áreas de producción intensivas ni extensivas de uchuva; sin embargo, representa una alternativa por su potencial productivo (Castañeda-Salinas et al., 2013), por lo que es necesario estudiar su manejo agronómico, con énfasis en nutrición mineral y en condiciones de invernadero.

En un sistema de producción agrícola, la nutrición mineral es uno de los principales factores que deben tomarse en cuenta, ya que un elemento en exceso o deficiente limita el desarrollo óptimo de la planta, lo que afecta directamente su rendimiento (Sánchez, Molinos, Alcántar, & Sandoval, 2009). Martínez, Sarmiento, Fischer, y Jiménez (2008) encontraron en uchuva 90 % menos frutos en plantas que no recibieron fertilización con boro o potasio y limitada en nitrógeno (15 % de la solución completa), mientras que la ausencia de fósforo disminuyó 50 % el rendimiento en comparación con las plantas control. En este sentido, se ha reportado que la planta de uchuva crece, desarrolla y fructifica de forma adecuada con la solución nutritiva Steiner al 50 y 75 % de concentración (Gastelum-Osorio, Sandoval-Villa, Trejo-López, & Castro-Brindis, 2013).

El ambiente de producción, como clima y manejo de cultivo, influye en el tiempo de aprovechamiento productivo de la uchuva (Mora-Aguilar, Peña-Lomelí, López-Gaytán, Ayala-Hernández, & Ponce-Aguirre, 2006), ya que en condiciones óptimas puede prolongarse hasta seis años (Fischer et al., 2014). Para lograr esto, el conocimiento amplio de fisiología de la planta es indispensable.

Con base en lo anterior, el análisis de crecimiento se usa para estudiar los factores que influyen en el desarrollo y rendimiento de las plantas (Santos-Castellanos, Segura-Abril, & Núñez-López, 2010). Dicho análisis usa medidas directas como el peso de la materia seca, el cual depende del tamaño y la duración del área foliar (Tekalign & Hammes, 2005), con el que se puede calcular la tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Esta

Generally, in growth analysis studies of fruit vegetables, mineral nutrition is not considered as a factor of variation (Juárez-Maldonado, de Alba-Romenus, Zermeno-González, Ramírez, & Benavides-Mendoza, 2015; Mazorra, Quintana, Miranda, Fischer, & Chaves, 2003); however, nutrient status influences crop growth and development (Hawkesford et al., 2012). In Mexico, little is known about cape gooseberry production; therefore, the objective of this research was to determine the growth dynamics and yield of cape gooseberry cultivation based on three Steiner nutrient solution concentrations (50, 100 and 150 %) under greenhouse conditions.

## Materials and methods

The study was carried out in Cuernavaca, Morelos, Mexico (18° 58' 51" North latitude and 99° 13' 55" West longitude, at 1,866 masl), from September 2015 to February 2016. On July 25, 2015, cape gooseberry ecotype Colombia seeds were planted in 200-cavity polystyrene trays, one seed per cavity, that contained commercial substrate for germination (BM2, Berger®). The transplant was carried out on September 23, 2015, with one plant placed in each pot.

The treatments were different Steiner (1984) nutrient solution concentrations (50, 100 and 150 %) (Table 1). A randomized complete block experimental design with four replicates was used. The experimental unit was 16, 12-L black polyethylene containers with tezontle as substrate (granulometry from 1 to 8 mm). The containers were arranged in a double row, with 2-m spacing between plants and between the double rows (Cooman, Torres, & Fischer, 2005). The plants were individually tutored with raffia and restricted to four stems each.

The fertilizers used to prepare the nutrient solution were calcium nitrate, potassium nitrate, magnesium sulfate, potassium sulfate and monopotassium phosphate. The microelements were applied by means of a commercial mixture of chelates (Ultrasol Micro

tasa se considera un índice de la productividad agrícola que mide la ganancia en peso de un cultivo por unidad de área y de tiempo (Santos-Castellanos et al., 2010).

Generalmente, en estudios de análisis de crecimiento de hortalizas de fruto no se considera la nutrición mineral como factor de variación (Juárez-Maldonado, de Alba-Romenus, Zermeno-González, Ramírez, & Benavides-Mendoza, 2015; Mazorra, Quintana, Miranda, Fischer, & Chaves, 2003); sin embargo, el estado nutrimental influye en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Hawkesford et al., 2012). En México se conoce poco acerca de la producción de uchuva; por lo que, el objetivo de esta investigación fue determinar la dinámica de crecimiento y el rendimiento del cultivo de uchuva en función de tres concentraciones de la solución nutritiva Steiner (50, 100 y 150 %) bajo condiciones de invernadero.

## Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en Cuernavaca, Morelos, México (18° 58' 51" latitud norte y 99° 13' 55" longitud oeste, a 1,866 msnm), de septiembre de 2015 a febrero de 2016. El 25 de julio de 2015 se sembraron semillas de uchuva ecotipo Colombia en charolas de poliestireno de 200 cavidades, una semilla por cavidad, que contenían sustrato comercial para germinación (BM2, Berger®). El trasplante se llevó a cabo el 23 de septiembre de 2015, para lo cual se colocó una planta por maceta.

Los tratamientos fueron distintas concentraciones (50, 100 y 150 %) de la solución nutritiva de Steiner (1984) (Cuadro 1). El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fueron 16 contenedores de polietileno color negro de 12 L de capacidad con tezontle como sustrato (granulometría de 1 a 8 mm). Los contenedores se acomodaron a doble hilera, con distancia entre plantas y entre las dobles hileras de 2 m (Cooman, Torres, & Fischer, 2005). Las plantas se tutoraron individualmente con rafia y el cultivo se condujo a cuatro tallos por planta.

**Table 1. Chemical composition of three Steiner nutrient solution concentrations (treatments).**

**Cuadro 1. Composición química de las tres concentraciones (tratamientos) de la solución nutritiva Steiner.**

Nutrient solution concentration (%) / Concentración de la solución nutritiva (%)	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	meq·L <sup>-1</sup>					
50	4.5	3.5	2.0	6.0	0.5	3.5
100	9.0	7.0	4.0	12.0	1.0	7.0
150	13.5	10.5	6.0	18.0	1.5	10.5

Mix, SQM®), at a dose of 20 g per 500 L of nutrient solution. To calculate this dose, the supply of 3 mg·L<sup>-1</sup> of iron (Fe) was considered. The commercial mixture of micronutrients contains the following concentrations expressed as a percentage: Fe (7.5), Mn (3.7), B (0.4), Zn (0.6), Cu (0.3) and Mo (0.2). The solution's pH was adjusted between 5.5 and 6.0 with sulfuric acid and the electrical conductivity was 1.0, 2.0 and 3.0 dS·m<sup>-1</sup>, for the 50, 100 and 150 % concentrations, respectively. Irrigations were applied according to the phenological stage and 15-20 % nutrient solution drainage was considered to avoid accumulation of salts; in the stages of highest consumption, 2 L of water were applied per plant per day.

During crop development, ten-day mean (Tmean), maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperatures (°C) inside the greenhouse were recorded with an environmental data recorder (Hobo®). In addition, the occurrence of phenological phases was reported (Fischer, 2000): transplant, flowering and ripeness. For each phase the accumulation of heat units (HU, °C·d<sup>-1</sup>) for the crop was determined, using the residual method of Snyder (1985):

$$HU = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - BT$$

where BT is the base temperature, considered as 6.3 °C (Salazar, Chaves-Córdoba, Cooman, & Jones, 2006).

Crop growth was evaluated on the basis of the three nutrient solution concentrations (50, 100 and 150 %), by destructive sampling of eight plants per treatment at 30, 60, 90 and 120 days after transplant (dat). In each sample, the number of leaves (NL) per plant and the leaf area (LA) were recorded. The latter was determined with a LA meter (LI-COR® 3100).

Dry matter (DM; g·plant<sup>-1</sup>) was quantified using a digital scale, for which the samples were dried at 70 °C in a forced-air circulation oven until constant weight. With this data, the CGR was calculated using the equation:

$$CGR = \frac{DW2 - DW1}{A(T2 - T1)}$$

where DW2 and DW1 indicate the DM weight of the plant at times T2 and T1, respectively, and A represents the area occupied by the plant (Escalante-Estrada & Kohashi-Shibata, 2015).

In ripeness, fruit harvesting was carried out weekly for three months, and the number and weight of fruits (with and without calyx) per plant were recorded.

With the obtained values, an analysis of variance was performed, and when there were significant

Los fertilizantes que se usaron para preparar la solución nutritiva fueron nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio y fosfato monopotásico. Los microelementos se aplicaron mediante una mezcla comercial de quelatos (Ultrasol Micro Mix, SQM®), en dosis de 20 g por cada 500 L de solución nutritiva. Para calcular dicha dosis se consideró el suministro de 3 mg·L<sup>-1</sup> de hierro (Fe). La mezcla comercial de micronutrientes contiene las siguientes concentraciones en porcentaje: Fe (7.5), Mn (3.7), B (0.4), Zn (0.6), Cu (0.3) y Mo (0.2). El pH de la solución se ajustó entre 5.5 y 6.0 con ácido sulfúrico y la conductividad eléctrica fue de 1.0, 2.0 y 3.0 dS·m<sup>-1</sup>, para las concentraciones 50, 100 y 150 %, respectivamente. Los riegos se aplicaron de acuerdo con la etapa fenológica y se consideró un drenaje de 15 a 20 % de solución nutritiva para evitar acumulación de sales; en las etapas de mayor consumo se aplicaron 2 L de agua por planta por día.

Durante el desarrollo del cultivo, se registró la temperatura (°C) media (Tmedia), máxima (Tmáx) y mínima (Tmín) decenal (días) dentro del invernadero con un registrador de datos ambientales (Hobo®). Además, se reportó la ocurrencia de las fases fenológicas (Fischer, 2000): trasplante, floración y madurez de consumo. Para cada fase se determinó la acumulación de unidades calor (UC, °C·d<sup>-1</sup>) para el cultivo, mediante el método residual de Snyder (1985):

$$UC = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} - TB$$

donde TB es la temperatura base, considerada como 6.3 °C (Salazar, Chaves-Córdoba, Cooman, & Jones, 2006).

El crecimiento del cultivo se evaluó en función de las tres concentraciones de la solución nutritiva (50, 100 y 150 %), mediante muestreos destructivos de ocho plantas por tratamiento a los 30, 60, 90 y 120 días después del trasplante (ddt). En cada muestreo se contabilizó el número de hojas (NH) por planta y el área foliar (AF). Este último se determinó con un medidor de AF (LI-COR® 3100).

La materia seca (MS; g·planta<sup>-1</sup>) se cuantificó con una báscula digital; para lo cual, las muestras se secaron a 70 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta peso constante. Con estos datos se calculó la TCC mediante la ecuación:

$$TCC = \frac{PS2 - PS1}{A(T2 - T1)}$$

donde PS2 y PS1 indican el peso de la MS de la planta en los tiempos T2 y T1, respectivamente, y A representa el área ocupada por la planta (Escalante-Estrada & Kohashi-Shibata, 2015).



differences, Tukey's range test ( $P \leq 0.05$ ) was conducted by means of the Statistical Analysis Software program (SAS Institute, 2003). Additionally, correlations between nutrient solution concentrations and growth variables were obtained with the Excel (Microsoft Office®) program.

## Results and discussion

### Phenology, temperature and heat units

In the phenological stages, flowering with the nutrient solution at 150 % occurred 70 dat, in the solution at 100 % at 75 dat and in the solution at 50 % at 85 dat, while ripeness occurred at 110, 115 and 125 dat, for nutrient solutions at 150, 100 and 50 %, respectively (Figure 1). Therefore, it is evident that the nutrient solution concentrations had a positive effect on crop phenology. This tendency can be associated to greater nutrient availability in nutrient solutions of 100 and 150 % compared to 50 %, which increases DM accumulation. Sabino-López et al. (2016) cultivated *Physalis peruviana* under greenhouse conditions with 50 % nutrient solution and reported the flowering stage at 57 dat and physiological maturity from 119 to 124 dat.

The ten-day average of the temperatures during crop development fluctuated from 15 to 21 °C (Figure 1), from transplant to flowering it was from 16 to 21 °C and from flowering to ripeness it was from 15 to 18 °C. The average temperatures at which the cape gooseberry crop developed were approximated at the

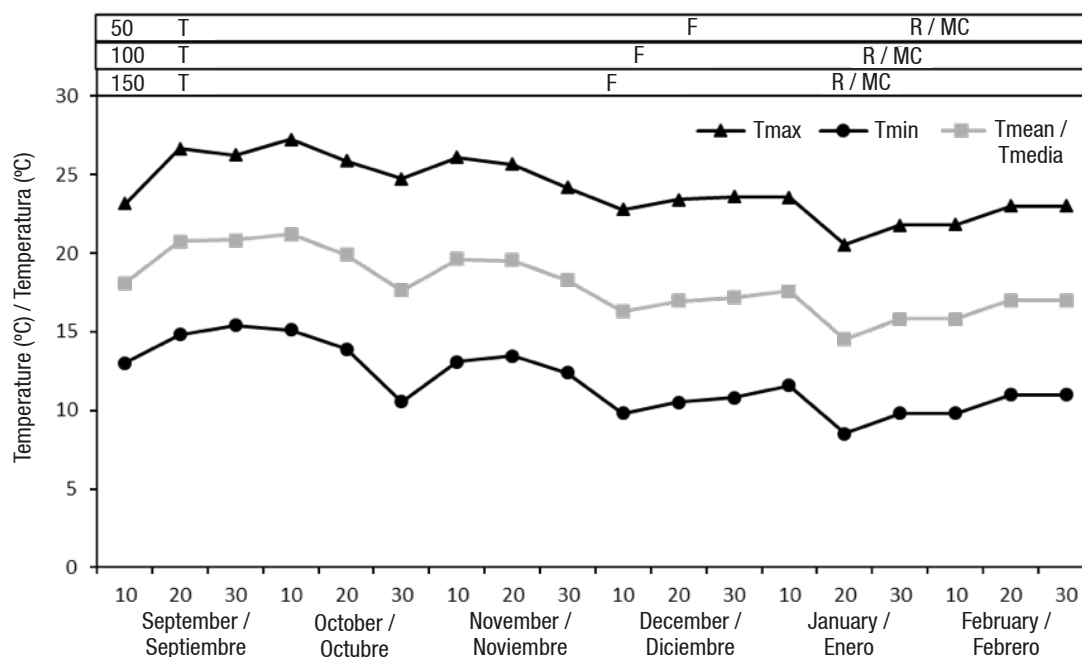
En madurez de consumo, se realizó la cosecha de frutos semanalmente durante tres meses, y se registró el número y peso de frutos (con y sin cáliz) por planta.

Con los valores obtenidos se realizó un análisis de varianza, y cuando existieron diferencias significativas se hizo una comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) mediante el programa *Statistical Analysis Software* (SAS Institute, 2003). Adicionalmente, se obtuvieron las correlaciones entre las concentraciones de la solución nutritiva y las variables de crecimiento con el programa Excel (Microsoft Office®).

## Resultados y discusión

### Fenología, temperatura y unidades calor

En las etapas fenológicas, la floración con la solución nutritiva a 150 % ocurrió 70 ddt, en la solución a 100 % a los 75 ddt y en la solución a 50 % a los 85 ddt; mientras que la madurez de consumo se presentó a los 110, 115 y 125 ddt, para las soluciones nutritivas a 150, 100 y 50 %, respectivamente (Figura 1). Por lo tanto, se observa que las concentraciones de la solución nutritiva tuvieron un efecto positivo sobre la fenología del cultivo. Esta tendencia puede asociarse a una mayor disponibilidad nutrimental en las soluciones nutritivas de 100 y 150 % en comparación con la de 50 %, lo que incrementa la acumulación de MS. Sabino-López et al. (2016) cultivaron *Physalis peruviana* en invernadero con solución nutritiva a 50 % y reportaron la etapa de floración a los 57 ddt y de 119 a 124 ddt la madurez fisiológica.



**Figure 1.** Ten-day averages of maximum (Tmax), minimum (Tmin) and mean (Tmean) temperatures during cape gooseberry crop development. T: transplant, F: flowering, R: ripeness.

**Figura 1.** Promedios decenales (días) de temperaturas máximas (Tmáx), mínimas (Tmín) y medias (Tmedia) durante el desarrollo del cultivo de uchuva. T: trasplante, F: floración, MC: madurez de consumo.

optimal intervals, which are between 13 and 16 °C (Fischer et al., 2014).

In the HU accumulation during the crop cycle (Figure 2), the totals were 1370, 1435 and 1527 HU, for the Steiner solutions at 150, 100 and 50 %, respectively. It is probable that this tendency is also due to the greater nutrient availability in the nutrient solution at 150 %, which favors crop growth and development. The results of the present study are lower than those of Mora-Aguilar et al. (2006), who reported a total of 2,047 HU from emergence to physiological maturity in a cape gooseberry ecotype from Peru. These differences can be attributed to the origin of the genetic material evaluated, as well as to the period of cultivation.

### Number of leaves and leaf area

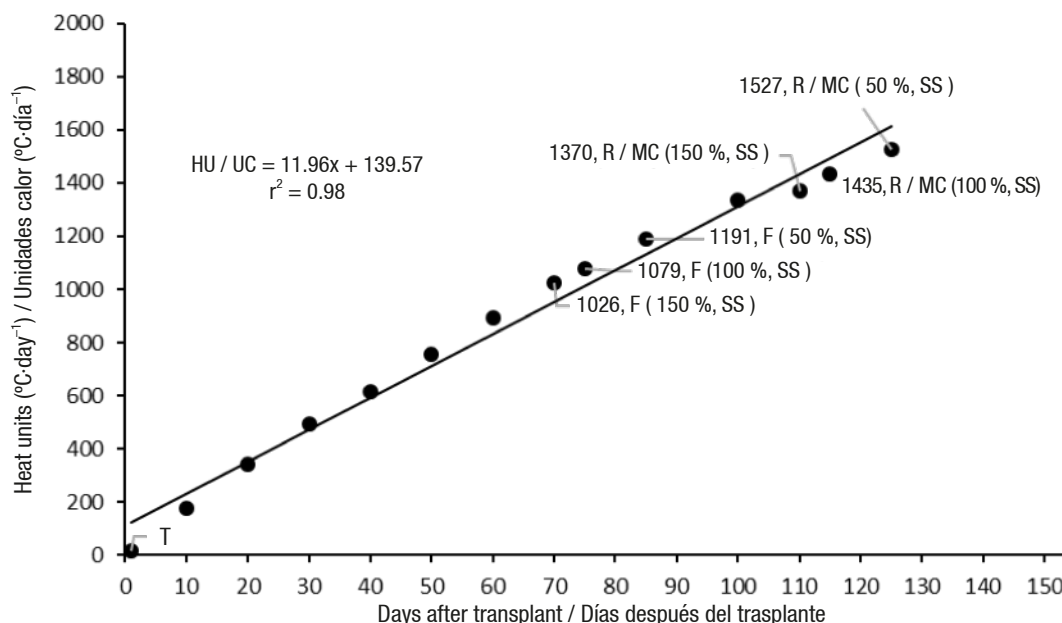
Significant differences ( $P \leq 0.05$ ) were observed in the NL as a function of the nutrient solution concentration. The 150 % solution was the one that generated the highest NL (Table 2). These results indicate that the highest nutrient concentration favors the formation of new leaves. Like NL, LA varied significantly ( $P \leq 0.05$ ) among the applied nutrient concentrations. The LA dynamics in the three solutions were fitted to a quadratic model. In the Figure 3, it can be seen that the 150 % concentration produced the highest LA per day ( $1.21 \text{ cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ), compared to the solutions at 100 ( $1.05 \text{ cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ) and 50 % ( $0.90 \text{ cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ). It is likely that higher values in both NL and LA are the result of

La media decenal (días) de las temperaturas durante el desarrollo del cultivo fluctuó de 15 a 21 °C (Figura 1), de trasplante la floración fue de 16 a 21 °C y de floración a madurez de consumo fue de 15 a 18 °C. Las temperaturas promedio en las cuales se desarrolló el cultivo de la uchuva fueron aproximadas a los intervalos óptimos, que son entre 13 y 16 °C (Fischer et al., 2014).

En la acumulación de UC durante el ciclo del cultivo (Figura 2), los totales fueron 1370, 1435 y 1527 UC, para las soluciones de Steiner al 150, 100 y 50 %, respectivamente. Es probable que esta tendencia también se deba a la mayor disponibilidad nutrimental en la solución nutritiva a 150 %, lo que favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo. Los resultados del presente estudio son menores a los de Mora-Aguilar et al. (2006), quienes reportaron un total de 2,047 UC desde la emergencia hasta la madurez fisiológica en un ecotipo de uchuva proveniente de Perú. Dichas diferencias pueden atribuirse al origen del material genético evaluado, así como al periodo de cultivo.

### Número de hojas y área foliar

Se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el NH en función de la concentración de la solución nutritiva. La solución a 150 % fue la que generó el mayor NH (Cuadro 2). Estos resultados indican que la mayor concentración nutrimental favorece la formación de nuevas hojas. Al igual que el NH, el AF varió significativamente ( $P \leq 0.05$ ) entre las concentraciones



**Figure 2. Heat units during cape gooseberry crop development. T: transplant, F: flowering, R: ripeness, SS: Steiner nutrient solution.**

**Figura 2. Unidades calor durante el desarrollo del cultivo de uchuva. T: trasplante, F: floración, MC: madurez de consumo, SS: solución nutritiva Steiner.**

**Table 2. Effect of Steiner nutrient solution concentration on the number of leaves in the cape gooseberry crop.**  
**Cuadro 2. Efecto de la concentración de la solución nutritiva Steiner en el número de hojas en el cultivo de uchuva.**

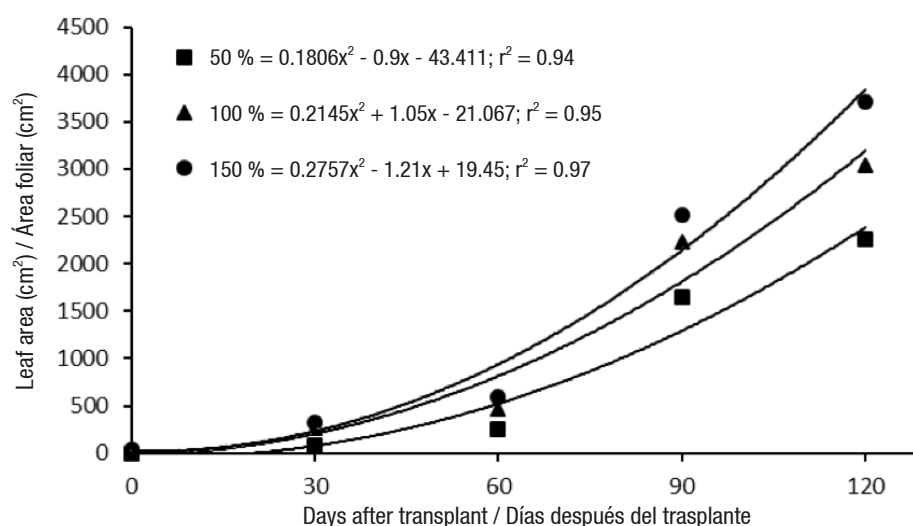
Steiner nutrient solution concentration (%) / Concentración de la solución Steiner (%)	Days after transplant / Días después del trasplante			
	30	60	90	120
50	8.8 b <sup>z</sup>	12.0 c	25.2 b	37.8 b
100	11.6 ab	19.6 b	34.4 a	51.6 a
150	13.2 a	36.2 a	35.2 a	52.8 a
LSD/DMSH <sup>1</sup>	4.0	2.2	5.7	8.6
CV (%)	14.6	6.7	12.5	12.5

<sup>1</sup>LSD: least significant difference; CV: coefficient of variation.

<sup>z</sup>Means with the same letters within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

<sup>1</sup>DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

<sup>z</sup>Medias con letras iguales dentro de cada columnas no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).



**Figure 3. Effect of Steiner nutrient solution on leaf area in the cape gooseberry crop.**  
**Figura 3. Efecto de la solución nutritiva Steiner en el área foliar en el cultivo de uchuva.**

greater nutrient availability, which favors growth and DM production (Hawkesford et al., 2012).

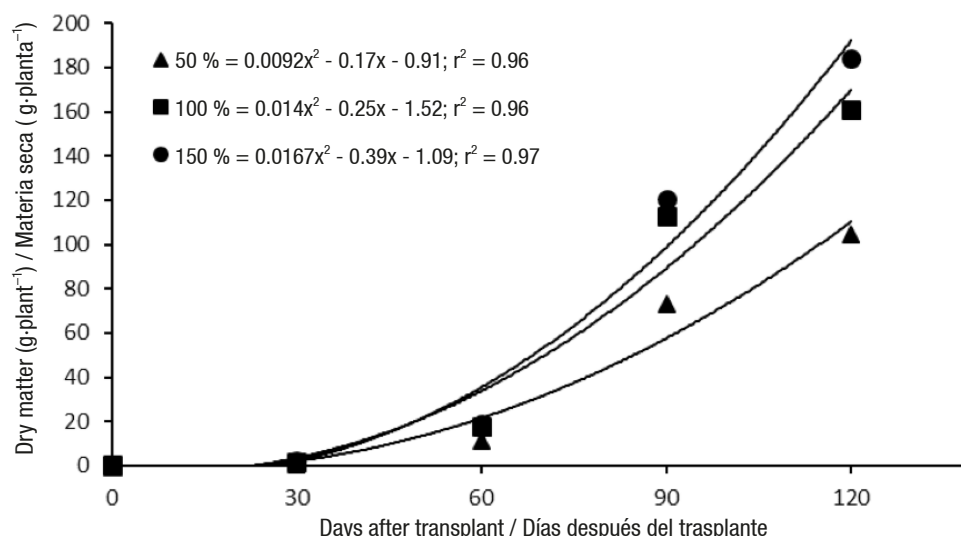
### Dry matter

Regarding DM production (Figure 4), the 100 and 150 % nutrient solution concentrations had the highest values. During crop development, DM production per plant increased as a function of the increase in the nutrient solution concentration. These increases in the three concentrations were fitted to a quadratic model. Thus, the DM production per plant per day was 0.39, 0.25 and 0.17 g, for the concentrations at 150, 100 and 50 %, respectively. The above can be attributed to greater nutrient availability and use (Aldana, Nel, & Fischer, 2014).

nutritivas aplicadas. La dinámica del AF en las tres soluciones se ajustó a un modelo cuadrático. En la Figura 3, puede apreciarse que en la concentración a 150 % se produjo la mayor AF por día ( $1.21 \text{ cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ), en comparación con la solución a 100 ( $1.05 \text{ cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ) y 50 % ( $0.90 \text{ cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ). Es probable que los valores mayores tanto en NH como en AF sean resultado de la mayor disponibilidad nutricional, lo que favorece el crecimiento y producción de MS (Hawkesford et al., 2012).

### Materia seca

En cuanto a la producción de MS (Figura 4), las concentraciones de la solución nutritiva a 100 y 150 % presentaron los valores más altos. Durante el desarrollo del cultivo, la producción de MS por planta incrementó



**Figure 4. Dry matter production of the cape gooseberry crop as a function of the Steiner nutrient solution concentration.**

**Figura 4. Producción de materia seca del cultivo de uchuva en función de la concentración de la solución nutritiva Steiner.**

### Crop growth rate

In the CGR, an increase was observed due to the effect of the applied concentrations (50, 100 and 150 %) (Figure 5). Like the aforementioned variables, these increases were fitted to a quadratic model. The 150 % concentration generated higher DM production per day ( $0.12 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$ ) compared to the other concentrations: 100 ( $0.11 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$ ) and 50 % ( $0.07 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$ ); this can be attributed to better plant efficiency to produce DM with the 150 % solution. With the 100 and 150 % concentrations, the CGR was higher from 30 dat relative to the 50 % one. Maximum DM production was observed at 90 dat with  $3.06$  and  $3.21 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$ , for the 100 and 150 % concentrations, respectively. However, at 120 dat there was a decrease in the efficiency of DM accumulation. In annual crops, this behavior is due to the fact that the plants have a higher number of ripening fruits and then they enter the senescence phase (Mazorra et al., 2003), which induces a reduction in the plant's CGR. However, in cape gooseberry, the decrease observed at 120 dat could be due to the elimination of old leaves as the fruits matured in the lower part of the plants, which is a common practice in the management of this crop.

### Fruit number and weight

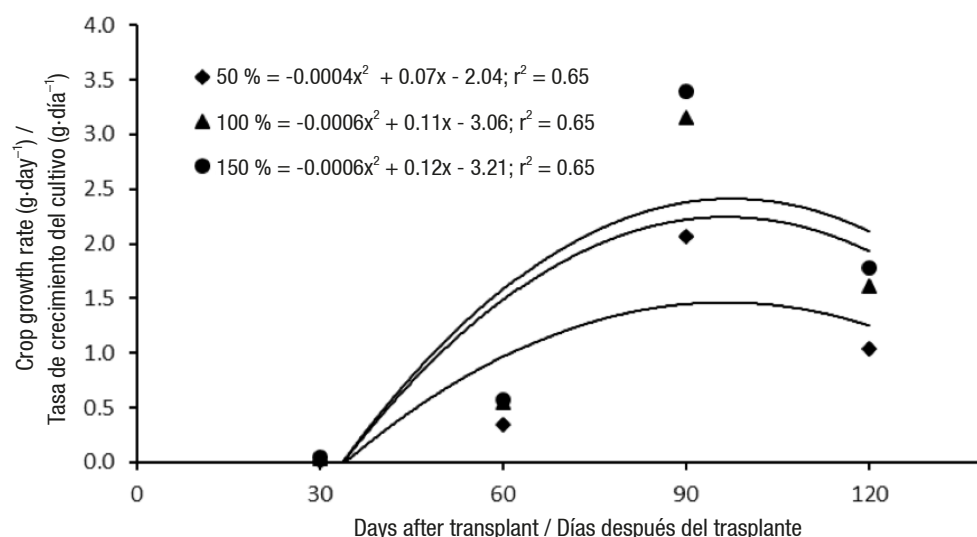
Significant statistical differences ( $P \leq 0.05$ ) were observed in the number and weight of fruits (with and without calyx) due to the effect of the nutrient solution (Table 3). The highest number of fruits was obtained with the 150 and 100 % concentrations, with an increase in fruit production of 64 and 37 %, respectively, both compared to the 50 % solution. The

en función del aumento en la concentración de la solución nutritiva. Dichos incrementos en las tres concentraciones se ajustaron a un modelo cuadrático. Así, la producción de MS por planta por día fue de  $0.39$ ,  $0.25$  y  $0.17 \text{ g}$ , para las concentraciones a 150, 100 y 50 %, respectivamente. Lo anterior puede atribuirse a una mayor disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes (Aldana, Nel, & Fischer, 2014).

### Tasa de crecimiento del cultivo

En la TCC se observó un aumento por efecto de las concentraciones aplicadas (50, 100 y 150 %) (Figura 5). Al igual que las variables antes mencionadas, estos incrementos se ajustaron a un modelo cuadrático. La concentración a 150 % generó mayor producción de MS por día ( $0.12 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ ) respecto a las otras concentraciones: 100 ( $0.11 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ ) y 50 % ( $0.07 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ ); esto puede atribuirse a una mejor eficiencia de la planta para producir MS con la solución a 150 %. Con las concentraciones a 100 y 150 %, la TCC fue superior desde los 30 ddt respecto a 50 %. La máxima producción de MS se observó a los 90 ddt con  $3.06$  y  $3.21 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ , para las concentraciones a 100 y 150 %, respectivamente. No obstante, a los 120 ddt se presentó un descenso en la eficiencia de la acumulación de MS. En cultivos anuales, este comportamiento se debe a que las plantas presentan mayor número de frutos en maduración y después éstas entran en fase de senescencia (Mazorra et al., 2003), lo cual induce una reducción en la TCC de la planta. Sin embargo, en uchuva, el descenso observado a los 120 ddt pudo deberse a que se eliminaron hojas viejas conforme maduraron los frutos en la parte inferior de las plantas, lo cual es una práctica habitual en el manejo de este cultivo.





**Figure 5. Growth rate dynamics of the cape gooseberry crop based on the Steiner nutrient solution concentration.**  
**Figura 5. Dinámica de la tasa de crecimiento del cultivo de uchuva en función de la concentración de la solución nutritiva Steiner.**

lower number of fruits with the 50 % nutrient solution can be attributed to the limited longitudinal growth of the flower-generating branches, due to the effect of the lower nutrient contribution (Martínez et al., 2008). The results of the present study are superior to those found by Gastelum-Osorio et al. (2013), who reported a 7 % increase in the production of cape gooseberry fruits by increasing the Steiner nutrient solution concentration from 50 to 100 %.

Regarding fruits with calyx (Table 3), the highest weight was recorded with the highest nutrient solution concentration, which was related to the largest equatorial fruit diameter (data not shown). With the 100 % solution, a 46 % increase in fruit weight was observed, and at 150 % the increase was 59 %, compared to the 50 % solution. This behavior can be attributed to the fact that greater nutrient availability and use increase fruit growth (Antúnez-Ocampo, Sandoval-Villa, Alcántar-González, & Solís-Martínez, 2014; Fischer, 2000).

As in fruits with calyx, the 100 and 150 % concentrations generated an increase in the weight of the fruits without calyx, of 36 and 51 g·plant<sup>-1</sup>, respectively, compared to the 50 % solution (Table 3). This is probably due to the fact that the accumulation of carbohydrates in the fruit was favored by the greater supply of nutrients (Gastelum-Osorio et al., 2013; Martínez et al., 2008).

In general, the best results were obtained in all the variables evaluated with the 100 and 150 % nutrient concentrations. This behavior may be due to the fact that the N concentration in the form of nitrate corresponds to 6, 12 and 18 meq·L<sup>-1</sup> in the 50, 100 and 150 % concentrations, respectively (Table 1). In this

### Número y peso de frutos

En el número y peso de frutos (con y sin cáliz) se observaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de la solución nutritiva (Cuadro 3). El mayor número de frutos se obtuvo con las soluciones a 150 y 100 %, con un incremento en la producción de frutos de 64 y 37 %, respectivamente, ambas en comparación con la solución a 50 %. El menor número de frutos con la solución nutritiva a 50 % puede atribuirse al limitado crecimiento longitudinal de las ramas generadoras de flores, por efecto del menor aporte nutrimental (Martínez et al., 2008). Los resultados del presente estudio son superiores a los encontrados por Gastelum-Osorio et al. (2013), quienes reportaron un aumento de 7 % en la producción de frutos de uchuva al incrementar la concentración de la solución nutritiva Steiner de 50 a 100 %.

Respecto a los frutos con cáliz (Cuadro 3), el mayor peso se presentó con la concentración más alta de la solución nutritiva, lo cual se relacionó con el mayor diámetro ecuatorial del fruto (datos no mostrados). Con la solución a 100 % se observó un incremento de 46 % en el peso de frutos, y a 150 % el aumento fue de 59 %, en comparación con la solución a 50 %. Este comportamiento puede atribuirse a que con mayor disponibilidad y aprovechamiento nutrimental incrementa el crecimiento del fruto (Antúnez-Ocampo, Sandoval-Villa, Alcántar-González, & Solís-Martínez, 2014; Fischer, 2000).

Al igual que en frutos con cáliz, las concentraciones a 100 y 150 % generaron un aumento en el peso de los

**Table 3. Effect of Steiner nutrient solution concentration on the number and weight of cape gooseberry fruits (with and without calyx).****Cuadro 3. Efecto de la concentración de la solución nutritiva Steiner en el número y peso de frutos (con y sin cáliz) de uchuva.**

Steiner nutrient solution concentration (%) / Concentración de la solución Steiner (%)	Fruits per plant / Frutos por planta	Fruit with calyx (g·plant <sup>-1</sup> ) / Fruto con cáliz (g·planta <sup>-1</sup> )	Fruit without calyx (g·plant <sup>-1</sup> ) / Fruto sin cáliz (g·planta <sup>-1</sup> )
50	11.7 c <sup>z</sup>	87.3 b	79.5 b
100	16.0 b	127.5 a	115.5 a
150	19.2 a	138.5 a	130.5 a
LSD <sup>1</sup> /DMSH <sup>1</sup>	2.6	18.9	20
CV (%)	7.7	7.4	14

<sup>1</sup>LSD: least significant difference; CV: coefficient of variation.

<sup>z</sup>Means with the same letters within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>1</sup>DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

<sup>z</sup>Medias con letras iguales dentro de cada columnas no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

regard, N is the element most required by plants since it represents from 1 to 5 % of total DM and is an integral constituent of proteins, nucleic acids, chlorophyll, coenzymes, phytohormones and secondary metabolites (Hawkesford et al., 2012). Likewise, optimal N doses increase the photosynthetic process, LA production and total DM, determinants to improve crop yields (Leghari et al., 2016).

On the other hand, the K concentration is 3.5, 7.0 and 10.5 meq·L<sup>-1</sup> in the Steiner nutrient solution at 50, 100 and 150 %, respectively (Table 1). K is the cation absorbed to the greatest extent by plants; in addition, it is involved in the photophosphorylation and transport of photoassimilates from the source tissues, via phloem, to the demand tissues, enzymatic activation and turgor maintenance. Therefore, adequate nutrition with K is associated with increases in fruit yield and quality (Çolpan, Zengin, & Özbahçe, 2013; Lester, Fijon, & Makus, 2010).

The results of the present study show that it is feasible to grow cape gooseberry hydroponically under greenhouse conditions, which represents an alternative to diversify vegetable production. Also, the phenology and growth analysis results could be useful to plan the establishment of the crop and to schedule the first harvests of this fruit vegetable.

## Conclusions

The phenology of cape gooseberry, as cultivated under the conditions evaluated, was favored with the nutrient solution at 150 %, requiring 1,370 HU from transplant to ripeness. This represented 15 and 5 days of precocity compared to the 50 % (1,527 HU) and 100 % (1,435 HU) concentrations, respectively.

frutos sin cáliz, de 36 y 51 g·planta<sup>-1</sup>, respectivamente, en comparación con la solución a 50 % (Cuadro 3). Esto probablemente debido a que la acumulación de carbohidratos en el fruto se vio favorecida por el mayor suministro de nutrimentos (Gastelum-Osorio et al., 2013; Martínez et al., 2008).

En general, con las soluciones nutritivas a 100 y 150 % se obtuvieron los mejores resultados en todas las variables evaluadas. Este comportamiento puede deberse a que la concentración de N en forma de nitrato corresponde a 6, 12 y 18 meq·L<sup>-1</sup> en las concentraciones de 50, 100 y 150 %, respectivamente (Cuadro 1). Al respecto, el N es el elemento más requerido por las plantas, ya que representa de 1 a 5 % de la MS total y es constituyente integral de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios (Hawkesford et al., 2012). Asimismo, dosis óptimas de N incrementan el proceso fotosintético, la producción de AF y MS total, factores determinantes para mejorar los rendimientos de los cultivos (Leghari et al., 2016).

Por otra parte, la concentración de K es de 3.5, 7.0 y 10.5 meq·L<sup>-1</sup> en la solución nutritiva Steiner a 50, 100 y 150 %, respectivamente (Cuadro 1). El K es el catión absorbido en mayor cantidad por las plantas; además, está involucrado en la fotofosforilación y transporte de fotoasimilados de los tejidos fuente, via floema, a los tejidos demanda, activación enzimática y mantenimiento de la turgencia. Por lo tanto, una adecuada nutrición con K está asociado con incrementos en el rendimiento y calidad de frutos (Çolpan, Zengin, & Özbahçe, 2013; Lester, Fijon, & Makus, 2010).

Los resultados del presente estudio demuestran que es factible el cultivo de uchuva en condiciones de invernadero e hidroponía, lo cual representa

The highest leaf production, leaf area, dry matter, crop growth rate and fruit weight (with and without calyx) were obtained with the Steiner nutrient solution at 100 and 150 %.

According to the results and the conditions under which the study was carried out, we suggest using Steiner nutrient solution at 100 % in the cultivation of cape gooseberry, since the yield is similar ( $P \leq 0.5$ ) to that obtained with the 150 % concentration, but with a lower fertilizer requirement.

### Acknowledgments

The first author thanks the Program for the Professional Development of Teachers (PRODEP) of Mexico's Secretariat of Public Education (SEP) for the postdoctoral fellowship granted.

### End of English version

### References / Referencias

- Aldana, F., Nel, G. P., & Fischer, G. (2014). Efecto del estrés por anegamiento sobre el crecimiento, desarrollo y sintomatología de plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(149), 393-400. doi: 10.18257/raccefyn.114
- Antúñez-Ocampo, O. M., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, G., & Solís-Martínez, M. (2014). Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia*, 48(8), 805-817. Retrieved from <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2014/nov-dic/art-4.pdf>
- Castañeda-Salinas, C., Sandoval-Villa, M., Sánchez-Monteón, A. L., Alejo-Santiago, G., Jiménez-Meza, V. M., Aburto-González, C. A., & García-López, M. (2013). Respuesta de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) diferentes concentraciones de nitrato y amonio. *Revista Bio Ciencias*, 2(3), 148-153. Retrieved from <http://revistabiociencias.uan.mx/BIOCIENCIAS/article/view/45/43>
- Çolpan, E., Zengin, M., & Özbahçe, A. (2013). The effects of potassium on the yield and fruit quality components of stick tomato. *Horticultural Environmental Biotechnology*, 54(1), 20-28. doi: 10.1007/s13580-013-0080-4
- Cooman, A., Torres, C., & Fischer, G. (2005). Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. II. Efecto de la oferta de calcio, boro y cobre. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 74-82. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19919>
- Escalante-Estrada, J. A., & Kohashi-Shibata, J. (2015). *El rendimiento y crecimiento del frijol*. Manual para la toma de datos. México: Colegio de Postgraduados- Campus Montecillo.
- una alternativa para diversificar la producción de hortalizas. Asimismo, los resultados de fenología y análisis de crecimiento podrían ser útiles para planear el establecimiento del cultivo y calendarizar las primeras cosechas de esta hortaliza de fruto.
- ### Conclusiones
- La fenología del cultivo de uchuva, en las condiciones evaluadas, se favoreció con la solución nutritiva a 150 %, al requerir 1,370 UC de trasplante a madurez de consumo. Lo anterior representó 15 y 5 días de precocidad en comparación con las concentraciones a 50 % (1,527 UC) y 100 % (1,435 UC), respectivamente.
- La mayor producción de hojas, área foliar, materia seca, tasa de crecimiento del cultivo, y peso de frutos (con y sin cáliz), se obtuvo con la solución nutritiva de Steiner a 100 y 150 %.
- De acuerdo con los resultados encontrados y las condiciones en que se realizó el estudio, se sugiere emplear la solución nutritiva de Steiner a 100 % en el cultivo de uchuva, ya que el rendimiento es similar ( $P \leq 0.5$ ) al obtenido con 150 % de concentración, pero con menor requerimiento de fertilizantes.
- ### Agradecimientos
- El primer autor agradece al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México (SEP) por la beca postdoctoral otorgada.
- ### Fin de la versión en español
- Fischer, G. (2000). Crecimiento y desarrollo de la uchuva. In: Flórez, V. J., Fischer, G., & Sora, A. (Eds.), *Producción, poscosecha y exportación de uchuva (Physalis peruviana L.)* (pp. 9-26). Bogotá: Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia.
- Fischer, G., Ebert, G., & Lüdders, P. (2007). Production, seeds and carbohydrate contents of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81(1), 29-35. Retrieved from <https://ojs.openagrar.de/index.php/JABFQ/article/view/2107/2492>
- Fischer, G., Herrera, A., & Almanza, P. J. (2011). Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). In: Yahia, E. M. (Ed.), *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (pp. 374-396). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Fischer, G., Almanza, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, 36(1), 1-15. doi: 10.1590/0100-2945-441/13

- Gastelum-Osorio, D. A., Sandoval-Villa, M., Trejo-López, C., & Castro-Brindis, R. (2013). Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2), 197-210. doi: 10.5154/r.rchsh.2012.01.002
- Gutiérrez, T., Hoyos, O., & Páez, M. (2007). Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana* L.), por cromatografía líquida de alta resolución (CLAR). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 5(1), 70-79. Retrieved from <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/53/40>
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Moller, I. S., & White, P. (2012). Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (Ed.), *Marschners's Mineral Nutrition of higher plants* (pp. 135-189). USA: Academic Press.
- Juárez-Maldonado, A., de Alba-Romenus, K., Zermeno-González, A., Ramírez, H., & Benavides-Mendoza, A. (2015). Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 943-954. doi: 10.29312/remexca.v6i5.589
- Leghari, S. J., Wahcho, N. A., Laghari, G. M., Laghari, A. H., Bhabhan, G. M., Talpur, K. H., Bhutto, T. A., Wahcho, S. A., & Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209-218. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/309704090\\_Role\\_of\\_Nitrogen\\_for\\_Plant\\_Growth\\_and\\_Development\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/309704090_Role_of_Nitrogen_for_Plant_Growth_and_Development_A_review)
- Lester, E. G., Jifon, L. J., & Makus, D. J. (2010). Impact of potassium nutrition on food quality of fruits and vegetables: A condensed and concise review of the literature. *Better Crops*, 94(1), 18-21. Retrieved from [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/BFE8750D3C2718B085257980006ED301/\\$FILE/Better%20Crops%202010-1%20p18.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/BFE8750D3C2718B085257980006ED301/$FILE/Better%20Crops%202010-1%20p18.pdf)
- Martínez, F. E., Sarmiento, J., Fischer, G., & 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), 389-398. Retrieved from <http://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11470/12116>
- Mazorra, M. F., Quintana, A. P., Miranda, D., Fischer, G., & Chaves, B. (2003). Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana*) en la zona Sumapaz (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana*, 21(3), 175-189. Retrieved from <http://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17824/18732>
- Mora-Aguilar, R., Peña-Lomelí, A., López-Gaytán, E., Ayala-Hernández, J. J., & Ponce-Aguirre, D. (2006). Agrofenología del *Physalis peruviana* L. en invernadero y fertirriego. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(1), 57-63. doi: 10.5154/r.rchsh.2005.10.011
- Sabino-López, J. E., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, G., Ortiz-Solorio, C., Vargas-Hernández, M., & Colinas-León, T. (2016). Fenología de *Physalis peruviana* L. cultivada con base en tiempo térmico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3521-3528. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/2631/263149506011/>
- Salazar, M. R., Chaves-Córdoba, B., Cooman, A., & Jones, J. W. (2006). Simple phenological and potential production model for cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Acta Horticulturae*, 718, 105-111. doi: 10.17660/ActaHortic.2006.718.11
- Sánchez, G. P., Molinos, D. S., C., Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (2009). Diagnóstico nutrimental en plantas. In: Alcántar, G. G., & Trejo-Téllez, L. I. (Eds.), *Nutrición de Cultivos* (pp. 202-247). D.F., México: Mundi-Prensa.
- Santos-Castellanos, M., Segura-Abril, M., & Núñez-López, C. E. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(1), 5253-5266. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n1/a04v63n01.pdf>
- Snyder, R. L. (1985). Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35(1-4), 353-358. doi: 10.1016/0168-1923(85)90095-4
- Statistical Analysis Software (SAS Institute). (2003). *SAS/STAT user's guide ver. 9.1*. Cary, USA: Author.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: *Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-649). The Netherlands: ISOSC, Wageningen.
- Tekalign, T., & Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and productive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 105(1), 29-44. doi: 10.1016/j.scienta.2005.01.021