



TASA DE ASIMILACIÓN NETA Y RENDIMIENTO DE *Physalis* BAJO CULTIVO EN DOS LOCALIDADES

NET ASSIMILATION RATE AND YIELD OF *Physalis* UNDER CULTIVATION IN TWO LOCALITIES

José A. López-Sandoval^{1*}, Edgar J. Morales-Rosales¹, Heike Vibrans² y Edgar J. Morales-Morales³

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, ²Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario El Cerrillo, Universidad Autónoma del Estado de México. Piedras Blancas. 50200, Municipio de Toluca, Estado de México. México. ³Postgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. km 36.5 Carr. México-Tezcoco. 56230, Montecillo, Tezcoco, Edo. Méx., México.

*Autor para correspondencia (jalopezsa@uaemex.mx)

RESUMEN

El rendimiento de un cultivo está determinado por su capacidad de acumular materia seca en los órganos destinados a la cosecha, por lo que el análisis de crecimiento resulta importante en las especies cultivadas. En el presente estudio se evaluó la tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento relativo y rendimiento de fruto en ocho poblaciones silvestres de *Physalis* bajo cultivo en dos localidades contrastantes. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial. Los 16 tratamientos resultaron de las combinaciones de dos localidades y ocho genotipos. Los datos se analizaron con análisis de varianza y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Para entender la relación entre el rendimiento de fruto y la tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento relativo, estimadas desde el trasplante hasta la fructificación, se calculó una regresión lineal simple. Los resultados indican que el rendimiento del tomate de cáscara (*Physalis philadelphica* Lam.) fue mayor en Texcoco, Estado de México (722.1 g m^{-2}) que en Tlaquiltenango, Morelos (370.9 g m^{-2}) debido a una mayor área foliar por planta (128.9 dm^2), tasa de asimilación neta (TAN) y tasa de crecimiento relativo (TCR), con promedios de $1.58 \text{ g dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $0.09 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. El rendimiento promedio de *P. philadelphica* fue de 1473.7 g m^{-2} , superior al de los demás genotipos evaluados debido a su mayor área foliar por planta (501.3 dm^2), tasa de asimilación neta ($1.72 \text{ g dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y tasa de crecimiento relativo ($0.096 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Los materiales silvestres fueron más productivos, y *P. solanacea* tiene potencial para ser plantada por su alto rendimiento (478.8 g m^{-2}). Las ecuaciones de regresión $\text{REND} = 769.7 (\text{TAN}_i) - 410.7 (R^2 = 0.51^*)$ y $\text{REND} = 46427 (\text{TCR}_i) - 3206.3 (R^2 = 0.83^{**})$, demuestran que la tasa de asimilación neta y la tasa de crecimiento relativo afectan positivamente el rendimiento de fruto.

Palabras clave: *Physalis* spp., análisis de crecimiento, área foliar, tasa de crecimiento relativo.

SUMMARY

The yield of a crop is determined by its capacity to accumulate dry matter in the organs destined for harvest; thus, the analysis of growth is important in cultivated species. In this study the net assimilation rate, relative growth rate and fruit yield were evaluated in eight wild populations of *Physalis* under cultivation in two contrasting locations. The experimental design was complete randomized blocks with factorial arrangement. The 16 treatments resulted from the combinations of two localities and eight genotypes. The data were analyzed with analysis of variance and treatments means were compared

with the Tukey test ($P \leq 0.05$). To understand the relationship between fruit yield and net assimilation rate and relative growth rate, as evaluated from transplant to fruiting, a simple linear regression was calculated. Results indicated that yield of husk tomato (*Physalis philadelphica* Lam.) was higher in Texcoco, State of Mexico (722.1 g m^{-2}) than that in Tlaquiltenango, Morelos (370.9 g m^{-2}) due to a larger leaf area per plant (128.9 dm^2), net assimilation rate (TAN) and relative growth rate (TCR), with averages of $1.58 \text{ g dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ and $0.09 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectively. The average yield of *P. philadelphica* was 1473.7 g m^{-2} , higher than that of the other genotypes evaluated due to its greater leaf area per plant (501.3 dm^2), net assimilation rate ($1.72 \text{ g dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and relative growth rate ($0.096 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Wild materials proved to be more productive, and *P. solanacea* has the potential to be planted for its high yield (478.8 g m^{-2}). Regression equations $\text{REND} = 769.7 (\text{TAN}_i) - 410.7 (R^2 = 0.51^*)$ and $\text{REND} = 46427 (\text{TCR}_i) - 3206.3 (R^2 = 0.83^{**})$ demonstrated that net assimilation rate and the relative growth rate positively affected fruit yield.

Index word: *Physalis* spp., growth analysis, leaf area, relative growth rate.

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna se basa en la producción comercial de cultivos de alto rendimiento para satisfacer la demanda de alimentos (Tilman *et al.*, 2002). Este tipo de agricultura a gran escala limita la introducción de nuevos cultivos basada en especies autóctonas que no han sido sometidas a mejoramiento para aumentar sus rendimientos. La domesticación de plantas en varias regiones del mundo condujo al cultivo de especies de importancia mundial como el maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Casas *et al.*, 2007; Pickersgill, 2007). La selección que hace el agricultor ha conducido al desarrollo de numerosas especies silvestres que pueden ser explotadas como plantas cultivadas (Vargas-Ponce *et al.*, 2016). El cultivo de estas especies subutilizadas depende de factores relacionados con la calidad, el aumento de la producción, falta de mejoramiento genético y potencial de mercado (Kindscher *et al.*, 2012; Santiaguillo y Blas, 2009).

El género *Physalis* es de interés para los seres humanos, ya que varias especies proporcionan frutos comestibles. Los frutos son conocidos como tomate, tomatillo, tomate de hoja y milpero. Este género incluye 90 especies, 70 de las cuales crecen en México (Vargas-Ponce *et al.*, 2011). En América, tres regiones constituyen las principales áreas de cultivo para cuatro especies de *Physalis*: 1) Norteamérica, para *P. grisea* (Waterf.) M. Martínez y *P. longifolia* Nutt. (Kindscher *et al.* 2012); 2) Mesoamérica, donde *P. philadelphica* Lam. es un cultivo de gran importancia hortícola, especialmente en México y Guatemala (Casas *et al.*, 2007); y 3) América del Sur, donde *P. peruviana* L. se cultiva en Colombia, Chile y Perú (Ramadán, 2011).

Los factores que han influido en el desarrollo y domesticación de *Physalis* incluyen el alto porcentaje de germinación de semillas (Cuevas-Arias, 2008) y la simplicidad o rusticidad del sistema de cultivo, que no requiere de tecnología compleja (Ramadán, 2011).

Dieciséis especies de *Physalis* se utilizan principalmente como alimento y con fines medicinales, y al menos diez se encuentran en los sistemas agrícolas y áreas aledañas (Santiaguillo y Blas, 2009). Los frutos de estos materiales silvestres se recolectan y se venden para la elaboración de salsas y en algunos casos de mermeladas. Los cultivares de *P. philadelphica* de frutos pequeños se asemejan a los de los genotipos silvestres (Montes *et al.*, 1991) y variedades locales de esta misma especie con frutos grandes se cultivan y comercializan en los principales mercados a lo largo del año (Zamora-Tavares *et al.*, 2015). La especie silvestre *P. angulata* se identificó como un cultivo alternativo para la producción comercial de sus frutos (Vargas-Ponce *et al.*, 2016).

El rendimiento de un cultivo está determinado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos destinados a la cosecha (Morales *et al.*, 2015). El crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt, 2003; Hunt *et al.*, 2002); éste se manifiesta como un aumento irreversible de la masa de un organismo vivo, órgano o célula. El incremento en masa debe ser permanente, con lo cual se elimina la variación de volumen debida a fenómenos osmóticos (Casierra-Posada *et al.*, 2007). Mediante el análisis de crecimiento es posible conocer la cinética de producción de biomasa en los vegetales, así como su distribución y eficiencia (Morales-Rosales *et al.*, 2008). Este criterio se ha usado para conocer los efectos que sobre el crecimiento vegetal ocasionan factores adversos o el manejo agronómico (Scully *et al.*, 1991), pero poco se ha utilizado para destacar los efectos de adaptación al cultivo de materiales silvestres con diferentes potenciales. El crecimiento vegetal se puede analizar mediante el cálculo

de índices de eficiencia, los cuales se pueden determinar con el peso seco de la planta completa o en diferentes partes de ésta (Hunt, 2003). El análisis de crecimiento se puede efectuar en plantas individuales y en comunidades, las tasas de asimilación neta y de crecimiento relativo son herramientas para medir el crecimiento de las plantas cultivadas (Hunt, 2003).

La tasa de crecimiento relativo (TCR) se define como el incremento de materia seca por unidad de materia seca presente, por unidad de tiempo y la tasa de asimilación neta (TAN) corresponde a la ganancia en peso por unidad de área, por unidad de tiempo y es una medida indirecta de la fotosíntesis (Escalante y Kohashi, 1993). La TAN generalmente disminuye al avanzar la ontogenia del cultivo, esta disminución se debe al sombreado de las hojas superiores sobre las inferiores, a la disminución de la capacidad fotosintética de las últimas hojas formadas y a los efectos de los lugares de demanda sobre la fotosíntesis (Azofeifa y Moreira, 2004).

Salazar *et al.* (2008) encontraron en *Physalis peruviana*, de hábito de crecimiento determinado, que la TAN disminuye al avanzar su ciclo de cultivo y Serrato *et al.* (1998) realizaron un estudio sobre el crecimiento y evolución bajo domesticación en dos especies de cempoalxóchitl (*Tagetes* spp.) y concluyeron que *Tagetes erecta* L. mostró una germinación más uniforme, ciclo más corto, menor producción de biomasa y mayores tasas relativas de crecimiento y de asimilación neta que la especie *Tagetes patula* L., por lo que la primera se considera más domesticada que la segunda. Tomando en cuenta los antecedentes mencionados, el objetivo de este estudio fue estimar la tasa de asimilación neta, de crecimiento relativo y rendimiento de fruto en ocho poblaciones silvestres bajo cultivo de *Physalis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones ambientales de los sitios de evaluación

Los experimentos se establecieron bajo condiciones de cielo abierto en dos localidades; la primera fue el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados en Texcoco, Edo. de México (19° 29' latitud N y 98° 53' longitud O a 2250 msnm), con un clima del tipo C(w,) (w) b(i)g, según la clasificación de Köpen modificada por García (2005), que corresponde a templado, temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Lluvias en verano, con precipitación pluvial anual de 686 mm. La segunda localidad fue Tlaquiltenango, Morelos (18° 38' latitud N, 99° 09' longitud W a 919 msnm), con clima cálido subhúmedo, temperatura media anual de 22 °C y precipitación pluvial anual de 864.6 mm, que corresponde al clima tipo Aw₀.

La Figura 1 presenta los datos de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) en promedio decenal y la precipitación pluvial decenal, durante el ciclo del cultivo en Texcoco. El promedio decenal de Tmax durante la estación de crecimiento osciló entre 22.9 y 28.3 °C y la Tmin entre 13.3 y 8.7 °C. La precipitación pluvial que ocurrió durante el experimento fue de 277 mm. Debido a la ausencia de precipitación en esta localidad se aplicó un riego pesado al momento del trasplante. El ciclo de cultivo en esta localidad fue de 103 d.

Los datos de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), promedio decenal y la precipitación pluvial decenal, durante el cultivo en Tlalquilténango se muestran en la Figura 2. En esta localidad, la temperatura máxima varió de 35.6 a 30.7 °C. A partir del 20 de enero el promedio decenal fue de 31.9 °C y se incrementó hasta alcanzar su valor más alto en la decena del 20 al 28 de febrero (35.6 °C). Por no existir lluvias en la época de plantación, el cultivo se regó cada 20 d. El ciclo en esta localidad fue de 88 d.

Características del suelo

El análisis de suelo de las dos localidades se muestra en el Cuadro 1. El contenido de macro y micro nutrientes fue mayor en Texcoco con respecto a Tlalquilténango. El calcio en Tlalquilténango fue mayor. En ambos sitios el contenido de boro y pH fue similar, la conductividad eléctrica fue superior en Texcoco.

Material genético

Se obtuvo semilla de ocho especies de *Physalis*, a partir de colectas en poblaciones naturales o del Banco de Germoplasma del Centro de Investigación en Tomate de Cáscara (CITOCA), del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. Cada especie estuvo representada por una población (Cuadro 2).

Diseño y unidad experimental

Cada una de las especies se consideró como un tratamiento, los cuales fueron distribuidos en un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por cuatro surcos de 6 m de longitud y la parcela útil consistió de los dos surcos centrales, se eliminó 1 m de cada lado, para evitar el efecto de orilla. El arreglo topológico fue de 0.80 × 0.30 m con una densidad de 4.2 plantas m⁻².

Establecimiento y manejo del cultivo

La siembra se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades y se trasplantó cuando la plántula tenía la segunda hoja verdadera totalmente expandida, el 12 de diciembre de 2012 en Tlalquilténango y el 20 de abril de 2013 en Texcoco. En ambas localidades se fertilizó 25 días después del trasplante con 200 kg N ha⁻¹, 100 kg P₂O ha⁻¹ y 200 kg K₂O ha⁻¹. Se aplicó todo el fósforo, todo el potasio y la mitad del nitrógeno al momento del trasplante. En la escarda se

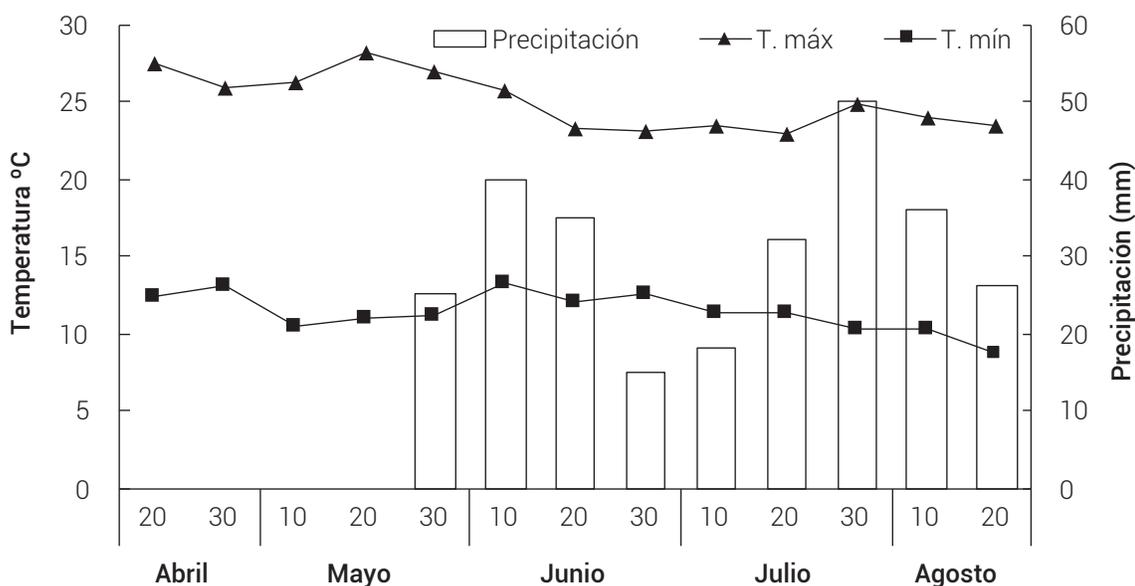


Figura 1. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación acumulada decenal durante el ciclo de cultivo de ocho especies de *Physalis* en Texcoco, Edo. de México, abril-agosto, 2012.

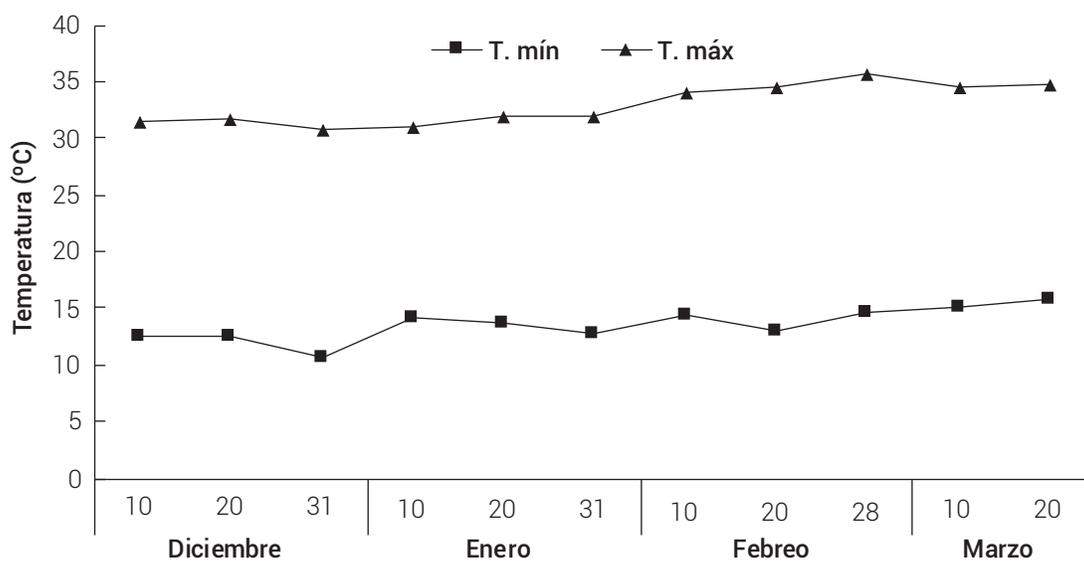


Figura 2. Temperatura máxima y mínima (media decenal) durante el ciclo de cultivo de ocho especies de *Physalis* en Tlalquitenango, Morelos. Diciembre 2012-marzo 2013.

Cuadro 1. Análisis de suelo en Tlalquitenango, Morelos y Texcoco, Estado de México.

Características	Tlalquitenango	Texcoco
pH	8.30	8.29
Conductividad eléctrica (dSm ⁻¹)	0.69	1.43
Materia orgánica (%)	1.61	2.69
Nitrógeno total (mg kg ⁻¹)	7.40	19.70
Fósforo (mg kg ⁻¹)	2.54	23.99
Potasio (mg kg ⁻¹)	208	1110
Ca (mg kg ⁻¹)	10,711	8673
Mg (mg kg ⁻¹)	1227	1252
Fe (mg kg ⁻¹)	1.58	3.68
Cu (mg kg ⁻¹)	0.68	0.99
Zn (mg kg ⁻¹)	0.64	1.02
Mn (mg kg ⁻¹)	1.13	12.51
B (mg kg ⁻¹)	2.6	2.4

suministró el resto de fertilizante nitrogenado. En Texcoco el cultivo se estableció en condiciones de punta de riego y a partir del 20 de mayo se mantuvo bajo condiciones de temporal. En Tlalquitenango se regó a intervalos de 20 d. En ambos sitios experimentales se tuvo incidencia de mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), misma que se controló con aspersiones de Cipertoato 300 CE (Dimetoato y Cipermetrina) a razón de 1.0 L ha⁻¹. La maleza se eliminó manualmente.

Variables evaluadas

Se hicieron cuatro muestreos destructivos en las etapas fenológicas de trasplante, etapa vegetativa, floración y fructificación (Magdaleno-Villar, 2006), correspondientes a los 27, 58, 78 y 103 días después del trasplante (ddt) en Texcoco y a los 20, 38, 55 y 88 ddt en Tlalquitenango. En cada uno de los muestreos se tomaron tres plantas por unidad experimental, seleccionadas al azar dentro de la parcela útil, y se efectuaron mediciones de área foliar por planta (AFP), midiendo la superficie de las láminas foliares con

Cuadro 2. Datos de procedencia de las ocho especies del género *Physalis* estudiadas.

Especie	Ejemplar de respaldo de herbario o semilla	Estado	Municipio	Hábitat	Altitud (msnm)	Latitud norte	Longitud oeste
<i>P. acutifolia</i> (Miers) Sandwith	OVP s/n [†]	Baja California	Mexicali	Abierto y soleado	8	32° 38'	115° 26'
<i>P. ampla</i> Waterf.	JALS 1033 ^{††}	Jalisco	Tlaquepaque	Abierto y soleado	1795	20° 35'	103° 21'
<i>P. angulata</i> L.	JALS 1035 ^{††}	Jalisco	Cuquio	Abierto y soleado	2086	21° 04'	103° 02'
<i>P. lagascae</i> Roem. & Schult.	JALS 1043 ^{††}	Jalisco	Teocaltiche	Ladera expuesta sobre acotamiento de carretera	1900	21° 22'	102° 47'
<i>P. philadelphica</i> Lam.	JALS 1044 ^{††}	Jalisco	Cuquio	Abierto y soleado	2086	21° 04'	103° 02'
<i>P. microcarpa</i> Urb. & Ekman	JALS 1045 ^{††}	Jalisco	Tlaquepaque	Abierto y soleado	1795	20° 35'	103° 21'
<i>P. solanacea</i> (Schltdl.) Axelius	JS310 [†]	Jalisco	Techaluta	Abierto y soleado	1340	20° 04'	103° 52'
<i>P. sulphurea</i> (Fernald) Waterf.	JS19 [†]	Jalisco	Tizapan	Abierto, soleado y anegado	1490	20° 10'	103° 02'

[†]Banco de Germoplasma del Centro de Investigación en Tomate de Cáscara (CITOCA) del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, de la Universidad de Guadalajara; ^{††}Herbario Eizi Matuda de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (COTECOCA).

un integrador electrónico (LI-COR 3100, Lincoln, Nebraska, USA) en dm², sin incluir el pecíolo y se utilizó el promedio. Para la estimación de las tasas de asimilación neta (TAN) y de crecimiento relativo (TCR) se consideraron los intervalos siguientes: trasplante-etapa vegetativa (TAN₁ y TCR₁), etapa vegetativa-floración (TAN₂ y TCR₂), floración-fructificación (TAN₃ y TCR₃) y trasplante-fructificación (TAN₄ y TCR₄). Se obtuvo la biomasa total en cada uno de los muestreos, colocando las muestras en una estufa de aire forzado a 72 °C hasta peso constante.

La TAN y la TCR se estimaron mediante las relaciones siguientes (Morales et al., 2015):

$$TAN = \left(\frac{PS_2 - PS_1}{AF_2 - AF_1} \right) \left(\frac{\log AF_2 - \log AF_1}{t_2 - t_1} \right)$$

$$TCR = \frac{\log PS_2 - \log PS_1}{t_2 - t_1}$$

dónde: TAN: Tasa de asimilación neta; TCR: Tasa de crecimiento relativo; log: logaritmo natural; PS₁, PS₂, AF₁, AF₂, t₁ y t₂: Peso seco inicial, peso seco final, área foliar inicial, área foliar final, tiempo inicial y tiempo final, respectivamente.

Para rendimiento de fruto (REND) se pesaron los frutos de tres plantas de la parcela útil, se determinó el promedio y éste se expresó en g.

Análisis estadístico

Para cada variable se realizó un análisis de varianza combinado a través de localidades y las medias se compararon con la prueba de Tukey (DSH, 0.05) (Steel y Torrie, 1992) mediante el programa SAS (SAS Institute, 2004). En las interacciones la DSH se aplicó así:

$$DSH = q_{t, N-t}(\alpha) \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

dónde: N es el número total de observaciones, t es el número de niveles del factor, n es el número de observaciones de cada nivel del factor, CME es el cuadrado medio del error, q_{t, N-t}, distribución del rango estudentizado en los parámetros t grupos y N-t grados de libertad con el nivel de significancia α (Steel y Torrie, 1992).

Para explicar la relación causa-efecto entre el rendimiento de fruto y la tasa de asimilación neta (TAN₄) y la tasa crecimiento relativo (TCR₄) se estimaron las rectas de regresión, ecuación y coeficiente de determinación mediante el programa SAS (SAS Institute, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

En el Cuadro 3 se observa que hubo diferencias significativas entre localidades (L) y genotipos (G). La interacción L × G fue significativa en todas las variables excepto en AFP. Los coeficientes de variación fueron bajos y oscilaron entre 1.7 y 14.4 %, para TCR₄ y TAN₁, respectivamente.

Efecto de las localidades

En Texcoco, el tomate presentó la mayor producción de fruto, como consecuencia de los mejores promedios obtenidos en TAN₁, TAN₂, TAN₃, TAN₄, TCR₁, TCR₂, TCR₄ y AFP. Los altos valores en estas características fueron influenciados por el mayor contenido en el suelo de materia orgánica, N, P, K, Fe, Cu, Zn y Mn (Cuadro 3). Martínez *et al.* (2008, 2009) indican que en los suelos donde se cultiva *P. peruviana* L. el contenido de nitrógeno, potasio y boro son de especial importancia, ya que apreciaron que las deficiencias de estos nutrimentos afectaron el porte de la planta y el crecimiento vegetativo; la ausencia de boro en la nutrición disminuyó el tamaño de fruto.

Además de las condiciones físicas del suelo, la menor producción de fruto en Tlalquitenango se debió, muy probablemente, a la temperatura alta que se presentó desde el 20 de enero hasta el 28 de febrero (31.9 a 35.6 °C), coincidiendo con la fase de floración-fructificación, lo cual redujo la cantidad de frutos. Páez *et al.* (2000), en un experimento donde evaluaron el crecimiento y respuesta fisiológica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Río Grande reporta que temperatura constante de 36.1 °C reduce el crecimiento vegetativo y la producción de frutos. Martínez *et al.* (2009) afirman que para lograr un óptimo cuajado de fruto en *P. peruviana* L., la temperatura mínima es de 17 a 19 °C, pero la óptima es de 23 a 25 °C.

Efecto de los genotipos

Physalis philadelphica tuvo los promedios más elevados en los rasgos evaluados, excepto en la TCR₂ (0.036 g g⁻¹ día⁻¹) superado por *P. angulata* (0.041 g g⁻¹ día⁻¹) y en la TCR₃, mostrando valores inferiores con relación a *P. lagascae* (0.039 g g⁻¹ día⁻¹), *P. angulata* (0.036 g g⁻¹ día⁻¹) y *P. solanacea* (0.037 g g⁻¹ día⁻¹). Por su producción, calidad y potencial de mercado, *P. philadelphica* y *P. angulata* han sido seleccionadas para cultivarse comercialmente. Vargas-Ponce *et al.* (2016) indican que estos dos materiales ya han sido evaluados y cultivados en México.

Escalante y Kohashi (1993) afirman que la tasa de asimilación neta es una medida de la eficacia del follaje, ya que

es la principal fuente de fotosintatos en la producción de materia seca. En este sentido, el rendimiento de *P. philadelphica* (1473.7 g m⁻²) fue superior al de las demás especies, en porcentajes que oscilaron entre 59.0 y 81.4 para *P. angulata* y *P. microcarpa*, respectivamente; ésto se debió a la mayor área foliar e incremento en la TAN de este genotipo en todos los muestreos realizados (Cuadro 3). Fischer y Lüdders (2002) confirman lo reportado en este estudio, ya que en un ensayo donde evaluaron el efecto de la altitud sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo de la uchuva (*P. peruviana* L.) encontraron un incremento en la tasa de asimilación neta, debido a la mayor área foliar y, como consecuencia de esto, se presentó un alto rendimiento de fruto.

La TCR en *P. philadelphica* contribuyó a una mayor expresión del rendimiento. La TCR es una medida de actividad de la demanda; en este genotipo la TCR tuvo su máximo valor al inicio del ciclo y disminuyó poco con la edad de la planta (Cuadro 3). En Chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) Azofeifa y Moreira (2004) encontraron que durante la ontogenia de la planta hay un periodo inicial en que la TCR es mayor, luego un periodo más o menos constante, para posteriormente disminuir. Es notable destacar que la TCR₄ (fructificación-trasplante) en *P. philadelphica* fue mayor con relación a los demás genotipos (Cuadro 3).

Physalis angulata presentó el segundo mejor rendimiento de fruto, lo cual se atribuye a su mayor tasa de crecimiento relativo en el muestreo en etapa vegetativa-trasplante (TCR₂) y fructificación-trasplante (TCR₄) (Cuadro 3). Contrario a esta observación, Barraza *et al.* (2004) encontraron en tomate (*Lycopersicon esculentum*) que la TCR en el periodo comprendido entre los 45 días después del trasplante y la floración disminuyó. Es posible que esta situación se deba a que al ocurrir dicho proceso, las hojas inferiores del dosel entraron en senescencia y no fueron capaces de exportar los fotoasimilados suficientes que requerían las flores para su amarre y posterior cuajado de frutos.

Aunque los materiales silvestres de las especies ya cultivadas (*P. philadelphica* y *P. angulata*) resultaron ser más productivos, *P. solanacea* es un recurso genético promisorio, ya que presenta un alto potencial de rendimiento de fruto (478.8 g m⁻²) con valor de TCR₄ de 0.80 g g⁻¹ día⁻¹ (Cuadro 3) y podría ser considerado para establecerse como un cultivo comercial (Vargas-Ponce *et al.*, 2016). Casierra-Posada *et al.* (2007) en un experimento efectuado sobre el análisis de crecimiento en tomate en condiciones de invernadero afirman que la tasa de crecimiento relativo, entre otros índices fisiológicos, constituyen un factor de eficiencia en acumular materia seca como producto de sus procesos metabólicos. Además, en *P. solanacea* podría explorarse su uso como medicinal, ornamental

Cuadro 3. Nivel de significancia y del análisis de varianza y prueba de comparación de medias en tasas de asimilación neta, tasas de crecimiento relativo, área foliar por planta (AFP y rendimiento de fruto (REND)).

Factor	TAN ₁ (g dm ⁻² ·d ⁻¹)	TAN ₂ (g dm ⁻² ·d ⁻¹)	TAN ₃ (g dm ⁻² ·d ⁻¹)	TAN ₄ (g dm ⁻² ·d ⁻¹)	TCR ₁ (g g ⁻¹ ·d ⁻¹)	TCR ₂ (g g ⁻¹ ·d ⁻¹)	TCR ₃ (g g ⁻¹ ·d ⁻¹)	TCR ₄ (g g ⁻¹ ·d ⁻¹)	AFP (dm ²)	REND (g m ⁻²)
Localidades (L)	***	***	***	***	***	***	***	***	*	***
Texcoco	1.80 a	1.56 a	1.38 a	1.58 a	0.049 a	0.036 a	0.027 b	0.09 a	128.9 a	722.1 a
Tlalquiltenango	0.35 b	1.14 b	1.26 b	0.91 b	0.031 b	0.018 b	0.041 a	0.07 b	125.0 b	370.9 b
DSH 0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.001	0.001	0.001	0.01	1.6	16.3
Genotipos (G)	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
<i>P. angulata</i>	1.47 a	1.77 a	1.51 b	1.58 b	0.027 c	0.041 a	0.036 b	0.089 b	124.9 b	603.8 b
<i>P. acutifolia</i>	1.00 a	0.99 c	1.09 d	1.03 e	0.043 ab	0.024 d	0.030 f	0.077 de	63.5 d	385.0 d
<i>P. ampla</i>	0.88 b	1.71 a	1.50 b	1.36 c	0.028 c	0.019 e	0.032 e	0.076 e	65.2 d	381.3 d
<i>P. lagascae</i>	0.89 b	1.68 a	1.48 b	1.35 c	0.045 ab	0.020 e	0.039 a	0.077 de	65.8 d	387.5 d
<i>P. solanacea</i>	0.94 b	1.17 b	1.11 d	1.07 e	0.042 b	0.023 d	0.037 b	0.080 c	103.7 c	478.8 c
<i>P. microcarpa</i>	0.83 b	0.47 d	0.48 e	0.57 f	0.042 b	0.026 c	0.033 d	0.073 f	26.4 e	273.8 e
<i>P. sulphurea</i>	1.04 b	0.47 d	1.39 c	1.22 b	0.046 a	0.024 cd	0.030 f	0.079 cd	64.5 d	388.8 d
<i>P. philadelphica</i>	1.54 a	1.79 a	1.99 a	1.72 a	0.046 a	0.036 b	0.035 c	0.096 a	501.3 a	1473.7 a
DSH 0.05	0.24	0.12	0.09	0.11	0.003	0.002	0.001	0.02	5.1	51.4
L x G	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	***
C.V. (%)	14.4	5.57	4.35	5.37	5.63	5.21	2.49	1.7	2.5	5.9

*: Nivel de significancia P ≤ 0.05, ***: Nivel de significancia P ≤ 0.001, ns: no significativo. Medias con letras iguales en columnas dentro de cada factor de variación no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

y forrajero, ya que varias especies del mismo género tienen estos atributos (Santiaguillo y Blas, 2009).

Efectos de interacción Localidades × Genotipos

Las especies de *Physalis* mostraron diferentes valores en las variables TCR_4 y TAN_4 cuando cambiaron de localidad (Figuras 3 y 4). En Texcoco se favorecieron ambas tasas; *P. philadelphica* mostró el máximo valor en la TAN_4 y TCR_4 , lo que indica que esta especie se adaptó mejor a las condiciones edáficas y de temperatura en ambas localidades. *P. angulata*, después de *P. philadelphica*, fue la que obtuvo una mayor tasa de asimilación neta en Texcoco (Figuras 3 y 4).

Los genotipos de *Physalis* mostraron diferentes valores de REND, cuando cambiaron de localidad (Figura 5), siendo *P. philadelphica* en Texcoco la que logró la producción de fruto más alta cuyo rendimiento (2063 g m^{-2}) superó entre 57.2 y 90.8 %, a *P. philadelphica* y *P. microcarpa*, respectivamente, en Tlalquilténango. Este resultado es relevante, ya que supera al promedio nacional de 17.3 t ha^{-1} reportado para el año 2016 (SIAP, 2018), aunque en este experimento se cosecharon todos los frutos de la parcela útil, incluyendo a los que no tenían valor comercial.

La tasa de asimilación neta es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, ya que mide la ganancia

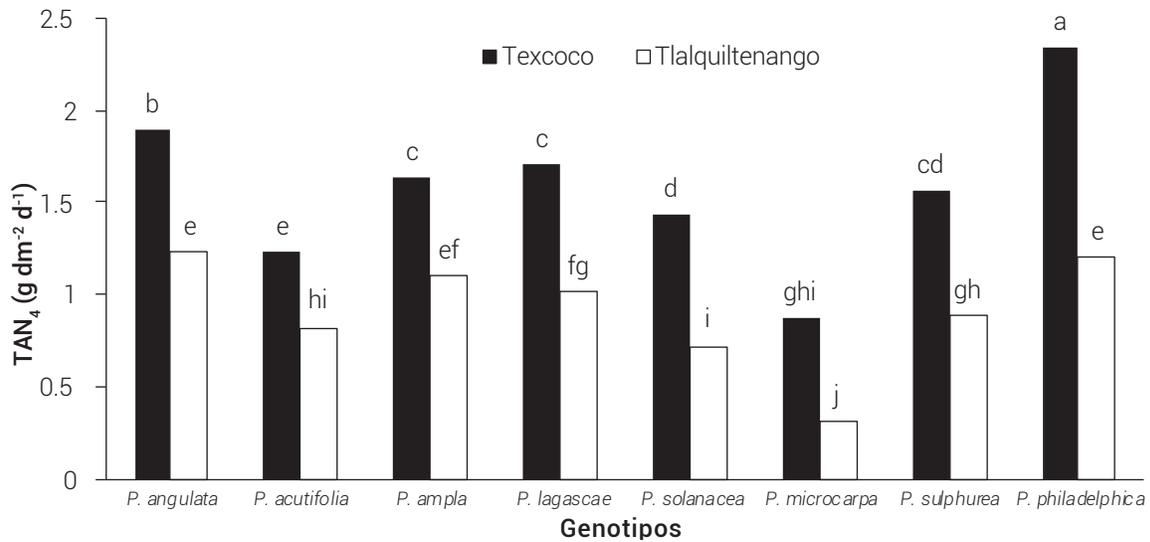


Figura 3. Efecto de la interacción localidades × genotipos en la variable TAN_4 (trasplante-fructificación) en ocho especies de *Physalis*.

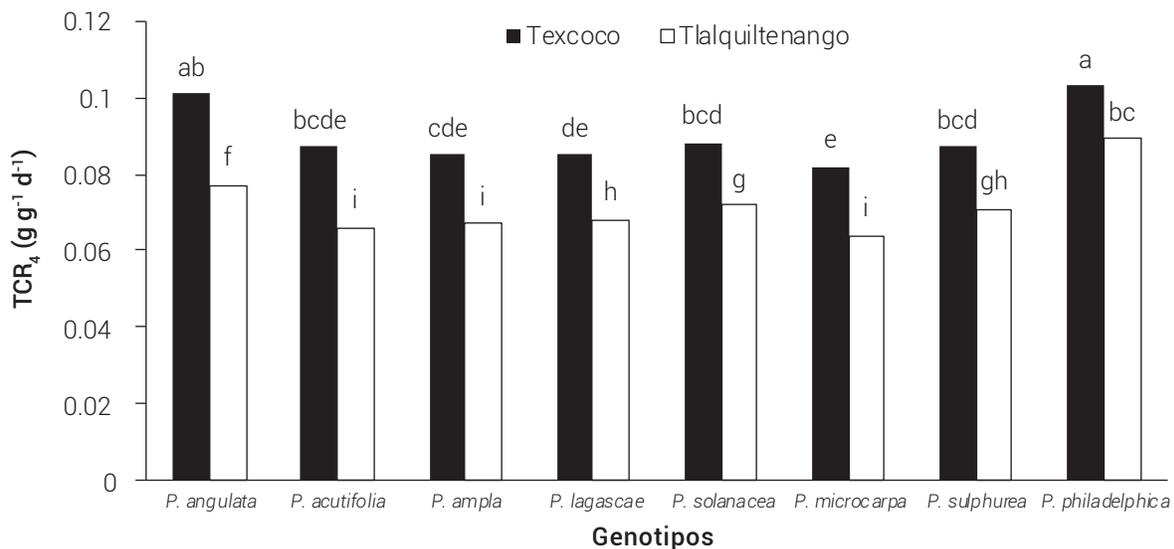


Figura 4. Efecto de la interacción localidades × genotipos en la variable TCR_4 (trasplante-fructificación) en ocho especies de *Physalis*.

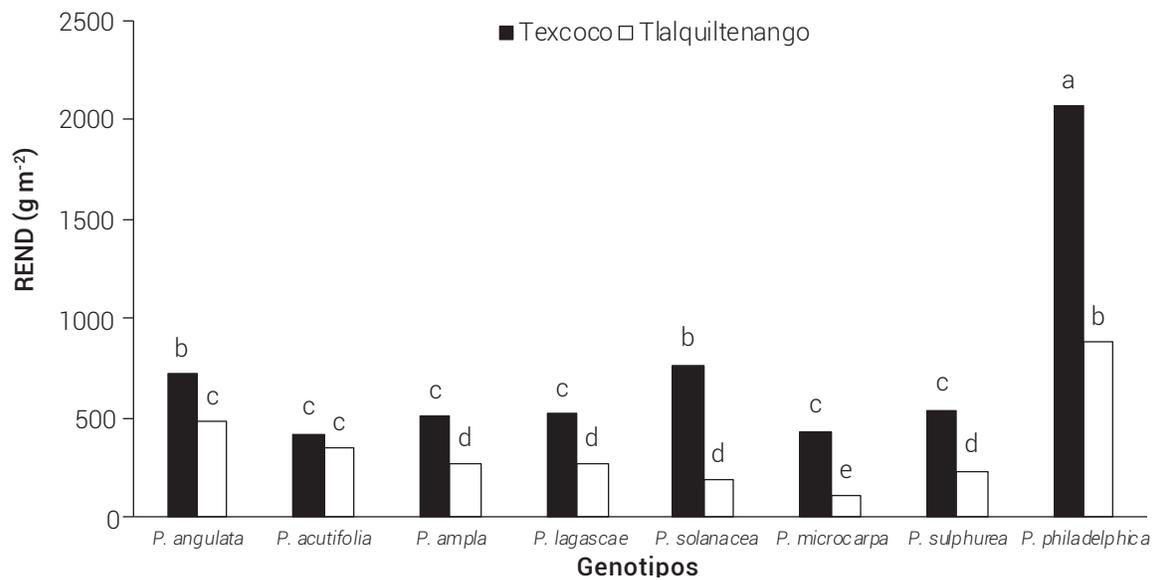


Figura 5. Efecto de la interacción localidades x genotipos en la variable REND en ocho especies de *Physalis*.

neta de asimilados por unidad de área foliar por unidad de tiempo. En consecuencia, una mayor producción de las especies de *Physalis* puede alcanzarse con una mayor eficiencia fotosintética (Santos et al., 2010). La TAN₄ se relacionó positivamente con el rendimiento de fruto, lo cual coincide con estudios en uchuva (Fischer y Lüdders, 2002) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Casierra et al., 2007). La ecuación de regresión fue REND = 769.7 (TAN₄) - 410.7; es decir, por cada unidad de aumento en la tasa de asimilación neta el rendimiento de fruto se incrementó en 769.7 g (Figura 6).

La tasa de crecimiento relativo permite explicar la

dinámica del crecimiento de los frutos. En la Figura 7 se observa una relación positiva entre la TCR con el rendimiento de fruto. Lo anterior concuerda con Barraza et al. (2004), quienes identificaron en tomate una relación entre el proceso de crecimiento y el desarrollo de diversas partes de la planta como flores y frutos, y la TCR.

CONCLUSIONES

Los genotipos evaluados respondieron de manera diferente en cada localidad, siendo la localidad de clima templado el ambiente más favorable. La tasa de asimilación neta y la tasa de crecimiento relativo afectaron positivamente

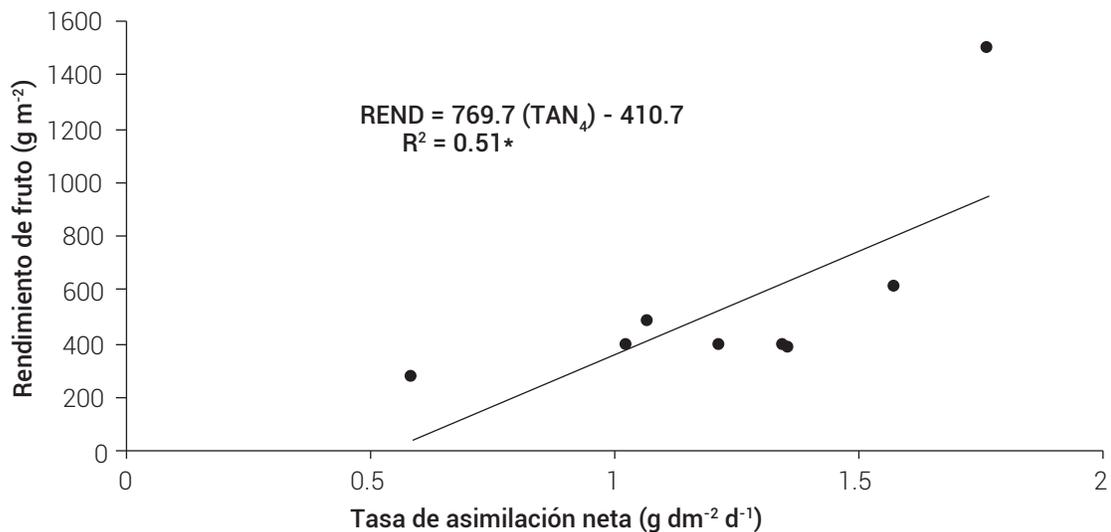


Figura 6. Relación entre el rendimiento de fruto y tasa de asimilación neta de 8 genotipos de *Physalis* sección *Angulatae* en dos localidades del Estado de México.

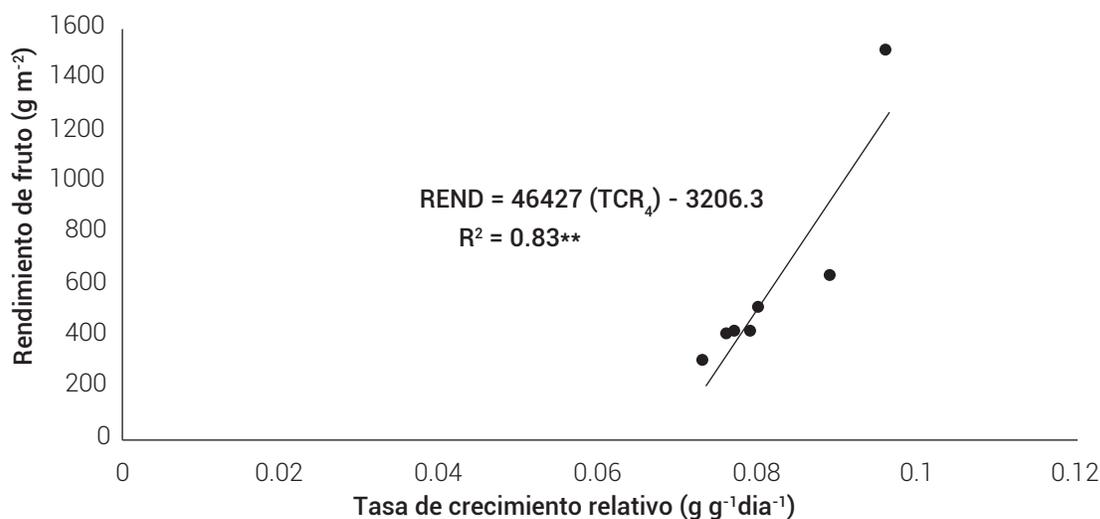


Figura 7. Relación entre el rendimiento de fruto y tasa de crecimiento relativo de ocho genotipos de *Physalis* en dos localidades.

el rendimiento de fruto, y por cada unidad de aumento en ambas tasas se obtuvo un incremento en la producción de fruto. *P. solanacea* es un recurso genético promisorio, con alto potencial de rendimiento de fruto y recomendable para establecerse como un cultivo comercial.

AGRADECIMIENTOS

El autor principal agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada (Convenio No. 85447) y a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx por las facilidades otorgadas para llevar a cabo sus estudios de doctorado.

BIBLIOGRAFÍA

- Azofeifa A. y M. A. Moreira (2004) Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot), en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28:57-67.
- Barraza F. V., G. Fischer y C. E. Cardona (2004) Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana* 22:81-90.
- Casas A., A. Otero-Arnaiz, E. Pérez-Negrón and A. Valiente-Banuet (2007) *In situ* management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100:1101-1115, doi:10.1093/aob/mcm126.
- Casierra-Posada F., M. C. Cardozo y J. F. Cárdenas-Hernández (2007) Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana* 25:299-305.
- Cuevas-Arias C. T., O. Vargas and A. Rodríguez (2008) Solanaceae diversity in the state of Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 67-69.
- Escalante E. J. A. y J. Kohashi S. (1993) El Rendimiento y Crecimiento del Frijol. Manual para la Toma de Datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. 84 p.
- Fischer G. y P. Lüdders (2002) Efecto de la altitud sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Comalfe* 29:1-10.

- García E. (2005) Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. Serie Libros No. 6. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 90 p.
- Hunt R. (2003) Growth analysis, individual plants. In: Encyclopedia of Applied Plant Sciences. B. Thomas, D. J. Murphy and B. G. Murray (eds). Academic Press. London. pp: 588-596.
- Hunt R., D. R. Causton, B. Shipley and A. P. Askew (2002) A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90:485-488, doi:10.1093/aob/mcf214.
- Kindscher K., Q. Long, S. Corbett, K. Bosnak, H. Loring, M. Cohen and B. N. Timmermann (2012) The ethnobotany and ethnopharmacology of wild tomatillos, *Physalis longifolia* Nutt., and related *Physalis* species: a review. *Economic Botany* 66:298-310, doi: 10.1007/s12231-012-9210-7.
- Magdaleno-Villar, J. J., A. Peña-Lomelí, R. Castro-Brindis, A. M. Castillo-González, A. Galvis-Spinola, F. Ramírez-Pérez y P. A. Becerra-López (2006) Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12:153-158.
- Martínez F. E., J. Sarmiento, G. Fischer y F. Jiménez (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* 26:389-398.
- Martínez F. E., J. Sarmiento, G. Fischer y F. Jiménez (2009) Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*. 27:169-178.
- Montes H. S., J. R. Aguirre R., E. García M. y F. V. González C. (1991) Algunos efectos de la domesticación sobre la morfología del tomate *Physalis philadelphica*. *Agrociencia Serie Fitociencia* 2:7-26.
- Morales M. E. J., E. J. Morales-Rosales, E. Díaz-López, A. J. Cruz-Luna, N. Medina-Arias y M. Guerrero-De la Cruz (2015) Tasa de asimilación neta y rendimiento de girasol en función de urea y urea de liberación lenta. *Agrociencia* 49:163-176.
- Morales-Rosales, E. J., J. A. S. Escalante-Estrada, y J. A. López-Sandoval (2008) Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 24:1-10.
- Páez A., B. Paz y J. C. López (2000) Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)* 17:173-184.
- Pickersgill B. (2007) Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. *Annals of Botany* 100:925-940. doi 10.1016/j.scienta.2007.08.015.

- Ramadán M. F. (2011) Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview. *Food Research International* 44:1830-1836, doi: 10.1016/j.foodres.2010.12.042.
- Salazar M. R., J. W. Jones, B. Chaves and A. Cooman (2008) A model for the potential production and dry matter distribution of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Scientia Horticulturae* 115:142-148, doi: 10.1016/j.scienta.2007.08.015.
- Santiaguillo H. J. F. y S. Blas Y. (2009) Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola* 43:81-86.
- Santos C. M., M. Segura A. y C. E. Núñez L. (2010) Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 63:5253-5266.
- SAS Institute (2004) SAS/STAT User's Guide, Versión 8.02. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 479 p.
- Scully B. T., D. H. Wallace and D. R. Viands (1991) Heritability and correlation of biomass growth rates, harvest index, and phenology to the yield of common beans. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116:127-130.
- Serrato C. M. A., S. Miranda C., A. García V. y F. Castillo G. (1998) Aislamiento reproductivo en plantas de cempoalxóchitl (*Tagetes* spp.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 21:127-138.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ (Abril 2018).
- Steel R. G. D. y J. H. Torrie (1992) Bioestadística: Principios y Procedimientos. McGraw-Hill. México, D. F. 622 p.
- Tilman D., K. G. Cassman, P. A. Matson, R. Naylor and S. Polasky (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677, doi: 10.1038/nature01014.
- Vargas-Ponce O, L. F. Pérez-Álvarez, P. Zamora-Tavares and A. Rodríguez (2011) Assessing genetic diversity in Mexican husk tomato species. *Plant Molecular Biology Reporter* 29:733-738, doi 10.1007/s11105-010-0258-1.
- Vargas-Ponce O., J. Sánchez M., M. P. Zamora T. and L. E. Valdivia M. (2016) Traditional management of a small-scale crop of *Physalis angulata* in Western Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 63:1383-1395, doi 10.1007/s10722-015-0326-3.
- Zamora-Tavares P., O. Vargas-Ponce, J. Sánchez-Martínez and D. Cabrera-Toledo (2015) Diversity and genetic structure of the husk tomato (*Physalis philadelphica* Lam.) in Western México. *Genetic Resources and Crop Evolution* 62:141-153, doi: 10.1007/s10722-014-0163-9.