

## Índice de área foliar en genotipos silvestres de *Physalis* spp. en función de dos sistemas de cultivo

Leaf area index in wild genotypes of *Physalis* spp. as a function in two cropping systems

Beatriz González-Salgado<sup>1</sup>, José Antonio López-Sandoval<sup>1</sup>, Edgar Javier Morales-Morales<sup>2</sup>,  
Edgar Jesús Morales-Rosales<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo, Piedras Blancas C.P. 50295 Toluca, México. bgonzalez261@alumno.uaemex.mx. jalopeza@uaemex.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5708-7344>. ejmoralesr@uaemex.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2562-0049>.

<sup>2</sup>Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo, Piedras Blancas C.P. 50295 Toluca, México. emoralesm@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0608-9689>

\*Autor de correspondencia

### Resumen

Existen especies de tomate de cáscara nativas de México que tienen potencial de producción y calidad para su explotación comercial. El objetivo de la investigación fue evaluar el índice de área foliar y rendimiento de fruto de ocho genotipos de *Physalis* spp. en función de dos sistemas de cultivo: (1) en Toluca (invernadero) y (2) en Tenango del Valle y Zumpango (temporal), con la temperatura y lluvia ocurrida durante el ciclo agrícola de cada lugar, denominados temporal 1 y temporal 2, respectivamente. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con arreglo factorial y cuatro repeticiones. Se detectaron diferencias estadísticas significativas en los factores genotipos y sistema de cultivo en todas las variables. La interacción genotipo - sistema de cultivo fue significativa en la totalidad de los caracteres, excepto en el número de hojas y biomasa. Se concluyó que *P. philadelphica* bajo sistema de invernadero obtuvo el mejor rendimiento de fruto.

**Palabras clave:** Tomatillo; área foliar; baya; rendimiento de fruto.

### Abstract

There are species of husk tomato native to Mexico, which have production potential and quality for commercial exploitation. The aim of this research was to evaluate the leaf area index and fruit yield of eight genotypes of *Physalis* spp. as a function of two cropping systems: (1) in Toluca (greenhouse) and (2) in Tenango del Valle and Zumpango (rainfed conditions), with the temperature and rainfall during the agricultural cycle of each place, called rainfed 1 and rainfed 2, respectively. A randomized block design with factorial arrangement and four replications was used. Significant statistical differences were detected in the genotype and cropping system factors for all variables. The genotype - cropping system interaction was significant in all traits, except for the number of leaves and biomass. It was concluded that *P. philadelphica* under the greenhouse system obtained the best fruit yield.

**Keywords:** Husk tomato; leaf area; berry; fruit yield

Recibido: 22 de septiembre de 2021

Aceptado: 25 de noviembre de 2021

Publicado: 16 de febrero de 2022

**Cómo citar:** González-Salgado, B., López-Sandoval, J. A., Morales-Morales, E. J., & Morales-Rosales, E. J. (2022). Índice de área foliar en genotipos silvestres de *Physalis* spp. en función de dos sistemas de cultivo. *Acta Universitaria* 32, e3329. doi. <http://doi.org/10.15174/au.2022.3329>

## Introducción

*Physalis* spp. (Solanaceae) es un género americano que produce frutos comestibles conocidos como tomate verde, tomate de cáscara y miltomate (Vargas-Ponce *et al.*, 2015). Su consumo está arraigado en la dieta diaria en diversas zonas geográficas de México (Vargas-Ponce *et al.*, 2015). Por sus propiedades nutracéuticas, antibacterianas y anticancerígenas, es requerido en Estados Unidos y Canadá, aspectos que lo ubican como la quinta hortaliza más importante en México, con una superficie cultivada de 44 000 ha y un rendimiento promedio de 20 t ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego y 14 t ha<sup>-1</sup> en temporal (Ramos-López *et al.*, 2017; Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2017). Los promedios de producción de la hortaliza se consideran intermedios, lo cual se debe al desconocimiento de las técnicas de cultivo y a la no utilización de variedades mejoradas genéticamente (Ramos-López *et al.*, 2017).

Por otro lado, los sistemas de cultivo son explotaciones agrícolas individuales con enfoque empresarial (invernadero) o con medios tradicionales (temporal). En este sentido, el manejo de un invernadero agrícola con respecto al sistema de temporal presenta la ventaja de controlar el suministro de agua e insumos según el estado fenológico del cultivo. Además, limita la entrada de plagas y modifica factores ambientales, tales como la temperatura, radiación solar, humedad relativa, disponibilidad de CO<sub>2</sub>, luminosidad y velocidad del viento (Peña-Lomelí *et al.*, 2014; Ramos-López *et al.*, 2018; Tanny, 2012). Ramos-López *et al.* (2017) evaluaron el rendimiento de tomate de cáscara en invernadero, revestido con distintas cubiertas plásticas, obteniendo la mayor producción (3.23 kg planta<sup>-1</sup>) cuando fue cubierto con polietileno transparente.

En nuestro país, en condiciones de temporal, se sembraron 42 639 ha de *P. philadelphica* con una producción de 679 910 t y un rendimiento promedio de 14 t ha<sup>-1</sup> (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2017). Peña-Lomelí *et al.* (2014) señalan que, por su adaptación a las condiciones de suelo y clima, *P. philadelphica* se ha extendido por todo el país, abarcando cerca de 45 000 ha, mientras que *P. angulata* está limitada al estado de Jalisco (Santiaguillo & Blas, 2009). Las otras seis especies incluidas en esta investigación no se establecen aún como cultivo, a pesar de tener usos comestibles y medicinales potenciales. En este sentido, Martínez *et al.* (2021) mencionan que las plantas silvestres en proceso de domesticación son desplazadas en las comunidades rurales de México por aquellas especies de mayor aceptación, producidas comercialmente y accesibles en mercados y supermercados.

El sistema de cultivo en *P. angulata* es similar al utilizado en *P. philadelphica*, esto es, la siembra se realiza de forma directa o en semillero y luego se trasplanta, siendo la densidad de población mayor para *P. angulata* porque su dosel vegetal es más pequeño. El rendimiento de *P. angulata* es la mitad o un tercio menor que el de *P. philadelphica*, pero esta menor producción se compensa con su mayor precio de venta; ya que por sus características culinarias, longevidad de sus frutos y larga vida de anaquel, la hacen atractiva al consumidor (Valdivia-Mares *et al.*, 2016; Vargas-Ponce *et al.*, 2015).

Por lo anterior, se estableció como objetivo de la presente investigación evaluar el índice de área foliar y rendimiento de fruto de ocho genotipos de *Physalis* spp. en función de dos sistemas de cultivo: en Toluca en condiciones de invernadero y en Tenango del Valle y Zumpango en temporal, estos dos últimos denominados temporal 1 y temporal 2, respectivamente.

## Materiales y Métodos

### Material biológico

Las ocho especies de *Physalis* spp. empleadas pertenecen a la sección Angulatae (Vargas *et al.*, 2003) que se encuentra en México, Centroamérica y Estados Unidos. La Tabla 1 contiene algunos datos relevantes sobre estos genotipos.

**Tabla 1.** Características morfológicas de ocho genotipos de *Physalis* spp.

Genotipo	Características	Diámetro de fruto (cm)	Altitud m.s.n.m.
<i>P. acutifolia</i>	Anual, erecta, ramificada, hasta un metro de alto, glabra	1.5	30 - 1300
<i>P. ampla</i>	Anual, erecta, ramificada, 0.60 m de alto, provista de tricomas simples	1.0	30 - 2000
<i>P. angulata</i>	Anual, erecta, hasta 60 cm, ramificada, pubescente	1.1 - 1.3	200 - 2400
<i>P. lagascae</i>	Anual, erecta, ramificada, de 15 a 70 cm, tienen tricomas	1.0	< a 800
<i>P. microcarpa</i>	Anual, erecta, ramificada, de 12 a 40 cm de alto, con pocos tricomas	0.7	750 - 1500
<i>P. philadelphica</i>	Anual, erecta, ramificada, hasta 1.0 m, las partes jóvenes con tricomas	1.0 a 6.0	0 - 2300
<i>P. solanacea</i>	Anual, erecta a extendida, ramificada, 70 cm de alto, glabra o con tricomas	0.8	400 - 2000
<i>P. sulphurea</i>	Anual, erecta, ramificada, de 40 cm de alto, glabra	0.7	1180 - 2050

Fuente: Elaboración propia a partir de Vargas *et al.* (2003)

### Establecimiento y manejo del cultivo

Los dos sistemas de cultivo evaluados fueron (1) en condiciones de invernadero en Toluca y (2) de temporal en Tenango del Valle (temporal 1) y Zumpango (temporal 2). El experimento en invernadero se ubicó en el valle de Toluca, en el interior de la Facultad de Ciencias Agrícolas (Universidad Autónoma del Estado de México), ubicada a 19° 17' 29" N y 99° 39' 38" O, la cual se encuentra a 2611 m.s.n.m., con una temperatura media de 12.8 °C, 900 mm de precipitación pluvial y 73.8% de humedad relativa. Los ensayos en el sistema de cultivo de temporal se establecieron en Tenango del Valle y Zumpango, respectivamente. Tenango del Valle tiene coordenadas geográficas de 18° 59' 07" N y 99° 31' 37" O, y se encuentra en la parte suroccidental del valle de Toluca a una altitud de 2600 m.s.n.m., con una temperatura media de 13.6 °C, 800 mm de lluvia y 65% de humedad relativa. Zumpango está al noreste de la entidad y su localización geográfica es 19° 43' 10" N y 98° 58' 12" O a 2260 m.s.n.m., la temperatura media es de 14.8 °C. La precipitación pluvial anual es de 600 mm, con 61.5% de humedad relativa.

El diseño del invernadero es tipo capilla, que es ideal para climas templados, proporciona una transmisión de luz óptima y buena ventilación lateral y cenital. Además, la ausencia de obstáculos en el interior de su estructura permitió una buena movilidad dentro del mismo. El sustrato se integró con tierra del lugar y composta en una proporción de 50%:50%.

Los suelos en los sistemas de temporal 1 y 2 son andosoles, de más de 0.25 m de profundidad y con gran potencial productivo. En Tenango del Valle los suelos son de tipo feozem, oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que son utilizados en gran medida en la agricultura de temporal (Sotelo *et al.* 2011). Los suelos en Zumpango también son del tipo feozem, ricos en materia orgánica y nutrientes, de gran fertilidad para la agricultura de riego y temporal (Gutiérrez *et al.*, 2020).

El nivel inicial de nitrógeno inorgánico (determinado por el método de Kjeldahl) fue de 62.5 kg ha<sup>-1</sup> en invernadero, mientras que en temporal 1 y temporal 2 fue de 50.7 kg ha<sup>-1</sup> y 43.8 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## Siembra

Las semillas se depositaron en charolas germinadoras de unicel de 200 cavidades el 1 de marzo de 2018. Cuando las plántulas tenían dos pares de hojas expandidas, se efectuó el trasplante de la siguiente manera: el 31 de marzo en temporal 2, el 1 de abril en temporal 1 y el 2 de abril en el invernadero. Se manejó el tratamiento de fertilización 120–60–120 suministrando la mitad de nitrógeno, y todo el fósforo y potasio al momento de trasplantar. Las 60 unidades restantes de nitrógeno se adicionaron cuando se hizo la escarda (Montes de Oca, 2014). Se tuvo incidencia de *Trialeurodes vaporariorum* (mosquita blanca) en los tres experimentos, esta se minimizó con aspersiones de Cipertoato 300 CE (Dimetoato y Cipermetrina) en dosis de 1.0 L ha<sup>-1</sup>. Las arvenses se eliminaron de forma manual (Montes de Oca, 2014).

En el invernadero, las temperaturas durante el día fluctuaron de 20 °C a 30 °C y en la noche entre 8 °C y 10 °C. La humedad del suelo estuvo a capacidad de campo. Durante el desarrollo de los experimentos en temporal se registraron la temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín), media (Tmed) y precipitación pluvial (pp) (Figura 1). La información fue proporcionada por las estaciones climatológicas 00015121 (Tenango del Valle) y 00015151 (Zumpango).

## Tratamientos y diseño experimental

El arreglo factorial de los tratamientos se analizó mediante un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental fue de cuatro surcos de 6 m de largo × 0.8 m de ancho. La parcela útil fueron los dos surcos centrales, eliminando 1 m de cada lado, y la densidad de población fue de 4.2 plantas m<sup>-2</sup>.

## Variables evaluadas

Al inicio de la floración se midieron las variables siguientes:

*Número de hojas (NH)*. Se contaron los foliolos por planta y se obtuvo el promedio.

*Área foliar (AF)*. En cada hoja se midió la superficie foliar (cm<sup>2</sup>) con un integrador de área modelo Licor 3100 y se obtuvo el promedio.

Índice de área foliar (IAF). Se obtuvo mediante la siguiente relación:

$$\text{Índice de área foliar} = \frac{(\text{Área foliar}) (\text{Densidad de población})}{\text{Área Sembrada}} \quad (1)$$

Durante la cosecha de una muestra de cinco plantas por tratamiento y repetición se tomaron las variables siguientes:

Número de frutos (NF). Se contaron el número de bayas.

Rendimiento de fruto (RF). Se pesó el fruto y se expresó en g m<sup>-2</sup>.

Biomasa total (BT). Se estimó con una estufa de aire forzado a temperatura de 80 °C hasta lograr un peso constante (sin incluir el fruto).

Con los datos se efectuó el análisis de varianza individual y combinado. Cuando las pruebas de F ( $p \leq 5\%$ ) fueron significativas, se ejecutó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 5\%$ ) utilizando el Statistical Analysis System (SAS, 2004).

## Resultados y Discusión

### Climograma

La temperatura en el invernadero se mantuvo entre 20 °C y 30 °C y la cantidad de agua suministrada estuvo a capacidad de campo, por lo que los materiales genéticos no tuvieron problema para crecer y desarrollarse. En la Figura 1 se presentan los datos de temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín) y media (Tmed), así como la precipitación pluvial (pp) durante la estación de crecimiento en temporal 1 y 2. Se aprecia que la temperatura se distribuyó de manera similar en ambos sitios, siendo las más elevadas en mayo, con 23.7 °C y 24.9 °C en temporal 1 y 2, respectivamente. La temperatura mínima en temporal 1 fue de 8.3 °C en mayo, en tanto que en temporal 2 alcanzó un valor de 7.2 °C en el mes de septiembre. La temperatura media en temporal 1 fue de 15.1 °C y en temporal 2 de 15.9 °C, lo que fue positivo para las diferentes especies, ya que, según Fischer (2000), *Physalis* crece y se desarrolla mejor en regiones con temperaturas medias anuales entre 13 °C y 18 °C.

La precipitación estacional en condiciones de temporal 1 fue de 755 mm, mientras que en temporal 2 fue de 662 mm, es decir, 12.3% menos. Del total de la lluvia acaecida, el 55.3% ocurrió en la etapa vegetativa y el 44.7% en la etapa reproductiva en temporal 1. En temporal 2, el 43.4% de precipitación pluvial cayó en el crecimiento vegetativo y 56.6% en las fases fenológicas de reproducción y fructificación. Los meses con mayor tempestad fueron julio y agosto. En este orden de ideas, la cantidad de lluvia para tener buena producción es de 800 mm durante el ciclo de cultivo (Rufato *et al.*, 2012); esta circunstancia no se cumplió en 5.6% y 17.3% en temporal 1 y 2, respectivamente.

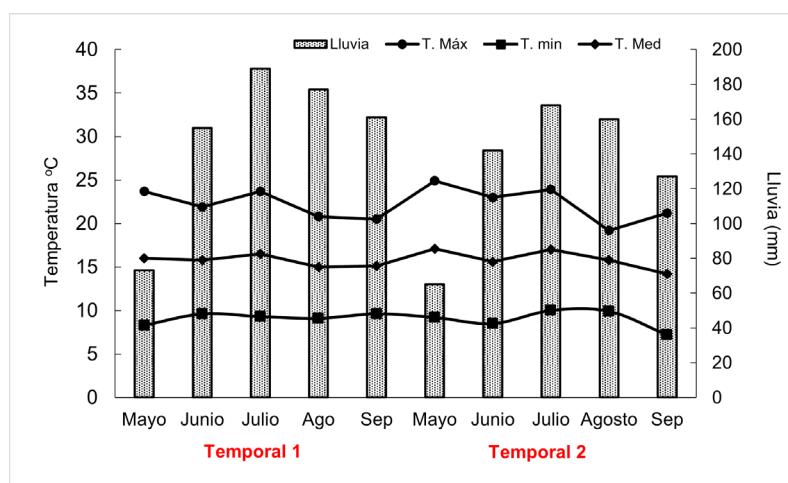


Figura 1. Temperatura máxima, mínima y lluvia durante el ciclo de cultivo de *Physalis* spp. en condiciones de temporal 1 y temporal 2 (Primavera–Verano 2018).  
Fuente: Elaboración propia.

## Genotipos

### Dosel vegetal

En las tres variables que componen el dosel vegetal, los genotipos evidenciaron diferencias significativas al 1%. El área foliar y el índice de área foliar están íntimamente ligados, este hecho lo explican Aguilar-Carpio *et al.* (2018), quienes afirman que el IAF es una traslación de la superficie foliar. En este sentido, *Physalis philadelphica* logró una AF de 5.16 dm<sup>2</sup> y un IAF de 2.1 (Tabla 2), factores que le permitieron captar mayor radiación solar, lo que sugiere mayor actividad fotosintética y producción de baya. De acuerdo con Reis *et al.* (2013), el acrecentamiento del área foliar en las plantas permite una mayor intercepción de luz, de tal manera que favorece la fotosíntesis y, en consecuencia, una producción mayor de fotosintatos disponibles para el desarrollo de la planta y la producción de frutos. A este respecto, Vdovenko *et al.* (2021), en un estudio en Ucrania donde valuyeron algunos aspectos en la producción de tomatillo (*Physalis philadelphica*) en condiciones de campo, detectaron una alta correlación ( $r = 0.98$ ) entre el rendimiento de fruto y el área foliar, lo que indica la importancia de esta característica en tomate de cáscara. En relación con esto, el índice de área foliar es de suma importancia para modelar el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como la productividad del cultivo (Reis *et al.*, 2013).

Después de *P. philadelphica*, la especie *angulata* obtuvo un IAF de 0.54, valor superior a las demás especies ensayadas (Tabla 2). Este número refleja el avance genético que tiene esta especie, al ser seleccionada por sus características agronómicas y calidad de sus frutos (Golubkina *et al.*, 2018).

Un segundo grupo estuvo integrado por los seis materiales restantes. El mediano rendimiento de estas especies es consecuencia de ser plantas nativas y/o arvenses. Desde el punto de vista de Vdovenko *et al.* (2021), la domesticación de plantas silvestres y la selección permiten fijar características deseables para su explotación comercial.

## Rendimiento de Fruto

El análisis de varianza presentó diferencias estadísticas con un nivel de significancia de 1% entre los genotipos ensayados. De acuerdo con la prueba de Tukey  $\leq 5\%$ , para el carácter NF se conformaron tres grupos. El primero estuvo integrado por *P. solanacea*, *P. philadelphica* y *P. angulata*, con 58.5, 57.7 y 55.2 bayas, respectivamente. El segundo estuvo constituido por *P. sulphurea* (51), *P. ampla* (50.3), *P. lagascae* y *P. acutifolia* (49.8); finalmente, se incorporó *P. microcarpa* (39.5).

En la variable rendimiento de fruto, *P. philadelphica* se ubicó en el primer sitio con  $1500.6 \text{ g m}^{-2}$ , superando en 49.7% a *P. angulata*. Los tipos *solanacea*, *sulphurea*, *acutifolia*, *lagascae*, *ampla* y *microcarpa* consiguieron 67.7%, 73.6%, 73.9%, 74.1%, 74.5% y 80.8% menos rendimiento de fruto que *P. philadelphica*.

Con excepción de las especies *solanacea* y *philadelphica*, *Physalis angulata* tuvo mayor número de frutos con respecto a los demás genotipos de tomate de cáscara (Tabla 2), por consiguiente, se sugiere incrementar el número de hectáreas sembradas con este cultivar debido a que posee un buen potencial de producción; además, su fruto tiene compuestos fitoquímicos (fisalinas y witanólidos) de gran relevancia para la industria farmacéutica (Rengifo & Vargas, 2014). En una investigación desarrollada por Golubkina et al. (2018) en *P. angulata* se encontró que este material genético obtuvo un rendimiento de  $755.7 \text{ g m}^{-2}$  ( $7.55 \text{ t ha}^{-1}$ ), semejante al exhibido por las variedades mejoradas en Rusia: 'Lezhky' ( $7.57 \text{ t ha}^{-1}$ ) y 'Lakomka' ( $7.3 \text{ t ha}^{-1}$ ). A pesar de que en México no existe fitomejoramiento en esta especie, por su amplia adaptación a las condiciones ambientales, su cultivo es viable. Sobre el particular, Valdivia-Mares et al. (2016) resaltan que las especies nativas de *Physalis*, tales como *P. acutifolia*, *P. chenopodifolia* y *P. pubescens*, han obtenido una producción que oscila entre  $9.9 \text{ t ha}^{-1}$  y  $18.5 \text{ t ha}^{-1}$  de fruto.

Otro genotipo interesante es *P. solanacea* ( $487.7 \text{ g m}^{-2}$ ), debido a la cantidad de fenoles que posee. De acuerdo con Medina-Medrano et al. (2015), esta planta es considerada como fuente de antioxidantes naturales de amplio uso medicinal. La producción de baya en *P. sulphurea* ( $397.0 \text{ g m}^{-2}$ ), *P. acutifolia* ( $391.9 \text{ g m}^{-2}$ ), *P. lagascae* ( $388.9 \text{ g m}^{-2}$ ) y *ampla* ( $383.1 \text{ g m}^{-2}$ ) fue consistente, pero aún no se conoce su máximo potencial de producción. De igual modo, se sabe que estas especies representan una rica fuente de minerales, vitaminas, fibras, carotenoides, proteínas, fructosa, ésteres de sacarosa, pectinas, flavonoides, polifenoles, ácidos grasos poliinsaturados y fitoesteroles, por lo que deben seguir ensayándose (Mazova et al., 2020). En última instancia, *P. microcarpa*, por su baja producción ( $288.4 \text{ g m}^{-2}$ ), podría ser descartada de ensayos subsecuentes.

## Sistemas de cultivo

### Dosel vegetal

El análisis de varianza mostró diferencia significativa al 1% de probabilidad en las variables que componen el vástago de la planta. En invernadero, los caracteres NH, AF e IAF fueron superiores a los sistemas de cultivo de temporal 1 y temporal 2 (Tabla 2). El área foliar e índice de área foliar fueron la razón principal del aumento en el rendimiento de fruto. Adicionalmente, el manejo de la temperatura y humedad permitió el desarrollo adecuado del tejido fotosintético, aumentando el producto agrícola (Peña-Lomelí et al., 2014; Santos et al., 2021). Resultados parcialmente similares encontraron Aguilar-Carpio et al. (2018), ya que en ambiente de invernadero e hidroponía se obtuvo la mayor producción de hojas, área foliar, materia seca, tasa de crecimiento del cultivo y peso de fruto (con y sin cáliz).

### Número y rendimiento de fruto

Estas dos variables exhibieron diferencias significativas al 1% (Tabla 2). En condiciones protegidas, el rendimiento promedio fue de  $655.5 \text{ g m}^{-2}$ , al tiempo que en temporal 1 y temporal 2 la media fue de  $550.5 \text{ g m}^{-2}$  y  $467.7 \text{ g m}^{-2}$ , respectivamente. En un ensayo similar ejecutado por Peña-Lomelí et al. (2014), donde estudiaron el rendimiento de 40 variedades de *Physalis ixocarpa* Brot. en cuatro sistemas de cultivo, convergieron que el mejor sistema de cultivo fue a campo abierto, con riego por goteo y acolchado, seguido por el de hidroponía en invernadero.

En un estudio reciente, Ramos-López et al. (2018) compararon el rendimiento de variedades de *Physalis ixocarpa* Brot. en dos sistemas de cultivo y dedujeron que el microclima del invernadero constituyó un mejor ambiente con respecto a la siembra en campo, esto agrandó el rendimiento de fruto, porque el microambiente favoreció el uso eficiente del agua, elevando el número de frutos y producción de fruto.

**Tabla 2.** Significancia estadística y comparación de medias de las variables evaluadas en ocho genotipos de *Physalis* en condiciones de invernadero y temporal 1 y 2.

Factor	NH	AF ( $\text{dm}^2$ )	IAF	NF	REN ( $\text{g m}^{-2}$ )	BT ( $\text{g m}^{-2}$ )
<b>Genotipo</b>						
<i>P. angulata</i>	91.1 b	1.41 b	0.58 b	55.2 b	755.7 b	20.3 b
<i>P. acutifolia</i>	75.1 c	0.88 d	0.36 d	49.8 c	391.9 d	12.8 d
<i>P. ampla</i>	79.0 c	0.89 d	0.37 d	50.3 c	383.1 d	12.8 d
<i>P. lagascae</i>	78.4 c	0.90 d	0.37 d	50.1 c	388.9 d	12.9 d
<i>P. solanacea</i>	88.4 b	1.17 c	0.48 c	58.5 ab	485.7 c	15.2 c
<i>P. microcarpa</i>	68.5 d	0.59 e	0.24 e	39.5 d	288.4 e	8.7 e
<i>P. sulphurea</i>	79.5 c	0.88 d	0.36 d	51.0 b	397.0 d	12.7 d
<i>P. philadelphica</i>	120.8 a	5.16 a	2.1 a	57.7ab	1502.6 a	32.7 a
Tukey $\leq 5\%$	4.5	3.6	0.02	3.3	21.7	2.13
<b>Sistema de cultivo</b>						
Invernadero	139.3 a	17.9 a	0.74 a	59.9 a	655.5 a	11.7 c
Temporal 1	73.9 b	13.31 b	0.54 b	42.6 b	550.5 b	20.9 a
Temporal 2	65.1 c	13.01 b	0.53 b	52.0 b	467.7 c	15.5 b
Tukey $\leq 5\%$	8.2	2.4	0.09	10.9	50.9	2.2
G x SC	ns	**	**	**	**	ns

*Nota.* Tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente entre sí; Tukey  $p < 5\%$ ; ns = diferencia no significativa ( $p \leq 5\%$ ); Temporal 1 (Tenango del Valle); Temporal 2 (Zumpango).

**Fuente:** Elaboración propia.

En los ensayos de temporal no se percibieron diferencias significativas en el número de hojas e índice de área foliar. A la vez, dentro del material genético evaluado, *P. philadelphica* produjo  $1.5 \text{ kg m}^{-2}$ ; sin embargo, en Oaxaca, México, en condiciones de temporal, Ramos-López et al. (2018) hallaron una cosecha superior que osciló de  $2.10 \text{ kg m}^{-2}$  a  $2.73 \text{ kg m}^{-2}$  en los cultivares "Rendidora" y "Diamante", respectivamente. Ambas variedades pertenecen a la especie *philadelphica*.

En última instancia, el contenido inicial de nitrógeno mineral en el sustrato del invernadero fue de  $62.5 \text{ kg ha}^{-1}$ , el cual fue superior en 18.9% y 29.9% respecto al temporal 1 y temporal 2, respectivamente. Este hecho confirma la importancia de este elemento en la nutrición del cultivo (Morales-Morales et al., 2019). Ferrer et al. (2003) recomiendan realizar el análisis de nitrato en suelo previo a la fertilización en el cultivo de maíz para determinar las necesidades de abonado nitrogenado.

### Efecto de interacción

El estudio de la interacción es fundamental, puesto que la comprensión de la interrelación entre el factor genético y ambiental es prioritario en el mejoramiento de las prácticas hortícolas (riego, manejo de la luz, nutrición mineral, diseño de infraestructuras, etc.), para optimizar la fotosíntesis y elevar la productividad de los cultivos (Restrepo-Díaz et al., 2010). La interacción G - SC no fue significativa en las variables NHV y BT.

### Interacción índice de área foliar × sistema de cultivo

El cambiar de sistema de cultivo provoca que las variables tengan una respuesta diferente en función de los materiales genéticos empleados. En la Figura 2 se aprecia que el AF e IAF de *P. philadelphica* varió de un sistema de cultivo a otro. En invernadero, el IAF fue de 2.63, mientras que en el sistema 1 y sistema 2 presentó valores de 1.65 y 1.67, respectivamente. Esto insinúa que *P. philadelphica*, al tener mayor IAF, captó más radiación solar en el invernadero y desarrolló una buena cantidad de biomasa. Esta inferencia se ajusta con lo publicado por López-Sandoval et al. (2018), quienes puntualizaron que efectos del ambiente, genotipo e interacción genético-ambiental, intervienen en forma específica en la expresión del dosel de la planta.

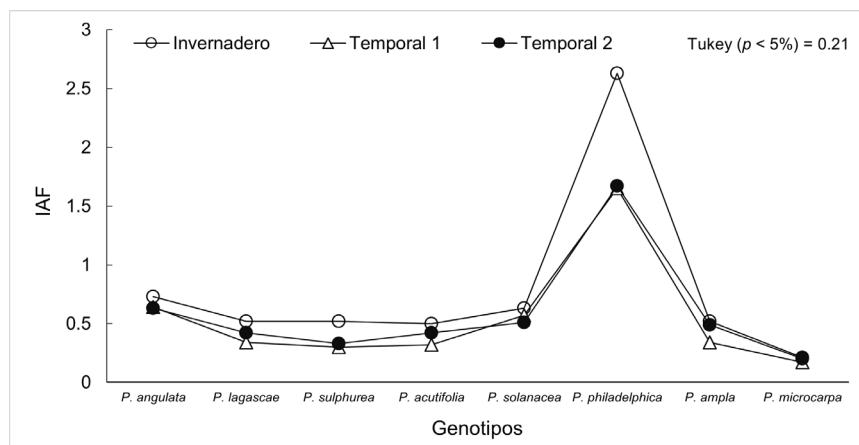


Figura 2. Interacción genotipo × sistema de cultivo en la variable índice del área foliar.  
Fuente: Elaboración propia.

### Interacción número de frutos × sistema de cultivo

El número de frutos fue superior en las especies *philadelphica* y *angulata* en invernadero, las condiciones al interior de este fueron muy favorables con respecto al sistema de cultivo de temporal. *Physalis philadelphica* tuvo 73 frutos por planta, mientras que en temporal 1 y temporal 2 el número disminuyó en 28.6% y 32.9%, respectivamente (Figura 3). La especie *angulata* siguió una tendencia similar en esta variable, obteniendo 73 frutos en invernadero, mientras que en temporal 1 y temporal 2, el número de bayas disminuyó en 23.6% y 27.8%, respectivamente.

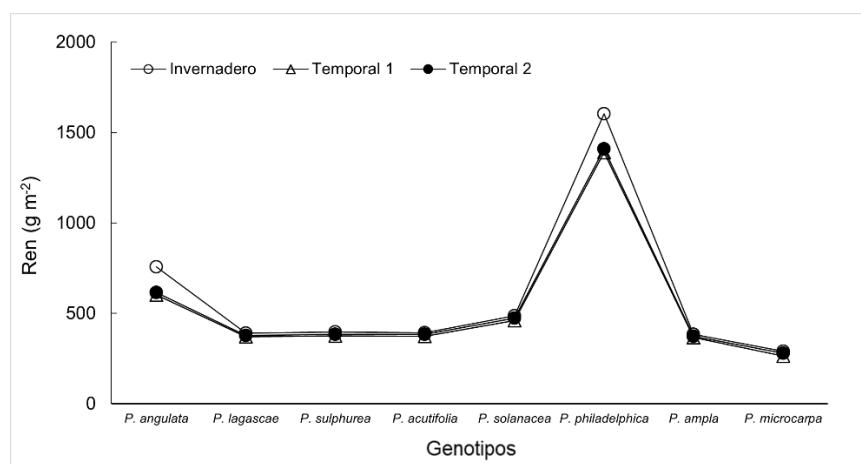


Figura 3. Interacción genotipo × sistema de cultivo en la variable número de frutos.  
Fuente: Elaboración propia.

#### Interacción rendimiento × sistema de cultivo

La Figura 4 muestra la interacción REN - sistema de cultivo, la cual siguió una directriz parecida a la que presenta el IAF - sistema de cultivo. Lo previo fue resultado de un mayor IAF, característica que le permitió absorber más radiación solar. Esto concuerda con lo señalado por Warnock *et al.* (2006), quienes resaltan que el tamaño del área foliar es responsable de interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la energía empleada por los vegetales para elaborar sus tejidos y compuestos alimenticios.

Finalmente, desde el punto de vista de Aguilar-Carpio *et al.* (2018), al efectuar un análisis de crecimiento y rendimiento en uchuva (*Physalis peruviana* L.) en circunstancias de hidroponía en invernadero y suministrando la solución nutritiva de Steiner al 100% y 150%, se desarrollaron más las hojas, el área foliar, el índice de área foliar, la biomasa, la tasa de crecimiento del cultivo y, como consecuencia de esto, el peso de frutos.

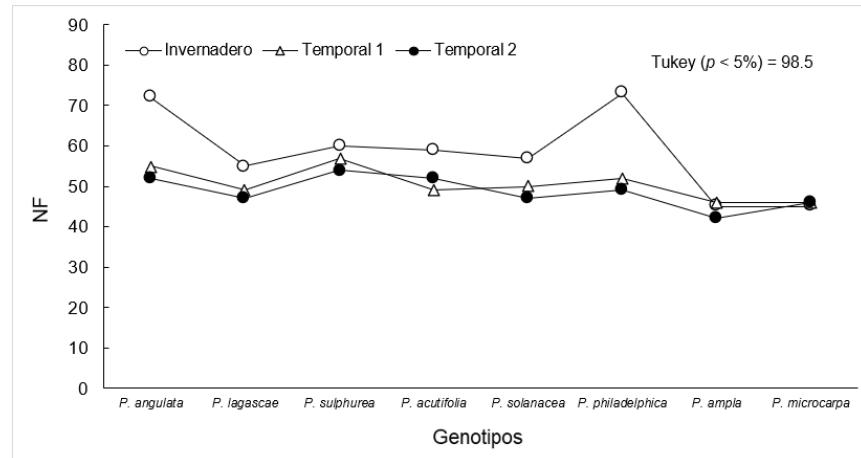


Figura 4. Interacción genotipo × sistema de cultivo en la variable rendimiento de fruto.  
Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

La investigación realizada en invernadero y en condiciones de temporal 1 y temporal 2 aportó datos interesantes sobre la influencia de los sistemas de cultivo sobre los ocho genotipos de *Physalis* spp.

Podemos afirmar que, de las especies de tomate *Physalis* estudiadas, *P. philadelphica* por ser un cultivo comercial y *P. angulata* al ser seleccionado por los productores son los genotipos que se agencianaron los mejores valores en todas las variables bajo estudio y, derivado de esto, ostentaron la mejor producción de fruto.

El sistema de cultivo bajo invernadero permitió manejar la temperatura y el riego y, por lo tanto, se logró el mayor rendimiento de baya. En condiciones de temporal, el rendimiento en el temporal 1 fue superior al temporal 2, esto fue debido a la mayor cantidad de precipitación pluvial ocurrida durante la estación de crecimiento en el temporal 1.

La interacción genotipo - sistema de cultivo, indicó que *P. philadelphica* en condiciones de invernadero produjo más tomate de cáscara.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México el apoyo para la realización del proyecto de investigación "Características anatómicas y fisiológicas en el cultivo de especies silvestres de *Physalis* con potencial comercial", con clave de registro 4516/218/CI.

## Referencias

- Aguilar-Carpio, C., Juárez-López, P., Campos-Aguilar, I. H., Alia-Tejacal, I., Sandoval-Villa, M., & López-Martínez, V. (2018). Analysis of growth and yield of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) grown hydroponically under greenhouse conditions. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(3), 192-202. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.07.024>
- Dos Santos, B. N., Souza, T. F. J., Neves do Nascimento, M., & Pelacani, C. R. (2021). *Physalis* development according to growing to the growing season in the semi-arid region of the Bahia state, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48(4), 429-435. doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v48s4173>
- Fischer, G. (2000). Crecimiento y desarrollo. En R. V. Flores, G. Fischer & R. A. Sora (eds.), *Producción, postcosecha y exportación de la Uchuva* (pp. 9-26). UNIBIBLOS.
- Ferrer, F., Villar, J., Stockle, C., Villar, P., & Aran, M. (2003). Use of pre-sidedress soil nitrate test (PSNT) to determine nitrogen fertilizer requirements for irrigated corn. *Agronomie*, 23, 561-570. doi: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886212/>
- Golubkina, N., Kekina, H., Engalichev, M., Antoshkina, M., Nadzhhkin, S., & Caruso, G. (2018). Yield, quality, antioxidants and mineral nutrients of *Physalis pubescens* L. fruits as affected by genotype under organic management. *Advances in Horticultural Science*, 32(4), 541-548. doi: <https://doi.org/10.13128/ahs-22211>
- Gutiérrez, J. L., Niembro, C. A., Reyes, R., & Niembro, M. C. M. (2020). Evaluación agronómica del maíz criollo rojo Guanajuato en el municipio de Zumpango, Estado de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 7(2), 19-24. doi: <http://www.reibci.org/publicados/2020/oct/3900101.pdf>
- López-Sandoval, J. A., Morales-Rosales, E. J., Vibrans, H., & Morales-Morales, E. J. (2018). Tasa de asimilación neta y rendimiento de *Physalis* bajo cultivo en dos localidades. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(2), 187-197. doi: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v41n2/0187-7380-rfm-41-02-187.pdf>

- Martínez, S., Aguilar, F., & Hernández, L. (2021). Plantas silvestres comestibles de la Barreta, Querétaro, México y su papel en la cultura alimentaria local. *Revista Etnobiología*, 19(1), 41-62.  
<https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/387/395>
- Mazova, N., Popova, V., & Stoyanova, A. (2020). Phytochemical composition and biological activity of *Physalis* spp.: A mini-review. *Food Science and Applied Biotechnology*, 3(1), 56-70.  
doi: <https://doi.org/10.30721/fsab2020.v3.i1.80>
- Medina-Medrano, J. R., Almaraz-Abarca, N., González-Elizondo, M. S., Uribe-Soto, J. N., González-Valdez, J., & Herrera-Arrieta, Y. (2015). Phenolic constituents and antioxidant properties of five wild species of *Physalis* (Solanaceae). *Botanical Studies*, 56, 24-34. doi: <https://doi.org/10.1186/s40529-015-0101-y>
- Montes de Oca, M. (2014). *Manejo del cultivo de tomate de cáscara a cielo abierto en el estado de México*. ICAMEX.
- Morales-Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval, J. A., Martínez-Campos, A. R., & Morales-Rosales, E. J. (2019). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1875-1886. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n8/2007-0934-remexca-10-08-1875.pdf>
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del-Castillo, F., & Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 381-391. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v37n4/v37n4a11.pdf>
- Ramos-López, B. I., Martínez-Gutiérrez, G. A., Morales, I., Escamiroso-Tinoco, C., & Pérez-Herrera, A. (2017). Consumo de agua y rendimiento de tomate de cáscara bajo diferentes cubiertas de invernaderos. *Horticultura Brasileira*, 35(2), 265-270. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170218>
- Ramos-López, B. I., Ortiz-Hernández, Y. D., & Morales, I. (2018). Yield analysis of *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem varieties under greenhouse and field conditions. *Ciência Rural*, 48(11), 1-8.  
doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180044>
- Reis, L. S., Azevedo, C. A., Albuquerque, A. W., & Junior, J. F. (2013). Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(4), 386-39. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/rZKxNRKvBYjDNfxssShMq6M/?format=pdf&lang=pt>
- Rengifo, E., & Vargas, G. (2014). Usos tradicionales, fitoquímica y farmacología de la bolsa mullaca (*Physalis angulata* L.). *Revista de Fitoterapia*, 14(1), 49-64. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/ibc-125883>
- Restrepo-Díaz, H., Melgar, J. C., & Lombardini, L. (2010). Ecophysiology of horticultural crops: An overview. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 71-79. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180315651008.pdf>
- Rufato, L., Muniz, J., Kretzscmar, A., A., Rufato, A. R., & Gatiboni, L. C. (2012). Aspectos técnicos da cultura da fislis. *Belo Horizonte*, 33(268), 69-83. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/939551>
- Santiaguillo, J. F., & Blas, S. (2009). Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. 2009. *Revista de Geografía Agrícola*, 43, 81-86. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75715608006.pdf>
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2017). Generalidades de la red de tomate de cáscara. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/tomate-de-cascara-physalis-spp>
- Sotelo, E. D., González, A., Cruz, G., Moreno, F., & Cruz, G. (2011). Los suelos del estado de México y su actualización a la base referencial mundial del recurso suelo 2006. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(8), 71-83. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322011000600007](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322011000600007)
- Statistical Analysis System (SAS). (2004). *SAS/STAT 9.1 User's Guide*. SAS Institute Inc.
- Tanny, J. (2012). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>
- Valdivia, L. E., Rodríguez, F. A., Sánchez, J. J., & Vargas-Ponce, O. (2016). Phenology, agronomic and nutritional potential of three wild husk tomato species (*Physalis*, Solanaceae) from Mexico. *Scientia Horticulturae*, 200, 83-94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.005>
- Vargas, O., Martínez, M., & Dávila, A. (2003). *La familia solanacea en Jalisco. El género Physalis*. Coordinación Editorial, Universidad de Guadalajara.

Vargas-Ponce, O., Valdivia-Mares, L. E., & Sánchez-Martínez, J. (2015). Potencial alimenticio de los tomates de cáscara (*Physalis* spp.) de México. *Agroproductividad*, 8(1), 17-23. <https://docplayer.es/98199805-Potencial-alimenticio-de-los-tomates-de-cascara-physalis-spp-de-mexico.html>

Vdovenko, S. A., Polutin, O. O., Muliarchuk, O. I., Hareba, O. V., & Havrysh, I. L. (2021). Peculiarities of tomatillo (*Physalis philadelphica*) field production in Ukraine with the use of different elements of technology. *Research on Crops*, 22(1), 116-128. doi: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.044>

Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P., & Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes de área foliar y rendimiento de seis genotipos de carota. *Agronomía Tropical*, 56(1), 21-42. <http://ve.scielo.org/pdf/at/v56n1/art02.pdf>