



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES DE SEIS GENOTIPOS DE
Physalis BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO INICIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA FITOTECNISTA**

PRESENTA:

BEATRIZ GONZÁLEZ SALGADO

40ª GENERACIÓN

NÚMERO DE CUENTA

(1222261)

MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL

ASESORES:

Dr. EDGAR JESÚS MORALES ROSALES

Dr. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ SANDOVAL

**CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO", EL CERRILO
PIEDRAS BLANCAS, ESTADO DE MÉXICO.**

SEPTIEMBRE DEL 2018.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis asesores los Doctores José Antonio López Sandoval y Edgar Jesús Morales Rosales, unos colosales guías para el asesorado, ya que nunca escatimaron esfuerzo y tiempo para corregir y mejorar este trabajo. Sus valiosos conocimientos siempre al servicio del tesista y sobre todo porque me demostraron en el trayecto de esta tarea que parecía no tener fin, que son grandes profesores y excelentes seres humanos. Gracias profesores por todo el tiempo invertido y sus enseñanzas.

A mis padres: Reymundo y Benita por haberme forjado como la persona que soy, muchos de mis logros se los debo a Ustedes entre los que se incluye este, me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos gracias madre y padre.

A: Jadhel Oscar Olin

La ayuda que me has brindado ha sido sumamente importante, estuviste a mi lado inclusive en los momentos buenos y malos, me has enseñado a ser cada día mejor persona y luchar por lo que quiero; eres motivador y objetivo. Me ayudaste hasta donde te era posible incluso más que eso.

Muchas gracias amor mío

DEDICATORIAS

A Dios por permitirme tener vida, salud, y poder realizar uno más de los sueños, que es ser Ingeniera Agrónoma Fitotecnista

Gracias abuelos: Marcelo (Braulio) +María Concepción, Juan Catarino, Juventina. Más que mis abuelos fueron las personas después de mis padres que más se preocuparon por mi. Sus canas son símbolo de sabiduría. Me inculcaron valores y me enseñaron a ponerlos en práctica y me encaminaron por el buen sendero de la vida

A mis hermanos: Aunque la mayoría de las veces parece que estuviéramos en una batalla, hay momentos en los que la guerra cesa y nos unimos para lograr nuestros objetivos, gracias por no sólo ayudarme en gran manera a concluir el desarrollo de mí carrera, si no por los bonitos momentos que pasamos en el proceso. Muchas Gracias hermanos, Edith, Mary, Gaby, Tere, Edmundo

Gracias a todas aquellas personas que de alguna manera me apoyaron para haber logrado esta etapa de mi carrera, tios, y familia restante.

ÍNDICE

| | Página |
|--------------------------------------|---------------|
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| DEDICATORIAS | iii |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | vii |
| RESUMEN..... | viii |
| ABSTRACT | ix |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 Especies sinantrópicas..... | 3 |
| 2.3 La familia Solanaceae | 6 |
| 2.5 Importancia | 8 |
| 2.6 Taxonomía..... | 11 |
| 2.7 Morfología | 14 |
| 2.8 Reproducción | 16 |
| 2.9 Manejo Agronómico | 17 |
| 2.10 Requerimientos climáticos | 18 |
| 2.11. Desarrollo y crecimiento | 19 |
| 2.12 Hábito de crecimiento | 20 |
| 2.13 Rendimiento y componentes | 20 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 22 |
| 3.1 Sitio del experimento | 22 |

| | |
|---|----|
| 3.2 Descripción del invernadero | 22 |
| 3.3 Material vegetal..... | 23 |
| 3.4 Conducción del experimento..... | 25 |
| 3.5 Tratamientos y diseño experimental | 26 |
| 3.6 Variables de estudio | 26 |
| 3.7 Análisis estadístico..... | 30 |
| 3.7.1 Análisis de varianza y comparación de medias..... | 30 |
| 3.7.2 Regresión lineal..... | 31 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 32 |
| 4.1 Condiciones ambientales..... | 32 |
| 4.2 Análisis de varianza | 33 |
| 4.3 Comparación de medias | 33 |
| 4.4 Regresión lineal..... | 36 |
| VI. LITERATURA CITADA | 39 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Página |
|--|---------------|
| Cuadro 1. Usos de las especies de <i>Physalis</i> en México. | 10 |
| Cuadro 2. Clasificación genérica de <i>Physalis</i> sensu Martínez (1999). | 11 |
| Cuadro 3. Hábitat donde se desarrollan las seis especies de <i>Physalis</i> | 23 |
| Cuadro 4. Nivel de significancia del análisis de varianza y prueba de comparación de medias en longitud de raíz (LR), longitud de tallo (LT), número de frutos (NF), número de semillas (NS), área foliar (AF) y rendimiento de fruto (REND) en seis especies de <i>Physalis</i> bajo condiciones de invernadero. | 34 |
| Cuadro 5. Nivel de significancia del análisis de varianza y prueba de comparación de medias en peso seco de raíz (PSR), peso seco de tallo (PST), peso seco de hojas (PSH), peso seco de fruto (PSF) y peso seco de semilla (PSS) en seis especies de <i>Physalis</i> bajo condiciones de invernadero. | 35 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1. Corola con maculas en <i>Physalis</i> | 16 |
| Figura 2. Fruto envuelto por el cáliz acrescente en <i>Physalis</i> | 16 |
| Figura 3. <i>Physalis ampla</i> | 24 |
| Figura 4. <i>Physalis acutifolia</i> | 24 |
| Figura 5. <i>Physalis microcarpa</i> | 25 |
| Figura 6. Planta completa de <i>Physalis</i> para medir variables morfológicas y fisiológicas | 26 |
| Figura 7. Data logger para toma de temperaturas y humedad relativa | 27 |
| Figura 8. Raíz en planta de <i>Physalis</i> para muestreo de variables morfológicas | 28 |
| Figura 9. Toma de variables morfológicas en planta de <i>Physalis</i> | 28 |
| Figura 10. Toma de la variable longitud de raíz en planta de <i>Physalis</i> | 28 |
| Figura 11. Integrador de área foliar para la toma de la variable área foliar en <i>Physalis</i> .29 | 29 |
| Figura 12. Estufa de secado para la toma de pesos secos en <i>Physalis</i> | 29 |
| Figura 13. Balanza analítica para toma de pesos secos en <i>Physalis</i> | 30 |
| Figura 14. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y humedad relativa durante la estación de crecimiento de seis especies de <i>Physalis</i> | 33 |
| Figura 15. Regresión lineal entre número de frutos y rendimiento de fruto en seis especies de <i>Physalis</i> bajo condiciones de invernadero. | 36 |
| Figura 16. Regresión lineal entre área foliar y rendimiento de fruto en seis especies de <i>Physalis</i> bajo condiciones de invernadero. | 37 |

RESUMEN

Algunas especies de *Physalis* crecen de forma espontánea en campos de cultivo, porque se usan como fuente alimenticia. Una de las prioridades, para el aumento de fuentes alimenticias es que se cultiven especies de este género, para su producción a mayor escala. En el presente estudio se evaluó el rendimiento y sus principales componentes de seis genotipos de *Physalis* bajo condiciones de invernadero. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con cuatro repeticiones; la unidad experimental constó de 20 plantas. Los genotipos evaluados fueron: *P. acutifolia*, *P. ampla*, *P. lagascae*, *P. solanacea*, *P. microcarpa* y *P. sulphurea*. Los datos se procesaron 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 el número de frutos y área foliar, se calculó una regresión lineal simple. Las ecuaciones de regresión $REND = 7.6575 (AF) - 344.14$ ($R^2 = 0.82^{**}$) y $REND = 26.529 (NF) - 325.32$ ($R^2 = 0.77^{**}$) demuestran que el área foliar y el número de frutos afectan positivamente el rendimiento de fruto. Los resultados indican que el mayor rendimiento de *Physalis*, correspondió a *P. solanacea*, ya que presentó los promedios más elevados en todas las variables bajo estudio. Este recurso genético es promisorio y con alto potencial de rendimiento de fruto (468.3 g m^{-2}), que lo hace recomendable para establecerse como cultivo comercial.

Palabras clave: *Physalis solanacea*, área foliar, índice de área foliar, biomasa, componentes de rendimiento.

ABSTRACT

Some *Physalis* species are harvested when they grow spontaneously in crop fields because they are used as a food source. One of the priorities for the increase of food sources is to cultivate these species of this genus, for their production on a larger scale. In the present study, the yield and its main components of six *Physalis* genotypes were evaluated under greenhouse conditions. The experimental design was completely randomized with four repetitions; the experimental unit consisted of 20 plants. The genotypes evaluated were: *P. acutifolia*, *P. ampla*, *P. lagascae*, *P. solanacea*, *P. microcarpa* and *P. sulphurea*. The data were processed with analysis of variance and the means of the treatments were compared with the Tukey test ($P \leq 0.05$). To understand the relationship between fruit yield and number of fruits and leaf area, a simple linear regression was calculated. The regression equations $REND = 7.6575 (AF) - 344.14$ ($R^2 = 0.82^{**}$) and $REND = 26.529 (NF) - 325.32$ ($R^2 = 0.77^{**}$) show that the leaf area and the number of fruits positively affect the yield of fruit. Likewise, the results indicated that the highest yield of *Physalis* corresponded to *P. solanacea*, since it presented the highest averages in all the variables under study. This genetic resource is promising and with high fruit yield potential (468.3 g m^{-2}), which makes it recommendable to establish itself as a commercial crop.

Key words: *Physalis solanacea*, leaf area, leaf area index, biomass, yield components

I. INTRODUCCIÓN

Para satisfacer la demanda de la seguridad alimentaria, la agricultura moderna se basa en la producción comercial de cultivos de alto rendimiento (**Tilman *et al.*, 2002**). Esta agricultura limita la introducción de nuevos cultivos basada en especies autóctonas que no se han mejorado para aumentar su rendimiento.

La domesticación de plantas en el mundo, llevó al cultivo de especies de importancia mundial como el maíz, frijol, arroz, avena y trigo (**Casas *et al.*, 2007; Pickersgill, 2007**). La selección artificial ha llevado también al desarrollo de numerosas especies silvestres que tienen potencial comercial, con diferentes usos, pero que son de bajo nivel económico (**Vargas-Ponce *et al.*, 2016**). El cultivo de estas especies depende de factores relacionados con la calidad, el aumento de la producción, falta de mejoramiento genético y potencial de mercado.

Algunas especies de *Physalis* crecen de forma espontánea en campos de cultivo porque se usan como fuente alimenticia. Una de las prioridades, para el aumento de fuentes alimenticias es que se cultiven especies de este género, para su producción a mayor escala. Los factores que han influido en el desarrollo y domesticación de *Physalis* incluyen el alto porcentaje de germinación de semillas (**Rivera y Garza, 1989; Montes, 1991**) y la simplicidad o rusticidad del sistema de cultivo, que no requiere la entrada 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 (**Martínez, 1998; Santiaguillo y Blas, 2009**). Estos materiales silvestres se recolectan y

se venden como frutas para la elaboración de salsas y en algunos casos se elaboran mermeladas. Los cultivares de *P. philadelphica* Lam. con frutos pequeños que se asemejan a las de las genotipos silvestres también son cultivados (**Mera, 1987; Montes, 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* L. fue identificada como una cultivo alternativo establecido para la producción comercial de sus pequeños frutos (**Sánchez et al., 2006; Vargas-Ponce et al., 2016**).

Por otro lado, el rendimiento es la expresión fenotípica resultante final de procesos fisiológicos que se reflejan en la morfología y en la fisiología de la planta, (**Kohashi-Shibata, 1996**). Se refiere a la cantidad total de materia seca producida por la planta, conocida como biomasa. Para mejorar el rendimiento de los cultivos, es necesario estudiar sus componentes (**Morales-Morales, 2015**). El objetivo del trabajo fue evaluar el rendimiento y principales componentes de seis genotipos de tomates milperos (*Physalis* spp.) bajo condiciones de invernadero; bajo la hipótesis de que existen especies de *Physalis* con mayor capacidad de rendimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Especies sinantrópicas

Los trabajos y publicaciones florísticas avanzan en el conocimiento de las plantas vasculares. En la mayoría de las ocasiones el taxónomo y ecólogo prefieren como objeto de estudio ecosistemas menos dañados y evitan detener su mirada en comunidades que emergen a raíz del deterioro o la modificación de diversos ambientes naturales (ecosistemas antropizados). Cabe reconocer que aún ahí es posible encontrar una relevante proporción de especies (**Villaseñor, 2004**) tanto nativas como introducidas. Las plantas adaptadas a sitios perturbados constituyen entre el 6 y el 10% en la flora en México (**Rzedowski, 1991**).

Un tema poco tratado ha sido el de las malas hierbas, especies silvestres a veces impropias del lugar, a veces pioneras o simplemente adaptadas, que prosperan en un ambiente antropogena. Estas plantas se caracterizan por su capacidad de colonizar, prosperar, competir y persistir en un medio intensamente modificado. En general tienen un crecimiento acelerado y una alta producción de semillas que conservan la capacidad de germinación durante varios años. Tales aptitudes confieren a estas plantas una rápida y eficiente reproducción de modo que cuando las condiciones son favorables, se pueden observar abundantes individuos de una especie (**Villaseñor y Espinosa-García, 1988**).

Bajo el concepto de sinantrópicas se incluye en este trabajo las especies que crecen frecuentemente en tierras de cultivo (también conocidas como arvenses y/o malezas), y

las ruderales, que abarcan las plantas que se encuentran en las orillas de las vías de comunicación (camino, carreteras y vías de tren), alrededor de casas-habitación, en ambientes urbanos y finalmente la especie cultivada como aquella que sufrió un proceso de domesticación (**Villaseñor y Espinosa-García, 1988**).

Los ecosistemas antropizados son, entre otras cosas, laboratorios de la evolución. Con ellos, en los últimos 10,000 años se creó un nuevo tipo de hábitat, que tiene algunas semejanzas ecológicas con ciertos hábitats naturales como orillas de ríos periódicos, pero que tiene características y presiones selectivas propias. Trazar esta evolución de plantas sinantrópicas, especialmente las arvenses - especies especializadas o tolerantes de hábitats especiales creadas por el ser humano - nos puede contestar preguntas generales sobre, por ejemplo, la velocidad de la evolución y adaptación, y también la pregunta: ¿qué características requiere una planta para ser una arvense exitosa? (**Espinosa-García y Sarukhán, 1997**)

Mesoamérica es un centro de origen importante tanto de plantas domesticadas, como de arvenses. Las especies de origen en esta región actualmente son exitosas a nivel mundial, sobre todo en los trópicos del Viejo Mundo, pero, sabemos muy poco sobre su origen filogenético y evolución. Algunos estudios de Europa, enfocados en las especies de aquella región, han mostrado que varias especies arvenses exitosas tienen un origen híbrido simple, o alopoliploide, o sea, que son el resultado del encuentro de especies compatibles sexualmente antes separadas geográficamente, y la selección natural posterior. Entonces, será de interés científico considerable, indagar sobre el origen de las

especies de la región mesoamericana con los métodos clásicos y modernos disponibles actualmente (**Espinosa-García y Sarukhán, 1997**).

Pocos autores se han dedicado al estudio de la evolución de especies sinantrópicas. La mayoría de las especie se desarrollan en ecosistemas antropizados y son a menudo consideradas como arvenses. Algunas de estas especies sinantrópicas tienen distribuciones restringidas y otras distribuciones muy amplias. Varias de sus especies, además, son útiles, como medicinales o alimento (**Villaseñor y Espinosa-García, 1988**).

2.2 Estudios sobre plantas arvenses y ruderales (sinantrópicas)

En México se han elaborado manuales, atlas y catálogos sobre malezas como el de **Villaseñor y Espinosa-García (1988)**. Este catálogo de malezas registra a nivel nacional 2 298 especies, 884 géneros y 150 familias. Además incluyeron una lista de especies para cada entidad federativa. Para el Valle de México, **Espinosa-García y Sarukhán (1997)** publicaron un manual de malezas que contiene claves para identificar y describe a las diásporas, plantas en estado vegetativo y adulto en la Cuenca de México. En la región de Salvatierra, Guanajuato, **Calderón de Rzedowski y Rzedowski (2004)**, presentaron un manual de malezas que incluye 206 especies con fotografía, nombre científico, familia, nombres comunes y descripción morfológica. Para Querétaro, **Suárez-Ramos *et al.* (2004)** elaboraron un atlas de plantas arvenses. Para el Estado de México, se registraron las especies arvenses y ruderales en la Sierra de Alcaparrosa (**Nuñez-Reynoso, 1990**). Un

estudio de la flora y vegetación ruderal de Malinalco menciona la existencia de 442 especies (**Martínez-De la Cruz, 2010**).

Se han hecho estudios sobre florística y ecología en plantas arvenses para México en diferentes cultivos como en maíz (**Azcárraga-Rosette, 1983; Vibrans, 1998; Vieyra-Odilon y Vibrans, 2001; Chávez y Guevara-Féfer, 2003; González-Amaro, 2008**) en caña de azúcar (**Perdomo-Roldan, 2004**) en alfalfa y frijol (**Azcárraga-Rosette, 1983**). Además, **Villaseñor y Espinosa-García (1988)**, citaron las especies de malezas mencionadas en diferentes cultivos y **De la Cerda-Lemus (2002)** investigaron, las arvenses en la agricultura de riego y temporal en Aguascalientes.

2.3 La familia Solanaceae

La sistemática y filogenia de Solanaceae ha sido estudiada por varios autores. Por ejemplo, **Olmstead y Palmer (1991)** indican que la familia es considerada monofilética basada en caracteres morfológicos y moleculares de DNA de cloroplastos. La familia ha sido dividida en dos grandes grupos: Cestroideae presentan cápsula y semillas subglobosas y prismáticas (*Brunfelsia, Petunia, Cestrum* y *Nicotina*) y Solanoideae tienen bayas, cápsulas y semillas discoidales (*Solanum, Capsicum, Lycianthes, Datura, Physalis, Lycium, Atropa* y *Mandragora*) (**Judd et al., 2002**).

En relación con monografías a nivel regional para la familia Solanaceae, existen la flora del Valle de México donde se encontraron 12 géneros y 63 especies (**Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001**).

En la Flora de Veracruz se encontraron 21 géneros y 134 especies (excepto *Solanum*) http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/LISTADO_FLOVER1.htm. Para el Estado de Jalisco, se registraron 35 especies. Cuatro de ellas son endémicas: *Physalis lignenses*, *P. longipedicellata*, *P. longiloba* y *P. tamayoi* (**Cuevas-Arias et al., 2008**).

2.4 El género *Physalis*

El género *Physalis* fue establecido por Linneo (1757), donde menciona la existencia de nueve especies (**Judd et al., 2002**). En la flora del Valle de México se describen 11 especies (**Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001**).

Para la flora de la península de Yucatán se indican 13 especies (http://www.cicy.mx/sitios/Flora%20Digital/indice_busqueda.php). **Martínez (1998)**, en un estudio más detallado de la sección Epeteiorhiza, subgénero Rydbergis mostró que incluye catorce especies que se distribuyen desde el Sur de Canadá hasta Sudamérica.

Recientemente, se han descrito varias nuevas especies para el género *Physalis*, tales son los casos de *Physalis waterfalli*, para los Estados de Jalisco y Michoacán (**Vargas-Ponce et al., 1999**); *Physalis queretaroensis* para Querétaro (**Martínez y Hernández,**

1999); *Physalis longiloba* y *Physalis tamayoi* para el Estado de Jalisco (**Vargas y et al., 2001**).

Existen pocos estudios citogenéticos para el género *Physalis*. Los trabajos de **Menzel (1951)** y **Sudhakaran y Ganapathi (1999)** describen especies con número cromosómico diploide ($2n=24$) y tetraploide ($4n=48$); de éstas últimas se han descrito muy pocas (*P. angulata*, *P. peruviana* y *P. minima*). La identidad diploide ($2n=24$) de *Physalis philadelphica* se mantiene como una interrogante, ya que en el trabajo de **Menzel (1951)**, los resultados fueron dudosos debido a una posible confusión taxonómica con *P. ixocarpa*. Se caracterizó el cariotipo de cinco ecotipos de *Physalis peruviana* L., tres silvestres y dos cultivados. Se encontró variabilidad genética entre los ecotipos evaluados. Los ecotipos silvestres presentaron una dotación cromosómica $2n=24$, el ecotipo Colombia $2n=32$ y el ecotipo Kenia $2n=48$ (**Rodríguez y Bueno, 2006**).

Las relaciones filogenéticas para el género *Physalis* muestran que es un grupo monofilético dentro de la Subtribu Physalinae y que éste junto con otros géneros como *Tzeltalia*, *Leucophysalis* y *Witherigia* son mayormente americanos (**Whitson y Manos, 2005; Olmstead et al., 2008**).

2.5 Importancia

El género *Physalis* pertenece a la familia Solanaceae que incluye especies económicamente importantes como el chile (*Capsicum annum* L.), el jitomate (*Solanum lycopersicum* Mill.), el tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), la papa (*Solanum tuberosum* L.) y el tomate de cáscara (*Physalis* spp.). De este último existen aproximadamente 100 especies, de las cuales más de 50% son endémicas del territorio nacional, por tal razón

México se considera el centro de origen y diversidad del taxón (**D´Arcy 1991; Martínez 1998**).

A pesar de los cambios de hábitos alimenticios en el transcurso y evolución de las generaciones, los frutos de tomate se mantienen en la dieta mexicana como un ingrediente muy popular para la preparación de diversos platillos, principalmente en la elaboración de salsas. El tomate se utiliza también en la agroindustria donde se procesa para su consumo nacional y exportación. Otras cualidades que se le atribuyen a algunas especies de este género son sus propiedades curativas y ornamentales, que son escasamente conocidas y aprovechadas, por lo que resulta importante estudiarlas con el propósito de conocerlas y difundirlas y, rescatar así parte del conocimiento tradicional de los pobladores que hacen uso de estos atributos (**Santiaguillo y Blas, 2009**).

Con base en la información de 19 herbarios de México, **Santiaguillo y Blas (2009)** encontraron que en México las especies del género *Physalis* se utilizan con fines: comestible, industrial, medicinal, trampa vegetal, ornamental, forrajero, como juguete y ceremonial. En estos usos están involucradas 16 diferentes especies y de ellas se utiliza la raíz, tallo, hojas, fruto, cáliz e inclusive la planta entera (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Usos de las especies de *Physalis* en México.

| USO | ESPECIE |
|----------------|---|
| Comestible: | |
| Como Fruta | <i>Physalis gracilis</i> Miers; <i>Physalis cinerascens</i> (Dunal) Hitchc. |
| En salsas | <i>Physalis angulata</i> L., <i>Physalis ixocarpa</i> Brot. (<i>P. philadelphica</i> Lam.), <i>Physalis nicandroides</i> Schltldl, <i>Physalis cinerascens</i> (Dunal) Hitchc, <i>Physalis pubescens</i> L. |
| Quelite | <i>Physalis gracilis</i> Miers, <i>Physalis sancti-josephii</i> Dunal |
| Culinario | <i>Physalis ixocarpa</i> Brot., <i>Physalis coztomatl</i> Mociño & Sessé ex Dunal. |
| No especifico | <i>Physalis greenmannii</i> Waterf., <i>Physalis lagascae</i> Roem. & Schult., <i>Physalis orizabae</i> Dunal. |
| Medicinal | <i>Physalis arborescens</i> L., <i>Physalis chenopodifolia</i> Lam., <i>Physalis cinerascens</i> (Dunal) Hitchc., <i>Physalis gracilis</i> Miers, <i>Physalis hederifolia</i> A. Gray, <i>Physalis ixocarpa</i> Brot., <i>Physalis nicandroides</i> Schltldl., <i>Physalis orizabae</i> Dunal, <i>Physalis patula</i> Mill., <i>Physalis sancti-josephii</i> Dunal, <i>Physalis pubescens</i> L., |
| Industrial | <i>Physalis cinerascens</i> (Dunal) Hitchc. |
| Trampa vegetal | <i>Physalis nicandroides</i> Schltldl. |
| Ornamental | <i>Physalis gracilis</i> Miers |
| Juguete | <i>Physalis cordata</i> Mill. |
| Forrajera | <i>Physalis sancti-josephii</i> Dunal |
| Ceremonial | <i>Physalis nicandroides</i> Schltldl., <i>P. pruinosa</i> L. |

2.6 Taxonomía

El género *Physalis* se encuentra dentro de la familia Solanaceae, Subfamilia Solanoideae, Tribu Physaleae, Subtribu Physalinae (D'Arcy, 1991). La clasificación infragenérica más reciente (Martínez, 2000) considera la existencia de 4 subgéneros: *Physalis*, *Physalodendron*, *Quincula* y *Rydbergis*. Este último subgénero reúne un poco más de 60 especies, mientras que los otros subgéneros incluyen 1 o 2 especies únicamente. Las especies objeto de esta investigación se incluyen el subgénero *Rydbergis*.

El género *Physalis* tiene una clasificación infragenérica sensu Martínez (1999) donde el género se divide en 4 subgéneros y 12 secciones. En esta clasificación se usan caracteres morfológicos tales como tricomas (Cuadro 2) (Whitson y Manos, 2005).

Cuadro 2. Clasificación genérica de *Physalis* sensu Martínez (1999).

| Subgénero y sección | Especies | Nativa a: |
|--|----------|--|
| Physalis subgénero Physalis <i>Physalis alkenkegi</i> | 1 | China (y posiblemente Europa) |
| Physalis subgénero Physalodendron <i>P. arborescens</i> , <i>P. melanocystis</i> | 2 | Sur de México y América Central |
| Physalis subgénero Quincula <i>P. lobata</i> | 1 | Suroeste de Estados Unidos y Norte de México |
| Physalis subgénero Rydbergis | 60 | Nuevo mundo comunmente México |
| Sección Angulatae | 10 | Desde Estados Unidos a América Central |
| Sección Campanulae | 2 | México |
| Sección Carpenterianae | 1 | Sureste de Estados Unidos |
| Sección Coztomatae | 11 | México |
| Sección Epeteiorhiza | 14 | Estados Unidos a América Central |
| Sección Lanceolatae | 14 | Estados Unidos y México |
| Sección Rydbergae | 2 | México |
| Sección Viscosae | 6 | Estados Unidos a Sudamérica |
| Sección Tehuacanae | 1 | México |

El género *Physalis* se ubica en la subfamilia Solanoideae y en la tribu Solanae. Es reconocido por su cáliz acrescente en el fruto, aunque otros géneros tienen esta característica (*Chamaesaracha*, *Leucophysalis*, *Deprea* y *Larnax*) pero difieren en la forma de la corola, hábito o detalles de la inflorescencia. El género es considerado como cosmopolita aunque es nativo a América. Su centro de diversidad es México con 70 especies, muchas de las cuales son endémicas. Algunas especies han sido cultivadas: en México *Physalis philadelphica* Lam., en los Andes *Physalis peruviana* L. y en los Estados Unidos *Physalis grisea* (Waterf.) Martínez. En China *Physalis alkekengi* L. es usada como ornamental y medicinal (Martínez, 1988). En el Cuadro 1 se observan el número de especies por género, subgénero y sección de *Physalis* en diferentes regiones de México y el mundo.

Para el Estado de Jalisco, se registraron 35 especies (**Cuadro 2**). Cuatro de ellas son endémicas: *Physalis lignenses*, *P. longipedicellata*, *P. longiloba* y *P. tamayoi* (**Vargas et al., 2008**). Así mismo en un estudio de diversidad de la familia Solanaceae para el Estado de Jalisco se menciona la existencia de 35 especies para el género *Physalis* y todas las 8 para la sección Angulatae (*Physalis acutifolia* (Miers) Sandwith, *Physalis ampla* Waterf., *Physalis angulata* L., *Physalis lagascae* Roem. & Schult., *Physalis microcarpa* Urb. & Ekman, *Physalis philadelphica* Lam., *Physalis solanacea* (Schltdl.) Axelius, *Physalis sulphurea* (Fernald) Waterf.) (**Cuevas-Arias et al., 2008**).

Recientemente, se han descrito varias especies nuevas para el género *Physalis*, tales son los casos de *Physalis waterfalli*, para los Estados de Jalisco y Michoacán (**Vargas-Ponce et al., 1999**); *Physalis queretaroensis* para Querétaro (**Martínez y Hernández,**

1999); *Physalis longiloba* y *Physalis tamayoi* para el Estado de Jalisco (**Vargas et al., 2001**).

Existen pocos estudios citogenéticos para el género *Physalis*. Los trabajos de **Menzel (1951)** y **Sudhakaran y Ganapathi (1999)** describen especies con número cromosómico diploide ($2n=24$) y tetraploide ($4n=48$); de éstas últimas se han descrito muy pocas (*P. angulata*, *P. peruviana* y *P. minima*). Se caracterizó el cariotipo de cinco ecotipos de *Physalis peruviana* L., tres silvestres y dos cultivados. Se encontró variabilidad genética entre los ecotipos evaluados. Los ecotipos silvestres presentaron una dotación cromosómica $2n=24$, el ecotipo Colombia $2n=32$ y el ecotipo Kenia $2n=48$ (**Rodríguez y Bueno, 2006**).

La sistemática y filogenia de Solanaceae ha sido estudiada por varios autores. Por ejemplo, **Olmstead y Palmer (1991)** indican que la familia es considerada monofilética basada en caracteres morfológicos y moleculares de DNA de cloroplastos. La familia ha sido dividida en dos grupos: Cestroideae que presentan cápsula y semillas subglobosas y prismáticas (*Brunfelsia*, *Petunia*, *Cestrum* y *Nicotina*) y Solanoideae que tienen bayas, cápsulas y semillas discoidales (*Solanum*, *Capsicum*, *Lycianthes*, *Datura*, *Physalis*, *Lycium*, *Atropa* y *Mandragora*) (**Judd et al., 2002**).

La diversidad floral y de frutos ha sido ampliamente estudiada, las diferencias en la arquitectura empieza a ser aparente después de la polinización/fertilización. El cáliz de *Solanum tuberosum* permanece pequeño durante el desarrollo del fruto y los cálices de

Physalis crecen y encapsulan a la baya madura; esto se conoce como Síndrome del cáliz inflado. Se encontró una influencia de hormonas como citoquininas y giberelinas en especies del género *Physalis* pero no de otras especies de los géneros: *Capsicum*, *Lycianthes* y *Tubocapsicum*, *Witheringia* y *Vassobia* (Sullivan, 1991).

Las relaciones filogenéticas para el género *Physalis* muestran que es un grupo monofilético dentro de la Subtribu Physalinae, y que éste junto con los géneros como *Tzeltalia*, *Leucophysalis* y *Witherigia* son mayormente americanos (Whitson y Manos, 2005; Olmstead *et al.*, 2008). La hibridación entre especies de *Physalis* ha sido planteada por varios autores, pero casos documentados en campo son raros. Existe evidencia de hibridación exitosa dentro de las especies de *Physalis* en cruces artificiales (Whitson y Manos, 2005).

2.7 Morfología

Las especies de *Physalis* son plantas son **anuales o perennes**, herbáceas, algunas sufrutescentes, raramente arbustivas, de unos pocos centímetros a 3 m de alto, erectas, procumbentes, postradas o extendidas. Presentan estructuras rizomatosas en algunas especies. Las especies son glabras o pubescentes, los tricomas largos o cortos, simples a ramificados o estrellados, a veces glandulares, frecuentemente más de un tipo entre mezclados en la misma planta, por lo común víscidas y con olor fétido. Los **tallos** presentan ramificación dicotómica; son cilíndricos, lisos, poco angulados; en algunas especies llegan a enraizar en los nudos basales. **Hojas** pecioladas, alternas, solitarias, pero a veces dos o aún tres aparentemente juntas debido a la reducción de los entrenudos, láminas foliares generalmente ovadas, en ocasiones orbicular lanceoladas o linear

lanceoladas, el margen entero repando, sinuado, aserrado o dentado. **Flores** pediceladas generalmente solitarias en las axilas de las hojas, a veces varias y fasciculadas, raramente en falsos racimos. Las **corolas** son por lo general campanulado-rotáceas, con el limbo más o menos reflejo, raramente tubular expandidas, urceoladas; de color amarillo, amarillo verdoso o amarillo crema, blanco o púrpura, con cinco máculas contrastantes ubicadas por encima del cuello de la corola, sólidas, o cada una formada por varios puntos separados; el color varía de color café rojizo, púrpura a guinda, a veces el color de las manchas no contrasta fuertemente con la corola observándose de color amarillo, verde-amarillento, verde-oliváceo, con tonalidades rosadas o escasamente bien ausentes; presentan cinco **estambres**, anteras con dehiscencia longitudinal, oblongas a linear-oblongas a ovadas, púrpuras, azules, azul-verdosas, azules con una línea amarilla o amarillas, filamentos filiformes; ovario con un estilo filiforme, estigma claviforme, algunas veces capitado. El **cáliz** en el fruto es acrescente, inflado vesicular, cubre por completo a la baya durante la fructificación, 5-angulado o 10-costillado, con cinco ángulos más prominentes o cilíndrico, de 0.80 a 6 cm de largo, en la mayoría de las especies de 1-2.5 cm de ancho; lóbulos del cáliz ovados, lanceolados, deltoides o angostamente triangulares, el ápice agudo, corto acuminado, subulado o caudado subulado. El **fruto** es una baya, de color blanquecino, verde, amarillo, anaranjado o púrpura, de 0.8-1.5 cm de diámetro en especies silvestres y hasta 6 cm en el tomate cultivado; **semillas** numerosas, reniformes, amarillas o de color café dorado, de 1.2 a 2 mm de diámetro (Vargas *et al.*, 2003; y Santiaguillo *et al.*, 2009).



Figura 1. Corola con maculas en *Physalis*



Figura 2. Fruto envuelto por el cáliz acrescente en *Physalis*

2.8 Reproducción

Las flores de las plantas del género *Physalis* son perfectas, poseen androceo y gineceo. El sistema reproductivo para algunas especies es por autofecundación como en

P. pubescens L., *P. angulata* L. y *P. pruinosa* Mill., mientras que para otras se requiere la reproducción cruzada como en *P. philadelphica*. No obstante, se desconoce el mecanismo reproductivo de numerosas especies y la existencia de sistemas mixtos de reproducción en el género, aspectos que ameritan investigación para su esclarecimiento. *P. philadelphica* presenta autoincompatibilidad producida por dos series alélicas, debido a que la fecundación es infértil cuando uno o más alelos entran en homocigosis (**Pandey, 1957**). Esta situación la convierte en una especie alógama obligada. La polinización natural es llevada a cabo por insectos, principalmente abejas, aunque también hay un cierto grado de polinización anemófila (**Pérez et al., 1998**). El desarrollo de los frutos (comúnmente llamado “cuajado”) inicia a los 35 días después de la siembra y a los 42 días se inicia el crecimiento del cáliz. Del cuajado de los frutos a la maduración transcurren de 20 a 22 días. Del total de flores que tiene una planta sólo el 40% son fecundadas, de éstas un 30 % aproximadamente llegan a cosecharse en su madurez. La producción comercial de una planta se obtiene generalmente entre los cuatro y siete primeros entrenudos, lográndose en ocasiones hasta el décimo.

2.9 Manejo Agronómico

Las prácticas agronómicas del cultivo fueron tomadas de **Aguilar (2009)**:

Preparación de terreno: El lote donde se produce, debe ser plano, nivelado, para evitar inundaciones. La preparación consiste, en barbecho a una profundidad de 30 cm, se recomienda el paso de dos rastras para asegurar que las macroestructuras sean removidas,

trituras y convertirlas a microestructuras. La preparación del suelo concluye con el surcado que varía según el cultivar y el sistema de siembra.

Densidad de siembra: Para la producción comercial, el mejor ancho de la cama de siembra es de 1 m y la distancia entre plantas de 50 cm. También es recomendable usar camas de siembra de 1.4 m de ancho y 60 cm entre plantas.

Métodos de siembra: La siembra puede ser directa o mediante trasplante. El sistema de siembra más utilizado es el de trasplante, las plantas provenientes de siembra directa son más vigorosas, aunque se requiere de mayor cantidad de semilla, lo que hace difícil este método de siembra. Cuando la siembra es directa, existen problemas de germinación, para éste sistema se requieren de 2 a 3 kilogramos de semilla por hectárea, depositando de 5 a 10 semillas por mata. En condiciones de trasplante, se utilizan plántulas con dos hojas verdaderas completamente expandidas.

Fertilización: El cultivo requiere de 120 a 240 kilogramos de nitrógeno; de 60 a 150 de fósforo y de 50 a 100 kg de potasio por hectárea, dependiendo del análisis de suelo. Se han realizado aplicaciones con fertilizantes foliares en dos momentos, la primera a los 15 días después del trasplante, agregando 50% de nitrógeno, todo el fósforo y potasio y la segunda al inicio de la fructificación.

Escardas y aporques: El objetivo de esta práctica es levantar el “surco”, eliminar maleza y evitar problemas de exceso de humedad.

2.10 Requerimientos climáticos

Los requerimientos climáticos según **Aguilar(2009)** son:

Temperatura: La temperatura óptima promedio que demanda el cultivo es de 20 a 22 °C; con temperaturas de 30 °C el crecimiento disminuye y después de los 40, puede cesar. En la floración temperaturas de 30 a 32 °C o mayores pueden provocar deshidratación del tubo polínico, teniéndose en consecuencia una fertilización incompleta y frutos malformados.

Humedad: Las etapas críticas son: germinación, emergencia, trasplante y floración. Es necesario que el suelo tenga al menos 60 % de humedad de la capacidad de campo. En condiciones de sequía, el tomate adelanta la floración y acelera la maduración de frutos, siendo menos y más pequeños, algunos presentan sabor ácido.

Luminosidad: Este elemento del clima, promueve la apertura de estomas, estimulando la fotosíntesis, además ayuda en las relaciones hídricas de la planta, permitiendo la translocación de sales minerales y fotoasimilados. Es necesario una buena luminosidad para el buen desarrollo del cultivo.

2.11. Desarrollo y crecimiento

Según **Aguilar (2009)**, la planta de tomate de cáscara tiene un ciclo de vida de 85 a 90 días, desde la siembra a la senescencia; una vez que emerge la plántula, inicia un crecimiento lento, aproximadamente 1 cm por día; posteriormente, como a los 24 días el crecimiento se acelera y se estabiliza como a los 56 días, que es cuando alcanza una altura de 90 cm aproximadamente; la planta sigue creciendo lentamente y puede alcanzar más de 1 m, esto sucede como a los 70 días, después la planta empieza a envejecer rápidamente hasta su muerte.

2.12 Hábito de crecimiento

Hábito erecto: Se identifica por su aspecto arbustivo que presenta la planta, originado por un crecimiento casi vertical de los tallos y la desventaja que presenta es que se doblan con el peso de los frutos. En algunos casos, es recomendable tutorar a la planta para evitar su caída.

Hábito rastrero: Se caracteriza porque generalmente crece en forma erecta solo hasta 40 cm y conforme se desarrolla la planta, los tallos se extienden sobre la superficie del suelo hasta un metro del tallo principal.

Hábito semirastrero: Presenta claras diferencias con características intermedias de los dos tipos anteriores: no es tan ramificado como el rastrero, pero si con más ramificaciones laterales que el tipo erecto. Su altura es mayor de 30 cm, pero menor de 80 cm (Aguilar, 2009).

2.13 Rendimiento y componentes

El rendimiento de un cultivo está determinado por la capacidad de acumular materia seca o fresca en los órganos destinados a la cosecha (Morales-Morales *et al.*, 2015). 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).

Para poder analizar el rendimiento de una planta es necesario el estudio del rendimiento y sus componentes. En tomate, los componentes de rendimiento son, número de frutos por planta y peso de fruto. El número de frutos por planta está determinado por

el número de flores que son fecundadas y alcanzan a desarrollarse en fruto. Así, dichos componentes de rendimiento que involucra procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo, está fuertemente influenciado por la relación fuente demanda en diferentes fases del ciclo de vida de la planta. El peso del fruto, a su vez está determinado por la relación entre la potencia de la fuente y la potencia de la demanda durante el periodo de crecimiento del fruto. Esta relación determinará la máxima cantidad de asimilados que producirá la fuente y que aceptará la demanda, y que se puede traducir en una tasa de absorción o incorporación de asimilados por unidad de peso del tejido-demanda, más las pérdidas por respiración (**Wereing y Patrick, 1975**). **Moreno et al. (2005)** confirmaron que el número y peso de frutos en tomate son los principales componentes de rendimiento.

Mundo (2009) en un estudio donde estimaron los coeficientes de sendero en tomate de cáscara encontraron que el rendimiento de fruto se correlacionó positiva y significativamente con el número de frutos cosechados, peso promedio de fruto, diámetro polar y diámetro ecuatorial.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio del experimento

El experimento se efectuó de septiembre a diciembre del 2016 en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el Cerrillo Piedras Blancas en el municipio de Toluca, México a 18 km al Norte de la Capital del Estado de México, con coordenadas 19° 17' Latitud Norte y 99° 39' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, y a una altitud de 2 675 msnm. El clima predominante es C(w2)(w)b(i), que de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, corresponde al clima templado subhúmedo con lluvias en verano y poca oscilación térmica. La temperatura media anual es de 14°C, con una precipitación media anual de 900 mm. El tipo de suelo es vertisol pélico de origen volcánico, con bajos contenidos de nitrógeno, materia orgánica y pH de 5.2 (García, 2005).

3.2 Descripción del invernadero

El invernadero utilizado en el experimento, tiene un diseño tipo capilla con monitor o ventana cenital en la parte superior de la estructura y techo en forma de arco; las paredes están cubiertas de malla antiáfidos de nylon color blanco; el techo está cubierto de plástico transparente con revestimiento para el filtraje de las radiaciones ultravioleta. El piso es de tierra y las dimensiones del invernadero son de 10 metros de ancho por 48 metros de largo, con una apertura cenital de 1 metro de ancho, una altura de pared de 5 metros y una altura total de 7 metros.

3.3 Material vegetal

Se obtuvo semilla de seis especies de *Physalis*, sección *Angulatae* a partir de su colecta 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 (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Hábitat donde se desarrollan las seis especies de *Physalis*.

| Especie | Ejemplar de respaldo de herbario o semilla | Estado | Municipio | Hábitat | Altitud (msnm) |
|---|--|-----------------|-------------|-------------------------|----------------|
| <i>P. acutifolia</i> (Miers) Sandwith (Figura 4) | OVP s/n ^t | Baja California | Mexicali | Lugar abierto y soleado | 8 |
| <i>P. ampla</i> Waterf. (Figura 3) | JALS 1033 ^t | Jalisco | Tlaquepaque | Lugar abierto y soleado | 1795 |
| <i>P. lagascae</i> Roem. & Schult. | JALS 1043 ^t | Jalisco | Teocaltiche | Ladera | 1900 |
| <i>P. microcarpa</i> Urb. & Ekman (Figura 5) | JALS 1045 ^t | Jalisco | Tlaquepaque | Lugar abierto y soleado | 1795 |
| <i>P. solanacea</i> (Schltdl.) Axelius | JS310 ^t | Jalisco | Techaluta | Lugar abierto y soleado | 1340 |
| <i>P. sulphurea</i> (Fernald) Waterf. | JS19 ^t | Jalisco | Tizapan | Lugar abierto y soleado | 1490 |

^t 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; ^{tt} Herbario Eizi Matuda de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (COTECOCA).



Figura 3. *Physalis ampla*



Figura 4. *Physalis acutifolia*



Figura 5. *Physalis microcarpa*

3.4 Conducción del experimento

El estudio se efectuó bajo condiciones de invernadero. Las seis especies evaluadas se sembraron en almácigos (**Figura 6**) y se trasplantaron cuando la plántula tuvo la segunda hoja verdadera totalmente expandida. Se emplearon bolsas de plástico para el trasplante, utilizando como sustrato turba y perlita grado hortícola (70 y 30 % respectivamente). La fertilización se realizó a los 25 días después del trasplante con 100 kg N ha⁻¹, 100 kg P₂O ha⁻¹ y 100 kg K₂O ha⁻¹, suministrando urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio, respectivamente. El control de maleza fue manual y no se aplicaron insecticidas, ni fungicidas. El cultivo se manejó bajo condiciones de riego.



Figura 6. Planta completa de *Physalis* para medir variables morfológicas y fisiológicas

3.5 Tratamientos y diseño experimental

Los seis tratamientos fueron evaluados en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones; la unidad experimental constó de 20 plantas.

3.6 Variables de estudio

Las variables morfológicas (**Figura 8, 9 y 10**) que se estimaron fueron: *longitud de raíz* y *tallo* de cuatro plantas con competencia completa, se midió esta característica con una regla y se expresó en cm; *número de frutos*, *semilla*, se contaron el número de frutos y semillas. La materia seca de *raíz*, *tallo*, *hoja*, *frutos* y *semillas*, se estimó una vez que las

bolsas con el material vegetal se sometieron a una temperatura de 80 °C en una estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante (**Figura 12**). Las muestras se pesaron con una balanza analítica (**Figura 13**) y este valor se expresó en gramos. Paralelamente, se calculó el área foliar de las hojas verdes completamente expandidas (sin considerar peciolo) con un integrador de área foliar marca LI-COR 3100, se determinó el promedio y se expresó en dm² (**Figura 11**).

A la cosecha, de cinco plantas se estimó el rendimiento, pesando el fruto fresco, expresándose en gramos

La temperatura máxima y mínima en grados Celsius (°C) y la humedad relativa en porcentaje, se tomaron diariamente con data logger (**Figura 7**) a las 7:30 de la mañana con un higrómetro digital.



Figura 7. Data logger para toma de temperaturas y humedad relativa



Figura 8. Raíz en planta de *Physalis* para muestreo de variables morfológicas



Figura 9. Toma de variables morfológicas en planta de *Physalis*



Figura 10. Toma de la variable longitud de raíz en planta de *Physalis*

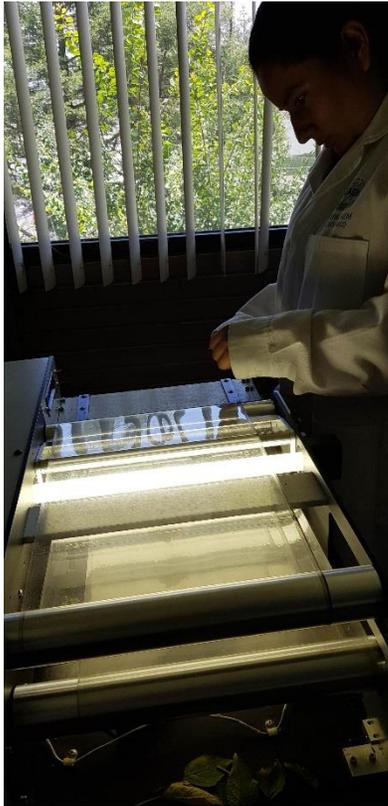


Figura 11. Integrador de área foliar para la toma de la variable área foliar en *Physalis*.

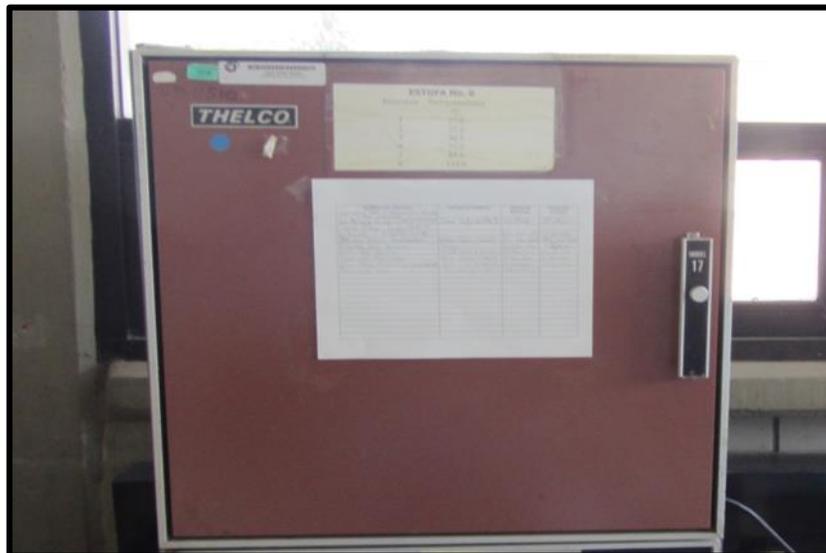


Figura 12. Estufa de secado para la toma de pesos secos en *Physalis*.



Figura 13. Balanza analítica para toma de pesos secos en *Physalis*.

3.7 Análisis estadístico

3.7.1 Análisis de varianza y comparación de medias

Las variables bajo estudio se analizaron bajo la técnica estadística del análisis de varianza (ANAVA); cuando las pruebas de F fueron significativas se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

3.7.2 Regresión lineal

Para explicar la relación causa-efecto entre el rendimiento y área foliar; y rendimiento y número de frutos, se estimaron rectas de regresión, ecuación y coeficiente de determinación mediante el programa **SAS, 2004**. Se eligieron estas regresiones porque estas variables explican el rendimiento de este cultivo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condiciones ambientales

La **Figura 14** presenta los datos de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) en promedio decenal y humedad relativa (HR) durante la estación de crecimiento del cultivo. El promedio decenal de Tmax en el ciclo de cultivo osciló entre 25 y 44 ° C y la Tmin entre 6 y 14 ° C. La HR osciló entre el 35 y 65%. En este sentido, la polinización requiere que la humedad relativa se ubique en un nivel óptimo, el cual fluctúa de especie a especie. Por ejemplo en el caso del cultivo de tomate, la humedad relativa óptima es de 70%, si la humedad es mayor el polen se aglomera y no viaja de la antera (parte del órgano masculino de la flor) al estigma (parte del órgano femenino de la flor); si la humedad es menor el polen no se adhiere al estigma (órgano femenino). En los invernaderos se requiere hacer polinización manual o con insectos para el caso de *P. philadelphica* es muy importante estar atentos a la humedad relativa y hacer la polinización manual sólo a la hora en que la humedad sea cercana al 70% (http://www.agro-tecnologia-tropical.com/la_humedad.html). Es notable destacar, que al inicio de la polinización, la HR estuvo en 65%. El estatus hídrico de las plantas fue satisfactorio ya que fueron regadas hasta mantenerlas a capacidad de campo. Las seis especies de *Physalis* en esta investigación resultaron ser autogamas.

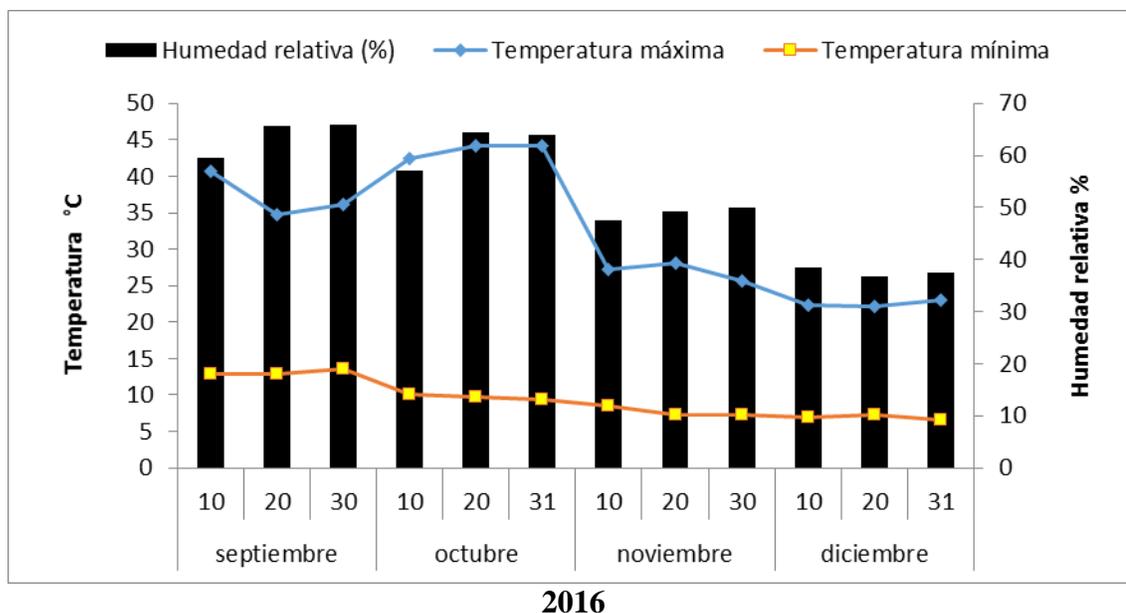


Figura 14. Temperatura máxima, mínima (media decenal) y humedad relativa durante la estación de crecimiento de seis especies de *Physalis*.

4.2 Análisis de varianza

En los **Cuadros 4 y 5** se observa que hubo diferencias altamente significativas entre las variables evaluadas. Los coeficientes de variación fueron bajos y oscilaron de 1.68 a 5.90 para peso seco de tallo y rendimiento de fruto.

4.3 Comparación de medias

Physalis solanacea tuvo los promedios más elevados en los rasgos evaluados, mientras que *P. microcarpa* presentó las cantidades inferiores en las características bajo estudio. En *P. solanacea* el número de frutos y el área foliar contribuyeron a una mayor expresión del rendimiento (**Cuadro 4**), resultados similares fueron presentados por **López-Sandoval et al. (2018)** en un experimento donde midieron la tasa de asimilación

neta y rendimiento de *Physalis* en dos localidades del Estado de México. En dicho ensayo, este genotipo mostró mejor rendimiento con relación a los materiales evaluados aquí probados. Sin embargo, en esa investigación, *P. solanacea* tuvo menor producción de fruto respecto a *P. philadelphica* y *P. angulata*, lo cual se debe a su producción, calidad y potencial de mercado y han sido seleccionados para cultivarse comercialmente. En este sentido, **Vargas-Ponce et al. (2016)** indican que estos dos materiales ya han sido evaluados y cultivados en México.

Cuadro 4. Nivel de significancia del análisis de varianza y prueba de comparación de medias en longitud de raíz (LR), longitud de tallo (LT), número de frutos (NF), número de semillas (NS), área foliar (AF) y rendimiento de fruto (REND) en seis especies de *Physalis* bajo condiciones de invernadero.

| Genotipo | LR (cm) | LT (cm) | NF | NS | AF (dm²) | REND (g m⁻²) |
|----------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|--------------------------------|------------------------------------|
| Tratamiento | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| <i>P. acutifolia</i> | 72.0b | 72.4b | 135.0b | 59.0b | 95.5b | 385.0b |
| <i>P. ampla</i> | 72.6b | 72.4b | 134.8b | 58.8b | 92.2b | 381.3b |
| <i>P. lagascae</i> | 73.0b | 72.0b | 134.6 | 59.0b | 94.0b | 387.5b |
| <i>P. solanacea</i> | 77.0a | 77.0a | 143.0a | 67.0a | 105.4a | 468.3a |
| <i>P. microcarpa</i> | 66.2c | 67.0c | 127.0c | 46.2c | 87.0c | 273.8c |
| <i>P. sulphurea</i> | 72.0b | 72.6b | 136.2b | 60.0b | 95.4b | 388.8b |
| Tukey | 2.31 | 2.42 | 3.76 | 3.81 | 3.81 | 51.4 |
| CV (%) | 2.42 | 2.54 | 1.88 | 3.04 | 3.04 | 5.90 |

***Nivel de significancia $P \leq 0.001$. Medias con letras iguales en columnas, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La biomasa (materia seca) que mostró *P. solanacea* en los caracteres peso seco de raíz, tallo, hoja, fruto y semilla contribuyeron a una mayor expresión en la producción de fruto de este material. **Morales-Morales *et al.* (2015)** afirman que el rendimiento está determinado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos destinados a la cosecha.

Cuadro 5. Nivel de significancia del análisis de varianza y prueba de comparación de medias en peso seco de raíz (PSR), peso seco de tallo (PST), peso seco de hojas (PSH), peso seco de fruto (PSF) y peso seco de semilla (PSS) en seis especies de *Physalis* bajo condiciones de invernadero.

| Genotipo | PSR (g) | PST (g) | PSH (g) | PSF (g) | PSS (g) |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Tratamiento | *** | *** | *** | *** | *** |
| <i>P. acutifolia</i> | 0.676b | 2.048b | 1.208 ^a | 0.920b | 0.067b |
| <i>P. ampla</i> | 0.682b | 2.044b | 1.174b | 0.922b | 0.067b |
| <i>P. lagascae</i> | 0.676b | 2.052b | 1.163b | 0.924b | 0.067b |
| <i>P. solanacea</i> | 0.774a | 2.140 ^a | 1.252 ^a | 0.970a | 0.770a |
| <i>P. microcarpa</i> | 0.576c | 1.868c | 1.087c | 0.870c | 0.470c |
| <i>P. sulphurea</i> | 0.678b | 2.056b | 1.168b | 0.922b | 0.670b |
| DMS _{0.05} | 0.023 | 0.045 | 0.054 | 0.023 | 0.022 |
| CV (%) | 2.51 | 1.68 | 3.48 | 1.87 | 2.53 |

***Nivel de significancia $P \leq 0.001$. Medias con letras iguales en columnas, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

4.4 Regresión lineal

Las **Figuras 15 y 16** muestran la relación lineal entre el número de frutos y el área foliar y el rendimiento de fruto. Los coeficientes de determinación 0.77** (NF) y 0.82** (AF) fueron altamente significativos. Es decir, el modelo explicó el 77 y 82% de la variación de los datos. En la **Figura 3** se observa claramente que a mayor número de frutos el rendimiento se incrementó significativamente. Lo anterior coincide con lo reportado por **Peña-Lomelí *et al.* (2008)**, quienes afirman que en tomate de cáscara, el número y peso de frutos en el primer corte, y frutos totales por planta fueron los principales componentes del rendimiento total.

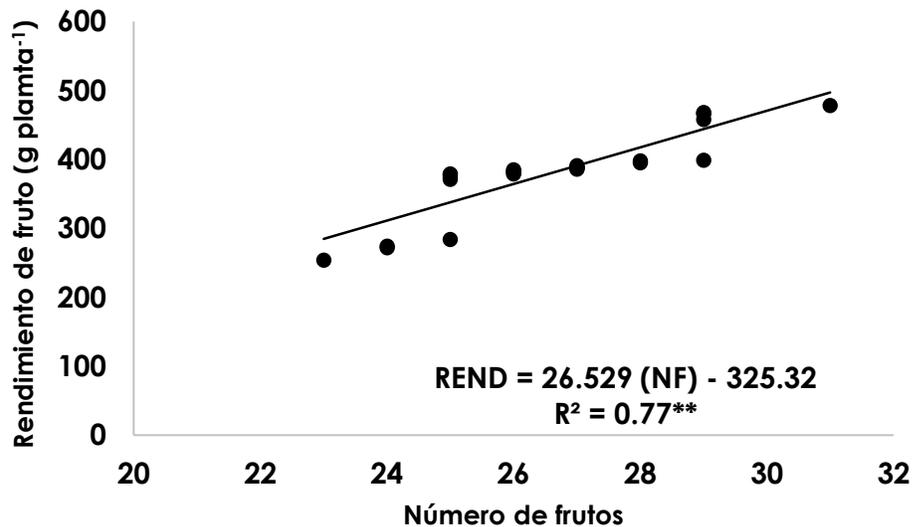


Figura 15. Regresión lineal entre número de frutos y rendimiento de fruto en seis especies de *Physalis* bajo condiciones de invernadero.

Respecto al área foliar, la ecuación de regresión fue $REND = 7.6272 (AF) - 314.14$; lo que indica que por cada unidad de aumento en el área foliar el rendimiento de fruto se

incrementó en 7.65 g. Resultados parcialmente semejantes, encontraron **Mendoza-Pérez et al. (2017)** al estimar el índice de área foliar de chile poblano cultivado en invernadero usando el Ceptómetro. Éste índice se relacionó positivamente con el rendimiento, ya que al incrementar el número de tallos por planta se aumentó la cantidad de radiación fotosintéticamente interceptada en el follaje; por lo tanto, la planta incrementa su capacidad fotosintética e incrementar su producción.

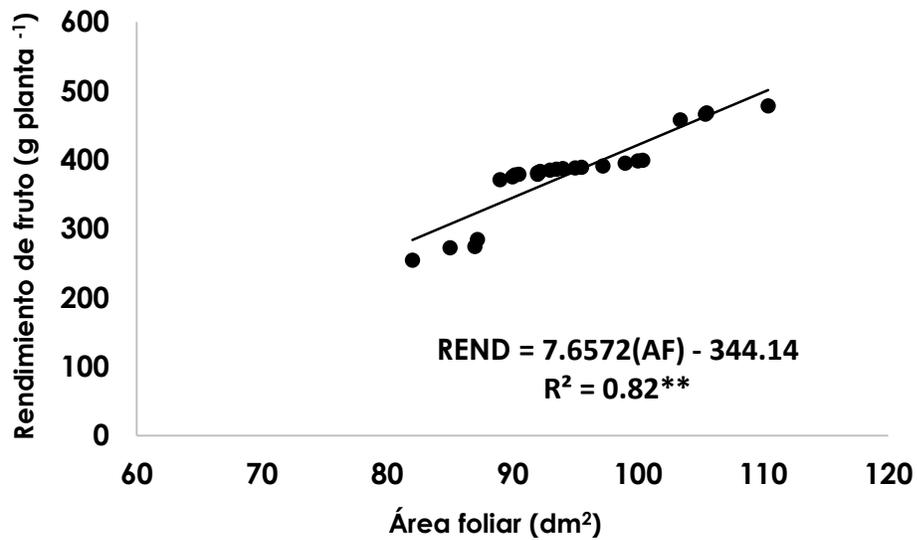


Figura 16. Regresión lineal entre área foliar y rendimiento de fruto en seis especies de *Physalis* bajo condiciones de invernadero.

V. CONCLUSIONES

Los genotipos evaluados respondieron de manera diferente cultivados bajo condiciones de invernadero. *Physalis solanacea*, presentó los promedios más elevados en todas las características bajo estudio, El número de frutos y el área foliar afectaron positivamente el rendimiento de fruto de este material, por lo que *Physalis solanacea* es un recurso genético promisorio, con alto potencial de rendimiento de fruto y recomendable para establecerse como un cultivo comercial.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguilar, R. M. A. (2009).** Calidad de fruto en tetraploides de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 37 p.
- Bueno, M. L. (2001).** Mitosis y meiosis en células vegetales. Guías de laboratorio de genética II. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Calderón de Rzedowski G. y Rzedowski, J. (2001).** Flora fanerogámica del Valle de México. 2da. Ed. Instituto de Ecología, A. C México, D.F. 1406 pp.
- Calderón de Rzedowski G. y Rzedowski, J. (2004).** Manual de malezas de la región de Salvatierra, Guanajuato. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XX. Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío, Patzcuaro, Michoacán. 315 pp.
- Casas A., J. Cruse, A. Otero, E. Pérez and Valiente A. (2007).** In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100:1101–1115.
- Casierra- Posada F., M. Cardozo y Cárdenas J. (2007).** Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana*: 25 (2): 299-305.
- Chávez, C. Ma. A. y F. Guevara-Féfer. (2003).** Flora arvense asociada al cultivo de maíz de temporal en el valle de Morelia, Michoacán, México. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XIX. Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío, Patzcuaro, Michoacán. 23 pp.
- Cuevas-Arias, C. T., O. Vargas, y A. Rodríguez. (2008).** Solanaceae diversity in the state of Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*: 79 (1): 67-69.
- D'Arcy, W. G. (1991).** The Solanaceae since 1976, with Review of its Biogeography. In: J. G. Hawkes, R.N. Lester, M. Nee y N. Estrada (Eds) Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry and Evolution. Royal Botanical Garden, Kew. Gran Bretaña. pp. 75-138.
- De La Cerda-Lemus. (2002).** Malezas de Aguascalientes. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 173 pp.
- Espinosa-García, F. J. y J. Sarukhán. (1997).** Manual de malezas del Valle de México. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 407 pp.
- García, E. (2005).** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 86 p.
- González-Amaro, R. M. (2008).** Productividad y valor económico potencial de arvenses en el cultivo de maíz de Nanacamilpa, Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. 104 pp.

- Herbario CICY. (2010).** Flora digital: Península de Yucatán. Disponible en: http://www.cicy.mx/sitios/Flora%20Digital/indice_busqueda.php. Consultado: enero 2018.
- Instituto de Ecología. (2010).** Listado de la flora de Veracruz. Disponible en: http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/listado_flover1.htm. Consultado: noviembre 2010.
- Judd, S. W., S. C. Campbell, E. A. Kellogg, P. F. Stevens, A. Donoghue. (2002).** Plant systematic. A phylogenetic approach. 2a ed. Sinauer Sunderland, Massachusetts. 576 pp.
- Kohashi-Shibata, J. (1996).** Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Instituto de Recursos Naturales, Programa de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- López-Sandoval, J. A., Morales-Rosales, E J., Vibrans, H. y Morales-Morales, E. J. (2018).** Tasa de asimilación neta y rendimiento de *Physalis* bajo cultivo en dos localidades. *Revista Fitotecnia Mexicana*: Vol. 41 (2): 1-13.
- Martínez-De la Cruz, I. (2010).** La flora y vegetación ruderal de Malinalco, Estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. 145 pp.
- Martinez, D. M. L. (2000).** Infrageneric Taxonomy of *Physalis*. In: Nee, M.; M. E. Symon; R.N. Lester y J. P. Jessop (Eds.). *Solanaceae IV: Advances in biology and utilization*. TheRoyal Botanical Gardens, Kew. Pp. 275-284.
- Martínez, M. (1998).** Systematics of *Physalis* (Solanaceae) sect. Epeteiorhiza. Ph D. Dissertation, Dept. of Botany. University of Texas. Austin, Texas. 247 pp.
- Martínez, M. y L. Hernández. (1999)** Una nueva especie de *Physalis* (Solanaceae) de Querétaro, México. *Acta Bot. Mex*: 46:73-76.
- Mendoza-Pérez, C; Ramírez-Ayala; C Waldo Ojeda-Bustamante C. W. y Flores-Magdaleno H. (2017).** Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 9(1), 37-50. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>
- Menzel, M. Y. (1951).** The Cytotaxonomy and Genetic of *Physalis*. *Proceedings of the American Philosophical Society* 95: 132-183.
- Mera, L. M. (1987).** Estudio comparativo del proceso de cultivo la arvense *Physalis chenopodifolia* Lamarck y *Physalis philadelphica* var. *philadelphica* cultivar Rendidora. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.Méx. 14:3-21.
- Montes H., S. (1991).** Tomate de Cáscara (*Physalis philadelphica* Lam.), pp.251-259. In: Avances en el estudio de los Recursos Fitogenéticos de México, Ortega, R.; Palomino, G.; Castillo, F.; González, V.A.; Livera, M. (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. México.

- Morales-Rosales, E. J., Escalante, J. A., y López, J. A. (2008).** Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Universidad y Ciencia*: 24: 1-10.
- Morales-Morales E. J., E. J. Morales-Rosales, E. Díaz-López, A. J. Cruz-Luna, N. Medina-Arias y Guerrero-De la Cruz M. (2015).** Tasa de asimilación neta y rendimiento de girasol en función de urea y urea de liberación neta. *Agrociencia* 49:163-176.
- Moreno, R. A.; Zárate, T. y Valdés, P. M. T. L. (2005).** Desarrollo de tomate en sustrato de vermicomposta/arena bajo condiciones de invernadero. *Agríc. Téc. (Chile)* 65:27-34
- Mundo C, L. A. (2009).** Análisis de sendero en Tomate de Cáscara. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Narro 32 p.
- Núñez-Reynoso, J. E. (1990).** Estudio florístico de la vertiente oriental de la Sierra Alcaparrosa. Tesis de Licenciatura (Biología), Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Iztacala, Estado de México, México. 122 pp.
- Olmstead, R. and J. D. Palmer. (1991).** Chloroplast DNA and systematics of the Solanaceae. In: Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry, Evolution, Eds. J.G. Hawkes, R.N. Lester, M. Nee and N. Estrada-R, Royal Botanic Gardens, Kew, 161-168 pp.
- Olmstead, R. G., L. Bohs, H. A. Migid, E. Santiago-Valentin, V. F. Garcia y S. M. Collier. (2008).** A molecular phylogeny of the Solanaceae. *Taxon*: 57 (4): 1159-1181.
- Pandey, K. K. (1957).** Genetics of self incompatibility in *Physalis ixocarpa* Brot: a new system. *Am. J. Bot.*: 44: 879-887.
- Peña-Lomelí A., J. D. Molina G., J. Sahagún C., J. Ortiz C., F. Márquez S., T. Cervantes S. y J. F. Santiaguillo H. (2008).** Parámetros genéticos de la variedad CHF1 Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*: 14:5-11.
- Perdomo-Roldán, F. (2004).** Dinámica de la flora arvense de caña de azúcar en Tlalquitenango, Morelos. Tesis Doctoral, Especialidad en Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. 102 pp.
- Pérez G., M.; F. Márquez S. y A. Peña L. (1998).** Mejoramiento Genético de Hortalizas. Mundi-Prensa México. México, D.F. 380 p.
- Pickersgill, B. (2007).** Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. *Annals of Botany*: 100:925–940.
- Ramadán, M. (2011).** Bioactive phytochemicals nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): an overview. *Food Res Int* 44:1830–1836.
- Rivera, M. R. y Garza, C. L. E. (1989).** Algunos aspectos de la ecofisiología de la germinación en *Physalis phyladelphica*. *Acta Botánica Mexicana*: 7: 33-41.

- Rodríguez, C. N. C. y M. L. Bueno A. (2006).** Estudio de la diversidad citogenética de *Physalis peruviana* L. (Solanaceae). Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. 11 pp.
- Rzedowski, J. (1991).** Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Bot. Mex.* 14:3-21
- Sánchez, M. J., Padilla, J. M G., Bojorquez, B. A. M., Arriaga, M. C. R., Arellano, L. J. R., Sandoval, E. I. y Sánchez, E. I. M. (2006).** *Tomate de cáscara cultivado y silvestre del occidente de México*. Guadalajara, México: Prometeo Editores.
- Santiagoullo H., J. F. y Blas Y. S. (2009).** Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola, Estudios Regionales de la Agricultura Mexicana*. ISSN 186-4394. 43:81-86.
- Santiagoullo, H., J. F.; O. Vargas P.; O. Grimaldo J.; J. Sánchez M.; N. Magaña L. (2009).** Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (*Physalis*) en México. Publicaciones de la Red de Tomate de Cáscara. Folleto Técnico Número 2. Septiembre de 2009. México. 31 p.
- SAS Institute (2004).** SAS/STAT User's guide, versión 8.02. SAS Institute. Cary, NC, USA. 479 p.
- Sullivan, J. R. (1991).** Reproductive biology of *Physalis viscosa*. En: W. G. D'Arcy (editor) 1986. *Solanaceae: Biology and Systematics*. New York. Pp. 274–283.
- Sudhakaran, S. y A. Ganapathi. (1999).** Biosystematics of South Indian *Physalis*. In: M. Nee, D.E. Symon, R.N. Lester y J.P. Jessop (editors). *Solanaceae IV*, pp. 335-340. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Tilman D, G. K. Cassman, A. P. Matson, R. Naylor and Polasky S. (2002).** Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*: 418:671–677.
- Vargas P., O.; M. Martínez y Díaz y P. Dávila A. (2003).** La Familia Solanaceae en Jalisco, el género *Physalis*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México. 127 pp.
- Vargas, O. M. Martínez y P. Dávila A. (2001).** Two news species of *Physalis* (Solanaceae) endemic to Jalisco, Mexico. *Brittonia*: 53 (4): 505-510.
- Vargas-Ponce O., Sánchez Martínez, J., Zamora-Tavares, M. P. y Valdivia-Mares, L.E. (2016).** Traditional management of a small-scale crop of *Physalis angulata* in Western Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 63: 1383 - 1395.
- Vargas-Ponce, O. M. Martínez y Díaz y P. A. Dávila-Aranda. (1999).** *Physalis waterfalli* (Solanaceae), una especie nueva de los Estados de Jalisco y Michoacán. *Acta Bot. Mex*: 48:21-26.
- Vibrans, H. (1998).** Native maize field weed communities in south-central Mexico. *Weed Research*: 38: 153-166.

- Vieyra-Odilon y H. Vibrans (2001).** Weeds as Crops: the value of maize of field weeds in the Valle of Toluca, México. *Economic Botanic*: 55 (3): 426-443.
- Villaseñor, J. L. y F. J. Espinosa-García. (1988).** Catálogo de las Malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 449 pp.
- Villaseñor, J. L. (2004).** Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*: 75: 105-135.
- Wereing, P. E; Patrick J. (1975).** Source-sink relations and partition of assimilates. In J. P. Cooper Celd, photosynthesis and productivity in differents environments. Cambridge Univ. Press. p. 481-499.
- Withson, M. y P. S. Manos. (2005).** Untangling *Physalis* (Solanaceae) from the Physaloids: A Two-Gene Phylogeny of the Physalinae. *Systematic Botany*: 30 (1): 216-230.
- WorldClim-Global Climate Data. (2010).** Disponible en: <http://www.worldclim.org/>. Consultado: enero 2018
- Zamora-Tavares M. P, Vargas-Ponce O, Sánchez J y Cabrera-Toledo D. (2015).** Diversity and genetic structure of husk tomatoes (*Physalis philadelphica* Lam.) in Mexico. *Gen Res Crop Evol*: 62:141–162.