

UNA MIRADA GENERAL AL TOMATE DE CÁSCARA (*PHYSALIS*)

Marcos Cobaleda-Velasco, Alfonso Reyes-Martínez, Gerardo Barriada-Bernal, José Roberto Medina-Medrano, René Torres-Ricario, Eli Amanda Delgado-Alvarado, Ruth Elizabeth Alanis-Bañuelos, Norma Almaraz-Abarca

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Durango, México, 34220
Tel/Fax: 618 8142091
Correo electrónico:marcoscove@yahoo.es

RESUMEN

El género *Physalis* se caracteriza por tener un cáliz globoso que envuelve al fruto durante toda su maduración. Dentro del cultivo de hortalizas, el tomate de cáscara es el quinto en importancia a nivel nacional, según la superficie sembrada. La riqueza de especies de *Physalis* en México hace de este país su centro de diversidad. Existen controversias taxonómicas dentro de *Physalis*, y pese al aumento de estudios sobre el género, esas controversias persisten. Los estudios moleculares son una herramienta valiosa que genera información para abordar, con una perspectiva más amplia, esos aspectos taxonómicos. La determinación de la variabilidad y el interés de encontrar correlaciones entre marcadores moleculares y características fenotípicas en diferentes especies cultivadas va en aumento, ya que pueden ser indicadores útiles para distintas aplicaciones. Para *Physalis*, lo anterior es necesario para el desarrollo de tecnologías de producción y para aprovechar las especies silvestres, muchas de las cuales tienen un alto valor alimenticio y son fuente de importantes sustancias con usos medicinales, como los flavonoides, que son antioxidantes naturales; los witanólidos, que son sustancias con potencial anticancerígeno; y otras sustancias de interés para el consumo diario, como folatos y vitaminas. Es todo esto lo que hace de *Physalis* un género de interés para México.

PALABRAS CLAVE: *Physalis philadelphica*, *Physalis ixocarpa*, tomatillo, tomate de cáscara

ABSTRACT

The genus *Physalis* is characterized for its globular calyx enveloping the fruit throughout ripening. In Mexico the husk tomato is the fifth in importance among the vegetables of economic importance, according to the cultivated area. This country is the diversity center of *Physalis* due to the highest species richness is found in it. There are specific taxonomic controversies within *Physalis*, and nevertheless the increasing in the studies focused in the genus, those controversies persist. Molecular studies are valuable tools for contributing to clarify these taxonomic aspects and at present that kind of studies is generating proposals to solve those disputes. The determination of variability and the interest of finding correlations between molecular markers and phenotypic characteristics in several cultivated plants are increasing because of they may be useful indicators for different applications. For *Physalis*, that is necessary to develop production methods and to use the wild species, many of them having high nutritional value and synthesizing many substances with medicinal importance, like flavonoids, which are natural antioxidants; withanolides, which have anticancer potential; and other substances of interest to daily consumption like folate and vitamins. That is what makes *Physalis* an interesting genus for Mexico.

KEY WORDS: *Physalis philadelphica*, *Physalis ixocarpa*, husk tomato, tomatillo

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el género *Physalis* está siendo objeto de estudio desde varios puntos de vista, incluidos el molecular y el fitoquímico. El potencial natural y económico que contienen las especies de este género ha aumentado el interés por el mismo. Esta



situación, es reflejo, a su vez, de la atención que está recibiendo la familia *Solanaceae*, a la que pertenece *Physalis*. Esa atención se debe a la diversidad, adaptabilidad, e importancia económica de ésta familia, para la cual se emprendió en 2003 el proyecto internacional del genoma de *Solanaceae*; como primer resultado de ese proyecto se determinó la secuencia de la porción eucromática del genoma del jitomate (*Solanum lycopersicum*) (Mueller *et al.*, 2005). Esto facilita conocer y entender los mecanismos moleculares y sus implicaciones en las características de las plantas y sus frutos. Este trabajo de revisión pretende ahondar en las características generales, moleculares, fisiológicas, y en los usos y aplicaciones de *Physalis*.

ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL GÉNERO *Physalis*

El género *Physalis* pertenece a la familia *Solanaceae*, ésta se encuentra ampliamente distribuida de manera natural en diversos ambientes terrestres. Del continente Americano han surgido varias especies de relevancia económica, entre ellas se encuentran los chiles (*Capsicum*), el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), la papa (*Solanum tuberosum* L.), los tomates de cáscara (*Physalis* L.), la berenjena (*Solanum melongena*), la petunia (*Petunia*), y el tabaco (*Nicotiana tabacum* L.).

Physalis comprende entre 75 y 120 especies, de acuerdo a diferentes autores (D'Arcy, 1991; Hendrych, 1989). Debido a la variación en el número de especies reportadas para *Physalis*, es difícil concretar el número real para México, en lo que sí coinciden los diversos autores es que más del 50% se distribuye en México, por lo que este país es considerado el centro de diversidad del género (D'Arcy, 1991; Martínez, 1998).

La característica principal del género *Physalis* es su cáliz, el cual se expande ampliamente con el fruto y se infla hasta que envuelve totalmente a la baya, de tal manera que apenas está en contacto con el fruto; es por esto que se le denomina tomate de cáscara. En México *Physalis* también es conocido como tomatillo, tomate verde, tomate de bolsa y tomate de hoja. En Latinoamérica, *Physalis* tiene diversos nombres como motojobobo embolsado, uchuva, y aguaymanto, entre otros.

De acuerdo a Martínez (1999), *Physalis* comprende cuatro subgéneros y nueve secciones: *Physalis* subgénero *Physalis* (con una especie: *Physalis alkekengi*); *Physalis* subgénero *Physalodendron* (G. Don) M. Martínez (con dos especies: *Physalis arborescens*, *Physalis melanocystis*); *Physalis* subgénero *Quincula* (Raf.) M. Martínez (con una especie: *Physalis lobata* (sin. *Quincula lobata*), y *Physalis* subgénero *Rydbergis* Hendrych (con alrededor de 60 especies). Dentro del subgénero *Rydbergis*, ese mismo autor reconoce nueve secciones: sección *Angulatae* (Rydb.) M. Y. Menzel (con 10 especies), sección *Campanulae* M. Martínez (con dos especies:

Physalis campanula Standley & Steyererm, y *Physalis glutinosa* Schidl.), sección *Carpenterianae* (Rydb.) M. Y. Menzel (con una especie), sección *Coztomatae* M. Martínez (con 11 especies), sección *Epeteriorhiza* G. Don (con 14 especies), sección *Lanceolatae* (Rydb.) M. Y. Menzel (con alrededor de 14 especies), sección *Rydbergae* M. Martínez (con dos especies: *Physalis mininacelata* Waterf., y *Physalis rydbergii* Fernand), sección *Viscosae* (Rydb.) M. Y. Menzel (con seis especies), y sección *Tehuacanae* M. Martínez (con una especie.). Sin embargo, de acuerdo a Whitson y Manos (2005), las relaciones dentro y entre secciones no han sido claramente establecidas, y la definición específica dentro de ese género es a menudo difícil (Sullivan, 1985; Whitson y Manos, 2005).

Los aspectos taxonómicos de *Physalis* han sido estudiados principalmente con base en datos morfológicos (Martínez, 1999), pero recientemente se han abordado con marcadores moleculares, tales como secuencias de cpDNA por Olmstead *et al.* (1999), ITS ("internal transcriber spacer") de una región de DNA ribosomal y la variabilidad en el gen *waxy* ("granule bound starch synthase" o gen GBB1) por Whitson y Manos (2005), y con los marcadores ISSR ("inter-simple sequence repeats") por Vargas-Ponce *et al.* (2011).

Physalis EN MÉXICO

La gran diversidad de especies de *Physalis* que existen en México, en su mayoría silvestres, ofrece una oportunidad de estudio y aprovechamiento de este cada vez más valorado producto. De ahí surgió el proyecto *Physalis*, centrado principalmente en *Physalis philadelphica* L., en el que se recolectó información de distintos herbarios nacionales acerca de la evolución del género y del origen y la diversidad de esa especie (Alavez-Gómez *et al.*, 2009). En la Figura 1 se presenta la distribución potencial de *P. philadelphica* en México, esta especie es una de las más representativas dentro del género y está entre las que más han sido estudiadas.

En el Estado de Jalisco, México se han encontrado 39 especies de *Physalis*, esto lo hace el estado con mayor número de especies reportadas (Vargas-Ponce *et al.*, 2003). Para el estado de Durango, de acuerdo a información obtenida del Herbario CIIDIR, del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Durango del Instituto Politécnico Nacional, se han reconocido 20 especies. Más información sobre la distribución de *Physalis* en el estado de Durango se encuentra en Medina-Medrano *et al.* (2012).

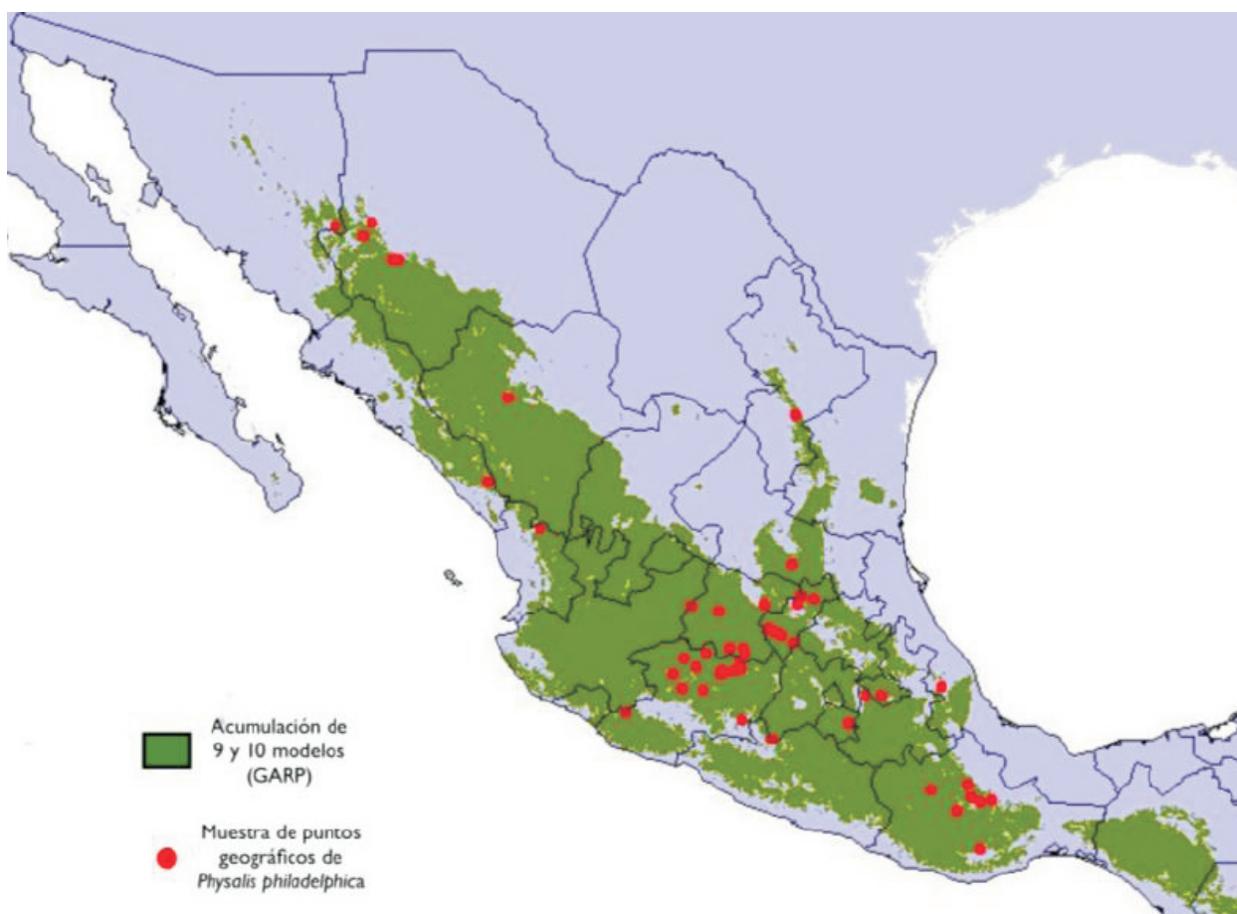


Figura 1. Distribución potencial de *Physalis philadelphica* en México (Fuente: Alavez-Gómez *et al.*, 2009).

CULTIVO DE *Physalis* EN MÉXICO

La especie de *Physalis* cultivada en México es *Physalis ixocarpa*, de la cual existen distintas variedades, como son la Rendidora, Salamanca, Tamazula, Rendidora Suprema, Súper Cerro Gordo, Verde Supremo, Yoreme, Querétaro, Orizaba y Carrizeño. Sin embargo pese a su conocido uso y variedades, existen controversias taxonómicas a la hora de clasificar a *Physalis ixocarpa* como especie. Tanto es así que, dependiendo del autor, se hace o no distinción entre *Physalis ixocarpa* y *Physalis philadelphica*. Según el ITIS (Integrated Taxonomic Information System), *Physalis ixocarpa* es un sinónimo de la variedad *immaculata* de *Physalis philadelphica*; no obstante, esta variedad no aparece en otros registros, con lo que se dificulta la aclaración de estos detalles. Pese a todo, a la especie comercial se le denomina de manera prácticamente unánime *Physalis ixocarpa*.

En los últimos 12 años (2000-2011), de acuerdo al SIAP (Sistema de Información Agrario y Pesquero, 2012) (Tabla 1), el área cultivada de *Physalis ixocarpa* en México varió desde un mínimo de 46888.68 Ha (año 2008) hasta un máximo de

64533.62 Ha (año 2006), en 2011 se cultivaron 47830.85 Ha. Esto convierte al tomate verde en la quinta hortaliza en importancia en función del área cultivada. La producción total máxima lograda en esos 12 años varió entre 805721.26 ton (año 2006) y 553868.87 ton (año 2005). En ese mismo periodo de tiempo, los rendimientos variaron entre 11.62 ton/Ha (año 2000) y 15.58 ton/Ha (año 2010); sin embargo estos datos están muy lejos del potencial que se estima tienen estos cultivos, que es de 40 ton/Ha (Peña, 2001) hasta 80 ton/Ha usando un paquete tecnológico de fertirriego (Castro-Brindis *et al.*, 2000; López-López *et al.*, 2009).

En Durango, pese a la riqueza de especies silvestres del género *Physalis*, la máxima superficie sembrada correspondió al año 2012, cuya área fue de 35 Ha, lo que convierte a Durango en el Estado con menor superficie cultivada dentro de los 30 estados que tienen plantaciones de *Physalis ixocarpa*. Sinaloa es el estado con mayor superficie sembrada, con 8594.62 Ha (año 2011); Zacatecas es el de mayor producción total, con 65252.65 ton (año 2011); y Nuevo León el que tiene el mejor rendimiento, con 31.26 ton/Ha (año 2011) (SIAP, 2012).

Tabla 1. Datos de producción de *Physalis ixocarpa* en México, en un periodo de 12 años.

AÑO	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Producción (t)	t/Ha	Precio Medio Rural	Valor de Producción (miles de Pesos)
2011	47830.85	40437.23	563306.12	13.93	4031.47	2270952.62
2010	48475.17	46197.06	719848.64	15.58	3518.05	2532464.29
2009	47472.9	45704.85	647580.13	14.17	3518.63	2278594.47
2008	46888.68	45562.18	609468.75	13.38	3755.13	2288637.10
2007	52842.84	51946.54	724949.67	13.96	3023.78	2192084.86
2006	64533.62	62602.92	805721.26	12.87	3548.39	2859017.00
2005	48626.67	47593.89	553868.87	11.64	4360.38	2415077.75
2004	60518.38	53410.88	722634.69	13.53	3467.99	2506091.48
2003	56522.47	54044.19	726218.29	13.44	2835.69	2059330.72
2002	49371.64	47421.89	583393.45	12.30	3022.03	1763032.78
2001	47840.01	46898.26	587712.07	12.53	2863.5	1682915.50
2000	51237.29	49945.79	580247.36	11.62	3039.08	1763416.07
Promedio	51846.71	49313.81	652079.11	13.25	3415.34	2217634.55

Fuente: SIAP (2012).

VARIABILIDAD Y DIVERSIDAD DE *Physalis*

Los estudios de variabilidad y diversidad en solanáceas, basados en marcadores moleculares, han sido muy numerosos (Richman y Kohn, 2000; Talianova y Janousek, 2011; Venkatesh y Park, 2012), en gran medida, debido al impacto económico que tienen algunas de las especies de esa familia.

La cantidad de estudios moleculares sobre *Physalis* han ido en aumento en los últimos años, reflejo del creciente interés en este género (Garzón-Martínez *et al.*, 2012; Varga-Ponce *et al.*, 2011). Los estudios moleculares sirven como apoyo a las clasificaciones tradicionales basadas en caracteres morfológicos, y ofrecen datos que de otro modo podrían quedar ocultos. Los estudios moleculares también permiten tipificar o caracterizar especies silvestres (como lo son la mayoría de las pertenecientes a *Physalis*) relacionadas a especies cultivadas, lo que revela "pools" genéticos útiles para el desarrollo de variedades, facilitando el desarrollo de estrategias para descubrir formas alélicas valiosas para un carácter relevante en los materiales de cruzamiento, como ha sido hecho con especies cultivadas como el maíz (Zein *et al.*, 2007; Andersen *et al.*, 2007).

Olmstead *et al.* (1999) realizaron estudios filogenéticos de Solanaceae, incluyendo tres especies del género *Physalis*, *P. alkekengi*, *P. peruviana*, y *P. heterophylla*, utilizando como marcador molecular al gen cloroplástico *ndhF* (NADH dehidrogenasa F). Sus resultados sugirieron que la relación

filogenética entre *P. alkekengi* y las otras dos especies de *Physalis* era más lejana que la que existía entre *P. peruviana* y *P. heterophylla*. *Physalis alkekengi* es la única especie del género que no es nativa de América, su origen endémico se encuentra en Asia. A raíz de los resultados de Olmstead *et al.* (1999) y basándose en otros estudios moleculares dentro del género, Whitson (2011) propuso situar a *P. alkekengi* en su propio género, sugiriendo el nombre de *Alkekengi officinarum*.

La utilización de microsatélites como marcadores moleculares para estimar la variabilidad es cada vez más frecuente. Los SSR (Simple Sequence Repeat) se han usado en varias solanáceas. Un ejemplo de lo anterior, es el estudio realizado por Wei *et al.* (2012), en el que a través de los marcadores SSR, PIP (Potential Intron Polymorphism) e InDel (Insertion/Deletion), conocidos en el jitomate gracias al proyecto de la secuenciación del jitomate publicado en mayo de 2012 (The Tomato Genome Consortium, 2012), vieron que marcadores moleculares del jitomate eran útiles para estudios de variabilidad y diversidad en algunas especies de *Physalis*, y observaron que eran adecuados para determinar relaciones intra e interespecíficas. En otros estudio se reportó que los ISSR técnica basada en detectar la variabilidad de la longitud de regiones espaciadoras entre microsatélites, son útiles para estimar relaciones genéticas en *Physalis*, con especial utilidad para discriminar especies y realizar evaluaciones intraespecíficas

(Vargas-Ponce *et al.*, 2011).

Physalis peruviana está siendo actualmente muy estudiada, ya que es el principal representante de *Physalis* en países como Venezuela, Ecuador, y Colombia, este último es el mayor productor mundial, que destina el 80% de su producción a Europa (Bonilla *et al.*, 2009), por lo que el interés por el conocimiento y aprovechamiento de esta especie es superior al de otras especies del género. Garzón-Martínez *et al.* (2012) han realizado estudios con marcadores SSR en *Physalis peruviana*, esos autores, a través del programa informático Phobos (Mayer, 2006-2010), que permite la identificación de minisatélites, microsátélites y satélites de DNA, identificaron en el transcriptoma 5971 marcadores SSR, de los cuales 403 eran motivos perfectos y 5568 eran imperfectos; esta clasificación de microsátélites se basa en el tipo de repetición, si se repite el mismo motivo sin interrupción se le denomina perfecto, si hay interrupción entre las repeticiones de ese motivo se denomina imperfecto (Webber y Mae, 1989; Goldstein y Schlötterer, 1999). Ese mismo trabajo desarrolló los primeros marcadores específicos para *P. peruviana* a partir de SSR, dos de los cuales aparecían relacionados con proteínas de defensa involucradas en la respuesta a patógenos (Garzón-Martínez *et al.*, 2012).

Existen trabajos realizados en *Physalis* utilizando otros marcadores moleculares como los AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), además de reportar una correlación entre el tamaño de la flor y el peso del fruto de *P. philadelphica*, se encontró una asociación entre la variación del tamaño floral y la expresión de genes TFD (Transcript-Derived Fragments) identificados mediante AFLP (Wang *et al.*, 2012). Los resultados de Wang *et al.* (2012) dan una idea de la importancia de estos marcadores moleculares, que pueden llegar a estar relacionados con proteínas importantes tratándose de especies cultivadas, como en el caso de *P. peruviana*.

Los estudios citogenéticos en *Physalis* han mostrado que su variabilidad cromosómica no es demasiada. Menzel (1951) publicó los datos encontrados en ese momento sobre citotaxonomía y genética del género. Así se puede observar que la ploidía habitual en *Physalis* es $2n=24$, aunque desde 1928 se reportaron especies con $2n=48$ y $2n=24$, como son los casos de *P. peruviana* y *P. angulata*, ésta última reportada en 1938 (datos reportados por Menzel, 1951). Actualmente se han realizado estudios citogenéticos en *P. peruviana* estudiando ciertos ecotipos. Dado que los mayores productores del mundo de *P. peruviana* son Colombia, Sudáfrica, y Brasil (Bonilla *et al.*, 2009), Rodríguez y Bueno (2006) estudiaron la ploidía de los distintos ecotipos de esos países y reportaron valores desde $2n = 24$ en el silvestre, $2n = 36$ en el ecotipo Colombia, y $2n = 48$ en el ecotipo Kenia (reintroducido a Colombia desde África). Como se

menciona en dicho reporte es importante contemplar estas características ya que la ploidía puede ser una adaptación a las distintas condiciones de crecimiento, por lo que mezclar ecotipos con distintas ploidías podría afectar a la producción.

Otras características importantes que están siendo estudiadas usando marcadores moleculares es la auto-incompatibilidad que predomina en el género *Physalis*, con algunas excepciones como *P. ixocarpa* var. Rendidora, la cual sí es auto-compatible. Los trabajos como el de Mulato-Brito *et al.* (2007) y el de Lu (2002), en los que se estudiaron los genes de compatibilidad, su modo de transmisión, la posible implicación en procesos selectivos y la importancia que pueden tener con patrones genealógicos pueden contribuir a mejorar ciertos aspectos de interés para el cultivo de esa especie.

Hay estudios en los que se han realizado caracterizaciones morfológicas asociándolos con marcadores moleculares RAM (Random Amplified Microsatellites), y pese a que estos marcadores moleculares demostraron ser útiles para determinar la variabilidad molecular, no se encontraron correlaciones con los caracteres morfológicos de *P. peruviana* (Morillo-Paz *et al.*, 2011).

CARACTERÍSTICAS FITOQUÍMICAS

Las especies del género *Physalis* sintetizan gran diversidad de sustancias químicas de interés para el ser humano como son los folatos (Ibave-González y Ochoa, 2007). El término folatos incluye a derivados del ácido pteroilmonoglutámico o ácido fólico, que actúan a nivel coenzimático recibiendo o donando unidades monocarbono en la síntesis de ácidos nucleicos y en la regeneración de metionina (Olivares *et al.*, 2006; Verhaar *et al.*, 2002).

Los principales azúcares que se encuentran en los frutos de *Physalis* son sacarosa, glucosa y fructosa, estos carbohidratos mostraron su mejor conservación y mantenimiento tratadas a 18°C y conservadas a 12°C (Novoa *et al.*, 2006).

En cuanto a las vitaminas, se ha reportado que *P. peruviana* tiene un alto contenido en las vitaminas A, B y C (NRC, National Research Council), 1989; Fischer *et al.*, 2000; Osorio y Roldan, 2003), llegando a tener hasta 1700 U.I. de Vitamina A por 100 g de pulpa.

El porcentaje de lípidos totales en *Physalis* puede alcanzar hasta el 2% del peso del fruto (Ramadan y Morsel, 2003) con altas proporciones de ácido linoléico y oléico, los cuales son más del 80% del total de los ácidos grasos.

Existe gran cantidad de metabolitos secundarios en las especies de *Physalis*, como se reporta en el trabajo de Nathiya y Dorcus (2012) sobre *P. minima*, de la que se extrajeron cantidades importantes de alcaloides, quinonas, glucósidos,

diferentes compuestos fenólicos como flavonoides y taninos, y varios tipos de terpenos como saponinas y esteroides.

Existen varios reportes centrados en sustancias antioxidantes del género, como son las antocianinas, que se encuentran en altos niveles en varias especies, así se reporta en un estudio sobre *Physalis ixocarpa*, en el que se indica que diferentes genotipos dentro de esa especie presentan distintos niveles de capacidad antioxidante, evaluada ésta como capacidad bloqueadora del radical libre DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazil) (González-Mendoza *et al.*, 2011); ese mismo grupo de trabajo encontró altos contenidos de antocianinas en *P. ixocarpa* en niveles similares a los reportados en otros estudios para la fresa o la soya negra (González-Mendoza *et al.*, 2010). Las antocianinas son un tipo de flavonoides, que brindan color a los tejidos vegetales que los sintetizan (Taiz y Zeiger, 1991).

Para algunas especies de *Physalis* se han reportado altos contenidos de fitoesteroles, del orden del 5% del total de lípidos del fruto (Ramadán y Morsel, 2003). Los fitoesteroles son alcoholes de esteroides, estos últimos son triterpenos, compuestos complejos formados por seis unidades de isopreno, que son importantes componentes de las membranas celulares vegetales (Taiz y Zeiger, 1991), algunos de ellos tienen importante efecto hipocolesterolémico (Martínez *et al.*, 2011; Campos-Florian *et al.*, 2011; Ramadan, 2012).

También se han encontrado witanólidos y distintos tipos de fisalinas en especies como *Physalis minima*, *P. angulata*, *P. peruviana* entre otras. Las cantidades y subtipos de estas sustancias varían mucho entre especies, llegando a ser algunas de ellas exclusivas de una sola. Los witanólidos son esteroides (triterpenos como los fitoesteroles) en los que dos carbonos (el C₂₂ y el C₂₆) se oxidan para formar un anillo de lactona (Glötter, 1991). Las fisalinas, como los fitoesteroles y los witanólidos, son derivados triterpenos del tipo esteroides, representan un estado altamente oxidado de los witanólidos (Makino *et al.*, 1995).

USOS Y APLICACIONES DE *Physalis*

Debido a la alta variedad dentro del género *Physalis* y a su facilidad de crecimiento en las distintas zonas de México y América en general, el aprovechamiento de este recurso ha sido algo habitual en muchas poblaciones, cada una con sus particularidades y características, y así lo recogen Santiaguillo-Hernández y Blas-Yáñez (2009) en su artículo sobre los usos tradicionales. En ese trabajo se aprecia que los usos alimenticio y medicinal son los más frecuentes. Algunos usos que se han dado tradicionalmente a algunas de las especies son *P. nicandroides* como trampa vegetal para atrapar pulgas, *P. cinerascens* es un recurso industrial para separar sólidos durante el cuajado de la leche; *P. arborescens*, *P. chenopodiifolia*, *P. cinerascens*, *P. gracilis*,

y *P. hederifolia* se utilizan como recurso medicinal aprovechando las raíces, hojas, fruto o tallo; y *P. philadelphica*, *P. ixocarpa*, *P. angulata*, *P. peruviana* y *P. cotztomatl*, entre otras, tienen principalmente un uso alimenticio.

Actualmente se están incrementando los estudios para aprovechar todo el potencial que ofrece el género *Physalis*. Así, estudios con extractos de *P. minima* muestran su capacidad antibacteriana contra cepas de *Bacillus cerues*, *Enterobacter aerogenes* y *Staphylococcus aureus*, entre otros. Parte de esta capacidad puede venir de ciertos aceites esenciales, flavonoides y otros polifenoles (Nathiya y Dorcus, 2012).

El extracto crudo del fruto de *Physalis peruviana* redujo los niveles inducidos de hipercolesterolemia en ratas, Ramadán (2012) reportó una mayor reducción en los grupos de ratas que tomaban el extracto, además esas mismas ratas mostraron una mayor proporción de colesterol HDL que del LDL en comparación con los grupos control.

Los antioxidantes son productos de alto interés para el consumo humano, por sus demostradas cualidades benéficas para el organismo al poder neutralizar los radicales libres generados por el organismo, que tan dañinos son para distintos componentes celulares, incluido el ADN (Bellomo, 1991; Dizdaroglu *et al.*, 2002; Valko *et al.* 2004; Abdel-Halim *et al.*, 2013). Para *Physalis* se han reportado altos niveles de antioxidantes y puede ser aprovechable de forma directa, o a partir de extractos (Ramadan y Morsel, 2003; Rockenbach *et al.*, 2008).

Además de las propiedades nutricionales encontradas para muchas de las especies de *Physalis*, una alta proporción de ellas tienen también propiedades medicinales. Se ha demostrado que ciertos componentes como los witanólidos y las fisalinas, pueden ser de utilidad directa contra procesos inflamatorios y cancerígenos, a la vez que son hepatoprotectores y reguladores del sistema inmune (Ahmad *et al.*, 1999).

Lan *et al.* (2009) describió 17 witanólidos en *P. peruviana*, los cuales están siendo estudiados para concretar sus capacidades en los distintos campos de la biomedicina. Una de las especies que más reportes ha producido debido a esta clase de componentes es *P. angulata*. Abe *et al.* (2006) describieron en esta especie tres nuevos witanólidos, a los que denominaron fisagulinas o fisangulindinas; otras fisagulinas descubiertas por Reyes-Reyes *et al.* (2013) han demostrado capacidad para perturbar el ciclo celular de células prostáticas cancerígenas y conducir las a una apoptosis. En *P. philadelphica*, según el estudio de Choi *et al.* (2006), se descubrieron varios witanólidos, entre ellos la ixocarpalactona A, que mostró capacidad antiproliferativa contra células cancerígenas de colon e inducía a éstas a una apoptosis.

Los ejemplos encontrados en la bibliografía sobre estos compuestos cada vez son mayores e incluyen más especies del género, como es el caso de *P. alkekengi* que, pese a su alta probabilidad de abandonar el género *Physalis* como se mencionó anteriormente, contiene también witanólidos con propiedades antibacteriales (Yi-Zheng *et al.*, 2008).

CONSIDERACIONES FINALES

El que *Physalis* sea el tercer género en número de especies dentro de las solanáceas no hace sino abrir el abanico de investigaciones en el futuro. Sus potenciales alimenticio, económico, nutracéutico, y ecológico deberían estimular el desarrollar estudios enfocados a conocer y comprender mejor la riqueza fitoquímica del género, el fundamento bioquímico y fisiológico de sus propiedades medicinales, la variabilidad genética, así como para desarrollar marcadores moleculares que faciliten la domesticación de especies silvestres y la generación de nuevas variedades de las especies cultivadas y que brinden información para estudios evolutivos y taxonómicos.

Las investigaciones reportadas sobre el género *Physalis* abarcan todos los campos, desde ecológicas y mejoras en el cultivo y transporte, hasta composición fitoquímica y propiedades benéficas para nuestra salud. Si bien es cierto que la mayoría de los trabajos se centran en las especies y variedades comerciales no debemos olvidar el reservorio silvestre que para ese género México en general y Durango en particular nos ofrece, pues la posibilidad de ampliar nuestro conocimiento sobre este grupo de plantas quedará muy limitada si nos acotamos tan sólo a las especies domesticadas. La variabilidad y diversidad que el conjunto de las especies de *Physalis* contiene, y los posibles compuestos químicos que quedan por descubrir pueden ser un recurso valioso, tanto ecológico como comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Haliem E., H. Abdullah, A. A. Al-Huqail. 2013. Oxidative Damage and Mutagenic Potency of Fast Neutron and UV-B Radiation in Pollen Mother Cells and Seed Yield of *Vicia faba* L. BioMed Research International. E-pub: Article ID 824656, 12 pages.

Abe, F., S. Nagafuji, M. Okawa, J. Kinjo. 2006. Trypanocidal Constituents in Plants 6.¹⁾ Minor Withanolides from the Aerial Parts of *Physalis angulata*. Chemical & Pharmaceutical Bulletin 54: 1226-1228.

Ahmad, S., A. Malik, R. Yasmin, N. Ullah, W. Gul, P. M. Khan, H. R. Nawaz, N. Afza. 1999. Withanolides from *Physalis peruviana*. Phytochemistry 50: 647-651.

Alavez-Gómez, V., L.O. Jardón-Barbolla, L. Moyers, D. Ortega, A.L. Wegier, D. Piñero y M. Martínez. 2009. Recopilación de

información acerca de la evolución del género *Physalis* en México y del origen y diversidad de *Physalis philadelphica* Lam. (tomate verde), informe final. Instituto de Ecología, UNAM y Universidad Autónoma de Querétaro. Dentro del Proyecto "Generación y recopilación de información de las especies de las que México es centro de origen y diversidad genética", financiado por la Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables (DGSPRNR), perteneciente a la SEMARNAT y coordinado por la CONABIO. CONABIO. México D.F.

Andersen, J.R., I. Zein, G. Wenzel, B. Krützfeldt, J. Eder, M. Ouzunova, T. Lübberstedt. 2007. High levels of linkage disequilibrium and associations with forage quality at a phenylalanine ammonia-lyase locus in European maize (*Zea mays* L.) inbreds. Theoretical and Applied Genetics 114: 307-319.

Bellomo, G. 1991. Cell damage by oxygen cell radicals. Cytotechnology 5: 71-73.

Bonilla-Cortés M. H., P. A. Arias, L. M. Landínez-Gómez, J. M. Moreno-Martínez, F. Cardozo-Puentes, M. S. Suárez-Rivera. 2009. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la uchuva en fresco para exportación en Colombia-Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural. Proyecto Transición De La Agricultura. Universidad Nacional De Colombia CCDIAC, editor. BOGOTÁ D.C., Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Campos-Florián, J., M. Bobadilla-Villa, M. Huamán-Bermeo, M. Bazán-Vásquez. 2011. Efecto del extracto del fruto de *Physalis peruviana* "tomatillo" en *Mus musculus* var. swis con hiperlipidemia inducida. Scientia Agropecuaria 2: 83-89.

Castro-Brindis, R., P. Sánchez-García, A. Pena-Lomelia, G. Alcantar-González, G. Baca-Castillo, R. M. López-Romero. 2000. Niveles críticos de suficiencia y toxicidad de N-NO₃ en el extracto celular de peciolas de tomate de cáscara. Revista Terra 18: 141-146.

Choi, J. K., G. Murillo, B. N. Su, J. M. Pezzuto, A. D. Kinghorn, R. G. Mehta. 2006. Ixocarpalactone A isolated from the Mexican tomatillo shows potent antiproliferative and apoptotic activity in colon cancer cells. The FEBS Journal 273: 5714-5723.

Corporación Colombia Internacional (CCI), Universidad de los Andes, Departamento de Planeación Nacional. 1994. Análisis internacional del sector hortofrutícola para Colombia. Bogotá.

D'Arcy, W. G. 1991. The Solanaceae since 1976, with a review of

- its biogeography. In: Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry, Evolution (Eds. Hawkes, J.G., R. N. Lester, M. Nee, N. Estrada). Royal Botanic Gardens, Kew. United Kingdom, pp 75-138.
- Dizdaroglu M., P. Jaruga, M. Birincioglu, H. Rodriguez. 2002. Free radical-induced damage to DNA: mechanisms and measurement. *Free Radical Biological & Medicine* 32: 1102-1115.
- Fischer, G., G. Ebert, P. Lüdders. 2000. Provitamin A carotenoids, organic acids and ascorbic acid content of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) ecotypes grown at two tropical altitudes. *Acta Horticulturae* 531: 263- 268.
- Garzón-Martínez, G. A., Z. I. Zhu, D. Landsman, L. S. Barrero, L. Mariño-Ramírez. 2012. The *Physalis peruviana* leaf transcriptome: assembly, annotation and gene model prediction. *Biomed Central Genomics* 13: 151-162.
- Glatter, E. 1991. Withanolids and related ergostane-type steroids. *Natural Product Reports* 8: 415-440.
- Goldstein, D.B., C. Schlötterer. 1999. Microsatellites, evolution and applications. Oxford University Press. New York, pp 352.
- González-Mendoza D., O. Grimaldo-Juárez, R. Soto-Ortiz, F. Escoboza-García, J. F. Santiaguillo Hernández. 2010. Evaluation of total phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity in purple tomatillo (*Physalis ixocarpa*) genotypes. *African Journal of Biotechnology* 9: 5173-5176.
- González-Mendoza, D., D. Martínez-Ascencio, A. Hau-Poox, V. Mendez-Trujillo, O. Grimaldo-Juárez, J. Santiaguillo-Hernández, L. Cervantes-Díaz, S. Avilés-Marin. 2011. Phenolic compounds and physicochemical analysis of *Physalis ixocarpa* genotypes. *Scientific Research and Essays* 6: 3808-3814.
- Hendrych, R. 1989. *Physalis alkekengi*, in Europa und in der Tschechoslowakei besonders. *Acta Universitatis Carolinae, Biologica* 33: 1-42.
- Ibave-González, J. L.; M. Ochoa. 2007. Cuantificación de los diferentes folatos presentes en tomatillo (*Physalis ixocarpa*) por cromatografía de líquidos de alta resolución. *Tecnociencia* 1: 9-16.
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System). www.itis.gov Consultado el 11/2013.
- Lan, Y. H., F. R. Chang, M. J. Pan, C. C. Wu, S. J. Wu, S. L. Chen, S. S. Wang, M. J. Wu, Y. C. Wu. 2009. New cytotoxic withanolides from *Physalis peruviana*. *Food Chemistry* 116: 462-469.
- López-López, R., R. Arteaga-Ramírez, M. A. Vázquez-Peña, I. L. López-Cruz, I. Sánchez-Cohen. 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 83-89.
- Lu, Y. 2002. Molecular evolution at the self-incompatibility Locus of *Physalis longifolia* (Solanaceae). *Journal of Molecular Evolution* 54: 784-793.
- Makino, B., M. Kawai, K. Kito, H. Yamamura, Y. Butsugan. 1995. New physalins possessing an additional carbon-carbon bond from *Physalis alkekengi* var. *francheti*. *Tetrahedron* 51: 12529-12538.
- Martínez, A. Y., O. M. Yero, J. C. López, M. V. Navarro, M. E. Espinosa. 2011. Fitoesteroides y escualeno como hipocolesterolémicos en cinco variedades de semillas de *Cucurbita máxima* y *Cucurbita mostacha* (calabaza). *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 16: 72-81.
- Martínez, M. 1998. Revision of *Physalis* Section *Epeteiorhiza* (Solanaceae). *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 69: 71-117.
- Martínez, M. 1999. Infrageneric taxonomy of *Physalis*. In: Solanaceae IV: advances in biology and utilization (Eds: Nee, M., D. E. Symon, R. N. Lester, J. P. Jessop). Kew Royal Botanic Gardens. United Kingdom, pp. 275-283.
- Ma y e r , C . 2 0 0 6 - 2 0 1 0 . P h o b o s 3 . 3 . 1 1 , <http://www.rub.de/spezoo/cm/cm_phobos.htm>.
- Medina-Medrano, J. R., N. Almaraz-Abarca, A. Reyes-Martínez, L. G. Barriada-Bernal, E. A. Delgado-Alvarado, D. M. Rivera-Rodríguez, Cobaleda-Velasco, M. 2012. El Género *Physalis* en Durango: Revisión de la distribución y usos. *Vidsupra* 4: 26-31.
- Menzel, Y. M. 1951. The cytotaxonomy and genetics of *Physalis*. *Proceedings of the American Philosophical Society* 95: 132-183.
- Morillo-Paz, A. T., D. E. Villota-Cerón, T. C. Lagos-Burbano, H. R. Ordóñez-Jurado. 2011. Caracterización morfológica y molecular de 18 introducciones de Uchuva *Physalis peruviana* L. de la colección de la Universidad de Nariño. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 64: 6043-6053.
- Mueller, L. A., S. D. Tanksley, J. J. Giovannoni, J. van Eck, S. Stack, D. Choi, B. D. Kim, M. chen, Z. cheng, C. Li, et al. 2005. The tomato sequencing project, the first cornerstone of the international Solanaceae project (SOL). *Comparative and Functional Genomics* 6: 153-158.
- Mulato-Brito, J., A. Peña-Lomelí, J. J. López-Reynoso. 2007. Self-Compatibility inheritance in Tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Vegetable Crops Bulletin* 67: 17.
- Nathiya M., D. Dorcus. 2012. Preliminary phytochemical and

- anti-bacterial studies on *Physalis minima* Linn. International Journal of Current Science 24-30.
- NRC (National Research Council). 1989. Goldenberry (Cape Gooseberry). Lost crops of the incas: Little-known plants of the andes with promise for worldwide cultivo. National Academy Press. Washington D.C.
- Novoa R. H., M. Bojacá, J. A. Galvis, G. Fischer. 2006. La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana* L.). Agronomía Colombiana 24: 77-86.
- Olivares, A. B., M. J. Bernal, G. Ros, C. Martínez, M. J. Periago. 2006. Calidad de los datos del contenido en ácido fólico en vegetales recogidos en varias tablas de composición de alimentos españoles, y nuevos datos sobre su contenido en folatos. Nutrición Hospitalaria 21: 97-198.
- Olmstead, R. G., J. A. Sweere, R. E. Spangler, L. Bohs, J. D. Palmer. 1999. Phylogeny and provisional classification of the Solanaceae based on chloroplast data. In: Solanaceae IV: advances in biology and utilization (Eds: Nee, M. D. E. Symon, R. N. Lester, J. P. Jessop). Kew Royal Botanic Gardens. United Kingdom, pp. 111-137.
- Osorio, D., J. Roldan. 2003. Volvamos al campo: manual de la uchuva. Grupo Latino LTDA. Bogotá.
- Peña, L. A. 2001. Situación actual y perspectivas de la producción y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México. Primer Simposio Nacional. Técnicas modernas de producción de tomate, papa y otras solanáceas. Universidad Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, p10.
- Ramadan, M., J. Morsel. 2003. Oil goldenberry (*Physalis peruviana* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 969-974.
- Ramadan, M. 2012. *Physalis peruviana* pomace suppresses high-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia in rats. Grasas y Aceites 63: 411-422.
- Reyes-Reyes, E. M., Z. Jin, A. J. Vaisberg, G. B. Hammond, P. J. Bates. 2013. Physangulidine A, a withanolide from *Physalis angulata*, perturbs the cell cycle and induces cell death by apoptosis in prostate cancer cells. Journal of Natural Products 76: 2-7.
- Richman, A. D., J. R. Kohn. 2000. Evolutionary genetics of self-incompatibility in the Solanaceae. Plant Molecular Biology 42: 169-179.
- Rockenbach, I. I., E. Rodrigues, C. Cataneo, L. V. Gonzaga, A. Lima, J. Mancini-Filho, R. Fett. 2008. Ácidos fenólicos e atividade antioxidante em fruto de *Physalis peruviana* L. Alimentos e Nutrição 19: 271-276.
- Rodríguez, N. C., M. L. Bueno. 2006. Estudio de la diversidad citogenética de *Physalis peruviana* L. (Solanaceae). Acta Biológica Colombiana 11: 75-85.
- Santiaguillo-Hernández J. F., S. Blas-Yáñez. 2009. Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. Revista de Geografía Agrícola 43: 81-86.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). www.siap.gob.mx Consultado el 11/2013.
- Sullivan, J. R. 1985. Systematics of the *Physalis viscosa* Complex (Solanaceae). Systematic Botany 10: 426-444.
- Taiz L., E. Zeiger. 1991. The Benjamin/Cummings Publishing California.
- Talianova, M., B. Janousek. 2011. What can we learn from tobacco and other Solanaceae about horizontal DNA transfer? American Journal of Botany 98: 1231-1242.
- The tomato genome consortium. 2012. The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution. Nature 485: 635-641.
- Valko, M., M. Izakovic, M. Mazur, C. J. Rhodes, J. Telser. 2004. Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence. Mollecular and Cellular Biochemistry 266: 37-56.
- Vargas-Ponce, O., L. F. Pérez-Álvarez, P. Zamora-Tavares, A. Rodríguez. 2011. Assesing genetic diversity in Mexican Husk Tomato Species. Plant Molecular Biology Reporter 29: 733-738.
- Vargas-Ponce, O., M. Martínez, P. Dávila-Aranda. 2003. La familia Solanaceae en Jalisco –El género *Physalis*-. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.
- Venkatesh, J., S. W. Park. 2012. Plastid genetic engineering in Solanaceae. Protoplasma 249: 981-999.
- Verhaar, M. C., E. Stroes, T. J. Rabelink. 2002. Folates and cardiovascular disease. Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology 22: 6-13.
- Wang, L., Z. Li, C. He. 2012. Transcriptome-wide mining of the differentially expressed transcripts for natural variation of floral organ size in *Physalis philadelphica*. Journal of Experimental Botany 63: 6457-6465.
- Weber, J. L., P. E. May. 1989. Abundant class of human DNA polymorphisms which can be typed using the polymerase chain reaction. American Journal of Human Genetics 44: 388-396.
- Wei, J., X. Hu, J. Yang, W. Yang. 2012. Identification of single-copy orthologous genes between *Physalis* and *Solanum lycopersicum* and analysis of genetic diversity in *Physalis* using molecular markers. Plos One 7: 11. E50164.

- Whitson, M., P. S. Manos. 2005. Untangling *Physalis* (Solanaceae) from the physaloids: A two-gene phylogeny of the Physalinae. *Systematic Botany* 30: 216-230.
- Whitson, M. 2011. (2016) Proposal to conserve the name *Physalis* (Solanaceae) with a conserved type. *Taxon* 60: 608-609.
- Yi-Zheng, L., P. Ying-Ming, H. Xiao-Yan, W. Heng-Shan. 2008. Withanolides from *Physalis alkekengi* var. *francheti*. *Helvetica Chimica Acta* 91: 2284-2291.
- Zein, I., G. Wenzel, J. R. Andersen, T. Lübberstedt. 2007. Low level of linkage disequilibrium at the COMT (caffeic acid O-methyl transferase) locus in European maize (*Zea Mays* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 139-148.

