



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
POSGRADO DE HORTICULTURA

Caracterización fisicoquímica de frutos y potencial antioxidante de extractos de *Physalis* spp.

TESIS PROFESIONAL QUE
COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

Grigna Josefina Piña Dumoulin

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

Dr. Aureliano Peña Lomelí



CHAPINGO, TEXCOCO, MÉXICO; MAYO DE 2022.

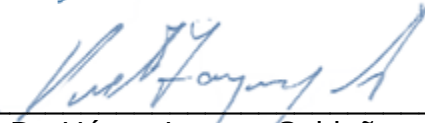
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS Y POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS DE *Physalis* spp. Tesis realizada por **GRIGNA JOSEFINA PIÑA DUMOULÍN** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

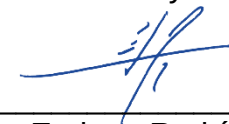
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: 
Dr. Aureliano Peña Lomelí

ASESOR: 
Dra. María del Rosario García Mateos

ASESOR: 
Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

ASESOR: 
Dr. Héctor Lozoya Saldaña

ASESOR: 
Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

LECTOR EXTERNO: 
Dr. Onécimo Grimaldo Juárez

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE APÉNDICES.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	x
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xi
RESUMEN GENERAL.....	13
GENERAL ABSTRACT.....	14
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	15
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
1. Importancia del género <i>Physalis</i>	20
2. Clasificación botánica, origen, distribución y usos.....	21
3. Metabolitos secundarios y <i>Physalis</i> spp.....	24
4. Literatura citada.....	28
III. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS	
CULTIVADOS Y SILVESTRES DEL GÉNERO <i>Physalis</i> spp.....	34
RESUMEN.....	35
ABSTRACT	36
1. Introducción	37
2. Materiales y métodos	40
2.1. Peso de frutos.....	41
2.2. Diámetro ecuatorial, diámetro polar y relación DE/DP.....	41
2.3. Firmeza de frutos.....	41
2.4. Proporción peso de cáliz.....	41
2.5. Luminosidad, °Hue y Croma.....	41

2.6. pH.....	41
2.7. Sólidos solubles totales.....	42
2.8. Acidez titulable.....	42
2.9. Índice de madurez.....	42
2.10. Vitamina C.....	42
2.11. Clorofila y Carotenoides.....	42
3. Resultados.....	42
4. Discusión.....	53
5. Conclusiones.....	59
6. Literatura citada.....	60
IV. COMPUESTOS BIOACTIVOS EN FRUTOS CULTIVADOS Y SILVESTRES DE <i>Physalis</i> spp.....	66
RESUMEN.....	67
SUMMARY.....	68
1. Introducción.....	69
2. Materiales y métodos.....	71
2.1. Material vegetal.....	71
2.2. Luminosidad, Croma y °Hue.....	72
2.3. Carotenoides.....	73
2.4. Sapogeninas.....	73
2.5. Compuestos fenólicos totales.....	73
2.6. Antocianinas.....	73
2.7. Actividad antioxidante.....	73
3. Resultados y Discusión.....	74
4. Conclusiones.....	80
5. Bibliografía.....	81
6. Apéndices.....	86
V. CONCLUSIONES GENERALES.....	90

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO II

Cuadro 1. Usos de las especies de <i>Physalis</i> en México.....	23
---	----

CAPÍTULO III

Tabla 1. Poblaciones del género <i>Physalis</i> evaluadas y su descripción.....	40
Tabla 2. Análisis de varianza de las características físicas evaluadas en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	43
Tabla 3. Comparación de grupos entre variables físicas de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	44
Tabla 4. Comparación de medias para características físicas en 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	44
Tabla 5. Comparación de medias para los parámetros de color en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	46
Tabla 6. Comparación de grupos entre parámetros de color de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	47
Tabla 7. Análisis de varianza de las características químicas evaluadas en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	47
Tabla 8. Comparación de medias entre parámetros químicos en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	48
Tabla 9. Comparación de grupos entre variables químicas de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	49
Tabla 10. Análisis de varianza del contenido de clorofila y carotenoides totales obtenidos en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	50
Tabla 11. Comparación de medias del contenido de clorofila y carotenoides	

totales obtenidos en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	50
Tabla 12. Correlaciones para 16 variables fisicoquímicas evaluadas en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	52

CAPÍTULO IV

Cuadro 1. Poblaciones del género <i>Physalis</i> evaluadas y su descripción.....	72
Cuadro 2. Análisis de varianza de las variables determinadas en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	75
Cuadro 3. Comparación de medias para las variables determinadas en 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	76
Cuadro 4. Correlaciones para tres variables de color y cinco variables fitoquímicas evaluadas en frutos de 11 poblaciones de <i>Physalis</i> spp.....	80

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Distribución geográfica de *Physalis* en el estado de Querétaro.....22

CAPÍTULO IV

Figura 1. Actividad antioxidante (% de inhibición del radical ABTS) en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.....79

LISTA DE APENDICES

CAPÍTULO IV

Cuadro 1. Concentraciones de Diosgenina para la curva estándar.....	87
Figura 1. Curva estándar de Diosgenina.....	87
Cuadro 2. Concentraciones de ácido gálico para la curva estándar.....	88
Figura 2. Curva estándar de ácido gálico.....	88
Cuadro 3. Concentraciones de Trolox para la curva estándar.....	89
Figura 3. Curva estándar de Trolox.....	89

DEDICATORIA

A Dios.

A mi dulce, inigualable y sabio padre, Toribio Marcelino Piña Mavarez.

A mi hermoso y leal esposito, por siempre, Sacramento Magaña Lemus.

Al amor más incondicional, mi mascota Yorky.

A mi familia de sangre.

A mi familia adoptada.

A mis amigos.

A mis compañeros circunstanciales.

A Venezuela, mi tierra natal.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

A mi distinguido Comité Asesor.

Al personal de apoyo del Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara.

A los compañeros del Postgrado de Horticultura.

A México.

DATOS BIOGRÁFICOS

Grigna Josefina Piña Dumoulín es originaria de la ciudad de Maracay, estado Aragua, Venezuela. Realizó sus estudios de nivel superior en la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, Maracaibo, estado Zulia, Venezuela; y maestría en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México, México. En 1994, obtuvo el título de Ingeniera Agrónoma con la tesis “Efecto de la fertilización nitrogenada y la poda sobre la producción de guayaba (*Psidium guajava*), en el municipio Mara del estado Zulia”. En el 2000, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el Programa de Fruticultura con la tesis “Atmósferas controladas para combatir el daño postcosecha de *Botrytis cinerea* Pers. en Zarzamora”.

Se desempeñó como profesora interina de la cátedra Propagación de Plantas de la carrera de Ingeniería Agronómica (1995-1996); y profesora invitada de la cátedra Fisiología y Manejo Postcosecha de Frutos del Postgrado de Fruticultura (2000 y 2003), ambas en la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia. Investigadora en Biotecnología y Vitivinicultura en el Centro de Desarrollo Vitícola Tropical, Institución adscrita a la Corporación de Desarrollo de la Región Zuliana (1994-2003), municipio Mara, Venezuela. Investigadora responsable de los bancos de germoplasma de Guayaba (*Psidium guajava* L.), Níspero [*Manilkara zapota* (L.) Van Royen], Guanábana (*Annona muricata* L.) y del Jardín de Frutales Varios (con más de 60 especies), así como del Laboratorio de Fisiología Postcosecha de Frutos del Centro de Investigaciones Agropecuarias del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (2003-2022), Maracay, Venezuela.

Autora de ocho artículos científicos: Atmósferas controladas para combatir daños postcosecha en Zarzamora (*Rubus* sp.); Parámetros de calidad en frutos de variedades FHIA (*Musa*) bajo condiciones del Edo. Aragua, Venezuela; Atributos de calidad en frutos de híbridos FHIA (*Musa*) para tres ciclos de cosecha; Crecimiento, producción y calidad de frutos en limeros ‘Persa’ (*Citrus latifolia* Tan.) sobre 11 portainjertos; Calidad de racimo e índice de cosecha en híbridos FHIA 01, 02, 17 y 23 (*Musa* spp.) en el Estado Aragua, Venezuela; Producción y calidad de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.); Caracterización físico-química de frutas frescas no tradicionales en el estado Aragua, Venezuela. I. La Yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.); Caracterización físico-química de frutas frescas no tradicionales en el estado Aragua, Venezuela. II. La Pitanga (*Eugenia uniflora* L.). Coautora de tres artículos científicos: Insectos asociados al cultivo de la grosella de Ceilán en Maracay, estado Aragua, Venezuela; Caracterización de productores y mercadeo de la piña en la comunidad rural El Arbolito, municipio Valencia, estado Carabobo (2007-2009); Selección de plantas élites de lechosa ‘Maradol’ para la producción de semillas de calidad. También es autora de ocho artículos divulgativos y un capítulo de libro.

Participante en 64 cursos y talleres. Facilitadora en 36 actividades para la formación de talentos. Expositora en 23 congresos y eventos científicos nacionales e internacionales, relacionados con

la Horticultura. Reconocida en Venezuela como candidata nivel 2 e investigadora nivel B del Programa de Estímulo a la Innovación y la Investigación (PEII) por 2 y 6 años, respectivamente.

Ingresó al Posgrado en Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, para realizar sus estudios de Doctorado durante el período enero de 2018 a diciembre de 2021.

RESUMEN GENERAL

Caracterización fisicoquímica de frutos y potencial antioxidante de extractos de *Physalis* spp.¹

Physalis spp. es uno de los géneros más diversos de la familia Solanaceae. México es centro de origen y domesticación de aproximadamente 70 especies de este género, entre las que se encuentra *P. ixocarpa* o tomate de cáscara, que se cultiva en 30 de los 32 estados de la República y cuyo consumo data de la época prehispánica. A excepción de *P. angulata*, el resto de las especies podrían considerarse silvestres y subutilizadas. Se evaluaron las características fisicoquímicas y se determinaron compuestos bioactivos y actividad antioxidante en frutos de 11 poblaciones cultivadas y silvestres de *P. ixocarpa* (Jade TFG, Zafiro MSM, Arandas 158JAL42, Arandas 173JAL57, Arandas 182JAL65, Arandas 183JAL66 y Juanacatlán), *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides* a fin de identificar parámetros de calidad y alternativas de uso. Las poblaciones de *P. ixocarpa* cultivadas presentaron mayor peso, dimensiones y firmeza, mientras que en *P. peruviana* y las poblaciones silvestres hubo menor expresión de dichos caracteres. *Physalis peruviana* presentó el mayor croma y el menor °Hue. Los frutos de las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa* tendieron a ser achatados; mientras que los silvestres redondos, similares a *P. peruviana*. *Physalis nicandroides* presentó la mayor proporción de cáliz. La concentración de carotenoides, sapogeninas, compuestos fenólicos, antocianinas y actividad antioxidante fue diferente entre las poblaciones. *Physalis nicandroides* obtuvo el mayor contenido de carotenoides (762.15 µg.100 g⁻¹ PF) y *P. peruviana* el mayor de sapogeninas (59.56 mg DE. 100 g⁻¹ PF). El mayor peso y tamaño de fruto evidencian el mejoramiento genético realizado en las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa*. *Physalis nicandroides* es nutricionalmente promisorio por su alto contenido de carotenoides. Las poblaciones evaluadas poseen alto contenido de bioactivos y alta actividad antioxidante, lo que las hace promisorias como alimento funcional y para uso agroindustrial.

Palabras clave: Antioxidantes, calidad, nutrimentos, recursos fitogenéticos.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Grigna Josefina Piña Dumoulín.

Director de Tesis: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

GENERAL ABSTRACT

Physicochemical characterization of fruits and antioxidant potential of *Physalis* spp. extracts¹

Physalis spp. is one of the most diverse genera of the Solanaceae family. Mexico is the center of origin and domestication of approximately 70 species of this genus, among which is *P. ixocarpa* or husk tomato, it grown in 30 of the 32 states of the Republic and its consumption dates back to pre-hispanic times. With the exception of *P. angulata*, the rest of the species could be considered wild and underutilized. Physicochemical characteristics were evaluated and bioactive compounds and antioxidant activity were determined in fruits of 11 cultivated and wild populations of *P. ixocarpa* (Jade TFG, Zafiro MSM, Arandas 158JAL42, Arandas 173JAL57, Arandas 182JAL65, Arandas 183JAL66 and Juanacatlán), *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* and *P. nicandroides* in order to identify quality parameters and alternatives for use. The cultivated populations of *P. ixocarpa* presented greater weight, dimensions and firmness, while in *P. peruviana* and the wild populations there was a minor expression of these characters. *Physalis peruviana* presented the highest chroma and the lowest °Hue. The fruits of the cultivated populations of *P. ixocarpa* tended to be flattened; while the wild ones are round, similar to *P. peruviana*. *Physalis nicandroides* presented the highest proportion of calyx. The concentration of carotenoids, sapogenins, phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity was different between the populations. *Physalis nicandroides* obtained the highest content of carotenoids (762.15 µg.100 g⁻¹ FW) and *P. peruviana* the highest content of sapogenins (59.56 mg DE. 100 g⁻¹ FW). The greater weight and size of the fruit show the genetic improvement made in the cultivated populations of *P. ixocarpa*. *Physalis nicandroides* is nutritionally promising due to its high content of carotenoids. The evaluated populations have a high content of bioactives and high antioxidant activity, which makes them promising as functional food and for agroindustrial use.

Keywords: Antioxidants, quality, nutrients, plant genetic resources.

¹Doctoral Thesis in Science in Horticulture, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Grigna Josefina Piña Dumoulin

Advisor: Dr. Aureliano Peña Lomelí

I INTRODUCCIÓN GENERAL

El crecimiento demográfico mundial ha incrementado la necesidad de consumir alimentos de mayor calidad nutrimental. Las frutas y hortalizas son los productos naturales con mayor aporte de agua, fibra, minerales, vitaminas y antioxidantes, existentes en la naturaleza.

La hortofruticultura mundial comúnmente clasifica sus productos en especies mayores y especies menores, en correspondencia a los volúmenes comercializados; que, en el primer caso, puede traducirse en altos ingresos para el país productor, sobre todo cuando estos forman parte del comercio de exportación. Sin embargo, la importancia de una u otra especie es relativa a la tradición de consumo o demanda y época de producción; y comúnmente, no a su calidad nutrimental y potencial de uso.

La evolución de la ciencia en torno a variadas técnicas de determinación y la asociación de compuestos con el metabolismo de los seres vivos, reafirma el interés por investigar cada día más en la diversidad vegetal y el aprovechamiento de los fitoquímicos para la alimentación humana.

De más de 100 especies de *Physalis* spp. existentes en el mundo y alrededor de 70 distribuidas en México, un número muy limitado son producidas, consumidas y aprovechadas. Una posible causa es el poco conocimiento científico que hay alrededor de estas especies.

El conocimiento ancestral o también llamada “sabiduría popular” ha utilizado diversas especies vegetales para el alivio o control de afecciones en los seres humanos. Es muy probable que el hombre primitivo en su búsqueda de alimento haya probado lo no comestible y lo venenoso, encontrando plantas que causaban sensaciones extrañas y maravillosas; aprendiendo a diferenciar, por ensayo y error, aquellas agradables de sabor de las que no lo eran, lo que se podía consumir crudo o cocido, lo deseable de lo indeseable; además de reconocer

naturalmente las que calmaban heridas o curaban enfermedades (Mall & Tripathi, 2017).

La investigación agrícola fundamenta su asertividad en la observación detallada y la búsqueda de explicaciones a los procesos, que, de forma aleatoria, pueden ocurrir en la naturaleza; y es así, como cobra valor la búsqueda del por qué y el cómo de la tolerancia y sobrevivencia de algunas especies a condiciones adversas o presión de selección. Hoy se conoce que el metabolismo secundario está directamente ligado al éxito de la interacción de las plantas con el ambiente.

A comienzos del siglo XX se suscitan los primeros conocimientos de la importancia del consumo de macronutrientes (proteínas, carbohidratos y lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales esenciales) sobre la salud humana; así como también se realizaron evaluaciones de componentes activos para la prevención y tratamientos de enfermedades, dirigidas específicamente a la concentración y el número de veces que estos deberían rebasar la recomendación de ingesta diaria, para generar el citado efecto (Birujete et al., 2009).

Otros de los significativos adelantos del siglo pasado podrían resumirse en dos aspectos fundamentales: **a.** la relación de las deficiencias de nutrientes con afecciones crónico-degenerativas como enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes, y; **b.** los efectos secundarios del consumo de compuestos producto de la síntesis química; lo que a largo plazo desencadena la importancia, que desde los años 80's a la fecha, poseen la identificación y consumo de alimentos funcionales y productos nutracéuticos (Birujete et al., 2009; Valenzuela et al., 2014).

La oferta de productos de alto contenido vitamínico y poder antioxidante es cada día más demandante, ya que en ellos radica la prevención y combate de muchas enfermedades crónicas y degenerativas que afectan la humanidad.

Como mecanismo de defensa contra heridas o ataques de microorganismos patógenos, en las plantas superiores se induce la síntesis y acumulación de

compuestos de bajo peso molecular, conocidos como metabolitos secundarios (MS); durante esta respuesta hipersensible, algunos compuestos pertenecientes a los grupos de los alcaloides, los terpenoides y los fenilpropanoides, participan de forma activa, matando directamente al microorganismo patógeno o restringiendo su invasión al resto de la planta (Sepúlveda-Jiménez et al., 2003).

Aunque existen diversos MS presentes en los tejidos vegetales asociados al control de hongos patógenos, su forma de activación, concentración y asociación con otros, varía de individuo a individuo; razones a las cuales se le atribuye parte de su efectividad en la acción fungistática o fungicida. Ellos no se encuentran de forma generalizada en una planta; sino de forma restringida, siendo, además, comúnmente asociados a determinadas familias botánicas, como es el caso de los salicinoides salicortina, HCH-salicortina y tremulacina presentes en Salicaceae (Feistel et al., 2015) y el eugenol en Myrtaceae (Chen et al., 2017); pudiendo llegar a ser más específicos de géneros; como la presencia de physalinas en *Physalis* (Castro et al., 2012).

Un grupo numeroso de compuestos fenólicos, como productos del metabolismo secundario, están altamente asociados a la protección natural de los organismos vegetales contra afecciones de agentes fitopatógenos, por lo que cada día se incrementa el número de investigaciones dirigidas a la evaluación de la eficacia antifúngica de los citados compuestos sobre diversos patógenos contaminantes (Zabka & Pavela, 2013), así como a su actividad antioxidante (Medina-Medrano et al. 2015).

En México, el máximo representante del género *Physalis* es *P. oxycarpa*, del cual se posee una importante diversidad de accesiones silvestres y cultivadas. Entre ellas existe una gama de materiales cuya coloración evidencian un posible contenido de flavonoides, tales como han sido referenciados para las especies *P. peruviana*, *P. alkekengi*, *P. solanaceus* y *P. orizabae* (Medina-Medrano et al., 2014), compuestos que se encuentran dentro de los considerados nutraceuticos;

sin descartar otros incoloros con acción similar, como las saponinas y algunos compuestos lipídicos (Wildman, 2007).

En *Physalis* spp. se han identificado y cuantificado physalinas y whitanólidos, los cuales son MS que pertenecen a la familia de los esteroides y que son de relevante importancia para la investigación médica, por su comprobada actividad biológica como antitumorales (Ramadan, 2011). También ha sido documentada la presencia de alcaloides y saponinas en hojas y raíces de plantas de este género (Ariati et al. 2012; Maobe et al., 2013); percibiéndose la presencia de estas últimas, en la generación de espuma, cuando se manipulan los frutos.

En *Physalis ixocarpa*, existen estudios sobre cambios de color en la maduración y conservación postcosecha de frutos, pero sus bondades bioquímicas no han sido muy estudiadas (Benito et al., 2016); aunque en 1988, Ostrzycka et al. reportaron datos del perfil fisicoquímico de los frutos obtenidos por Souza-Novelo (1950) a campo abierto en Yucatán; además de los propios bajo condiciones de invernadero en Polonia. Los resultados resaltan el alto contenido de materia seca, ácido oxálico, Fe, Mg, Vitamina PP y protopectinas.

El conocimiento sobre la composición fisicoquímica y la capacidad nutracéutica de poblaciones de diversas especies de *Physalis* spp. podrían contribuir al mayor aprovechamiento de la alta diversidad silvestre, así como estimular alternativas de uso ya sea para el consumo fresco o agroindustrial. Por lo anteriormente expuesto en esta tesis se realizó: **a.** la determinación de las características fisicoquímicas de frutos de 11 poblaciones cultivadas y silvestres pertenecientes a las especies *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides*, y **b.** la cuantificación de componentes bioactivos y la actividad antioxidante de extractos con base en frutos de las poblaciones anteriormente nombradas.

En el Capítulo III se presenta la caracterización fisicoquímica de los frutos de 11 poblaciones cultivadas y silvestres de *P. ixocarpa* (Jade TFG, Zafiro MSM, Arandas 158JAL42, Arandas 173JAL57, Arandas 182JAL65, Arandas 183JAL66

y Juanacatlán), *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides* a fin de identificar parámetros de calidad y alternativas de uso. Para ello las plantas se establecieron en condiciones de invernadero y sus frutos fueron cosechados en madurez de consumo. Las evaluaciones realizadas permitieron diferenciar parámetros fisicoquímicos entre las poblaciones cultivadas y silvestres. Los frutos cultivados de *P. ixocarpa* fueron más grandes y achatados, mientras que los silvestres tendieron a ser redondos como la especie cultivada *P. peruviana*. El color de *P. peruviana* presentó diferente pigmentación del resto de las poblaciones. Los frutos de las poblaciones Juanacatlán (*P. ixocarpa*), *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides* mantuvieron el cáliz durante todo su desarrollo. La diferencia en el índice de madurez determinado en las poblaciones de *P. ixocarpa* cultivadas y *P. peruviana* dependió de las concentraciones de sólidos solubles totales y no de la acidez titulable; y los valores de sólidos solubles totales, acidez titulable y vitamina C de las poblaciones silvestres fueron más similares a los obtenidos en la población de *P. peruviana*. En *P. nicandroides* se obtuvo la mayor concentración de carotenoides y con excepción de *P. peruviana*, en todos los materiales se evidenció un contenido importante de clorofila.

En el Capítulo IV se presenta la determinación de componentes bioactivos en frutos de las 11 poblaciones de *Physalis* spp. especificadas en el párrafo anterior, así como la actividad antioxidante. En todas las poblaciones se evidenció un alto contenido de compuestos fenólicos y una alta actividad antioxidante, indiferentemente de su condición cultivada o silvestre.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del género *Physalis*

Existen alrededor de 100 especies del género *Physalis* (Soukup, 1987), encontrándose en las últimas dos décadas un amplio número de citas bibliográficas que reflejan su importancia en áreas como botánica, química, farmacología, toxicología y genética (Lopes et al., 2006); siendo parte del interés, su aprovechamiento como fuente de metabolitos secundarios para el control de microorganismos.

En el año 1951, Menzel reporta a *Physalis ixocarpa* y *Physalis peruviana* como las únicas especies cultivadas (esta última como fruta); pero para el 2009 existen superficies de *P. angulata* cultivadas en Jalisco (México) y *P. grisea* en EEUU (Santiaguillo et al., 2009). Confirmándose que, entre los taxas tropicales no recolectados, *Physalis*, sigue siendo un modelo muy prometedor (Salcedo-Pérez et al, 2015), dado al incremento de la demanda internacional como cultivo hortícola de la uchuva y el tomate verde, en ambos casos por el valor nutritivo de sus frutos (Zamora et al., 2015), extendiéndose el interés a otras especies como *Physalis angulata* Lam., por la actividad biológica de sus principios activos sobre el control de microorganismos (Donkor et al., 2012) y otras afecciones del ser humano (Alves dos Santos et al., 2008; Rengifo-Salgado & Vargas-Arana, 2013).

En el año 2000 se sembró en México un total de 51 237 ha, con rendimientos que oscilaban entre 9 y 12 t.ha⁻¹, motivado a una alta demanda de consumo del fruto de tomate de cáscara (SAGARPA, 2002); la mayor superficie con variedades nativas y el resto con mejoradas, obtenidas a partir de las nativas (Santiaguillo et al., 2004); siendo las más cultivadas: 'Rendidora', 'Salamanca', 'Tamazula', 'Rendidora Suprema', 'Súper Cerro Gordo', 'Verde Supremo', 'Yoreme', 'Querétaro', 'Orizaba' y 'Carrizeño' (Cobaleda-Velazco et al., 2013). No obstante, para el año 2016, la superficie cosechada fue de 42 076.43 ha, pero con

rendimientos de 16 t.ha⁻¹ aproximadamente (SIAP, 2018), lo cual puede estar asociado a un mejor manejo de variedades y prácticas culturales; aunque continúa siendo bajo con respecto en su potencial productivo, el cual se reporta entre 28.64 y 63.36 t.ha⁻¹ maximizando la eficiencia del riego (Lopez-López et al., 2009).

2.2. Clasificación botánica, origen, distribución y usos

La palabra *Physalis*, proviene del griego physan o physallis (vejiga) en alusión al cáliz inflado; como género, pertenece a la familia Solanaceae; con un aproximado de 100 especies a nivel mundial (Soukup, 1987), de las cuales más de 50% son endémicas de México, considerándolo, por tanto, centro de origen y diversidad del taxón (Olmsted et al., 2008).

En América algunas especies de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) tienen una importancia económica y cultural para varios grupos étnicos (Kindscher et al., 2012).

Tanto Soukup (1987) como Brako & Zarucchi (1993); reportan a *Physalis angulata* L., *P. peruviana* L., *P. pubescens* L., *P. lagascae* Romer & Schultes y *P. viscosa* L. de origen peruano; aunque en México *P. angulata*, *P. pubescens*, *P. lagascae* y *P. cinerascens*, entre otras, pueden encontrarse en estado silvestre (Santiaguillo et al., 2009). Tal es así, que en el estado de Querétaro pueden localizarse alrededor de 29 especies (Gráfico 1); 38% reconocidas en México y 30% reconocidas en el mundo (Santiaguillo et al., 2012).

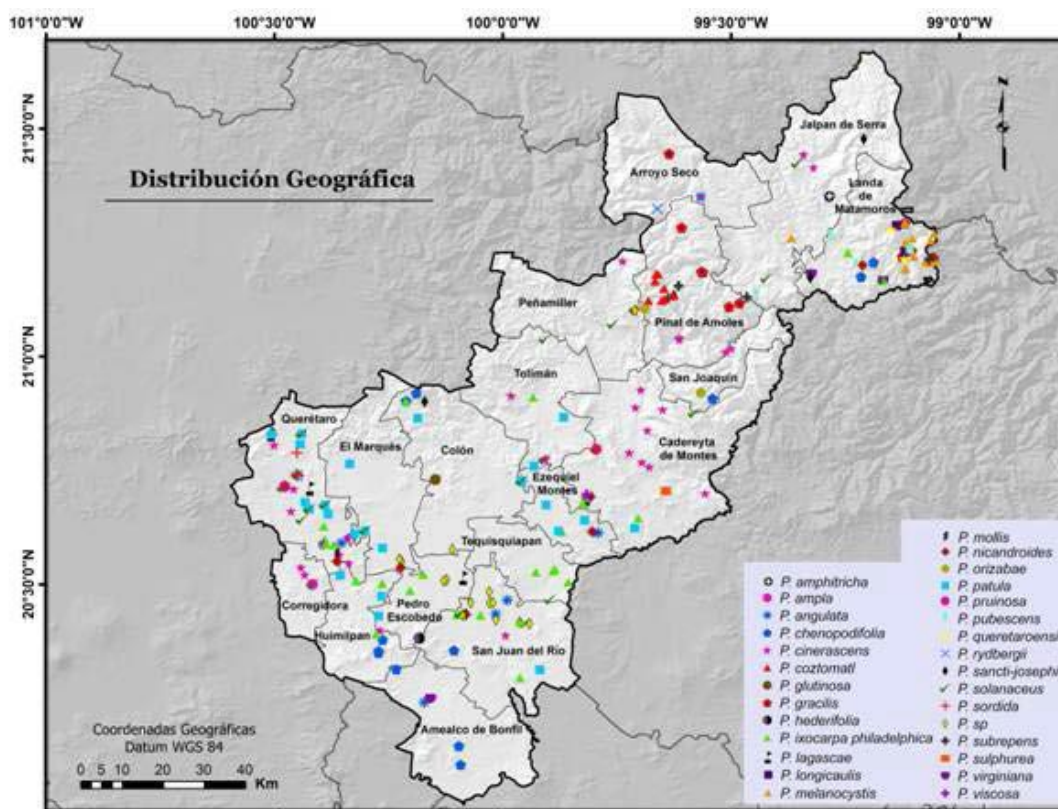


Figura 1. Distribución geográfica de *Physalis* en el estado de Querétaro. Fuente: Santiaguillo et al. (2012).

La amplia variabilidad genética del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) tanto silvestre como domesticado, así como evidencias arqueológicas, con data de cultivo desde la época prehispánica sugieren que es originario de México (MacNeish, 1967) y Centroamérica (Santiaguillo & Blas, 2009); además se considera una especie introducida desde Estados Unidos hasta Panamá y Las Antillas, encontrándose en alturas que van desde 0 a 2 000 m (Lascurain et al., 2010).

Con base en investigación documental realizada sobre materiales resguardados en 15 herbarios mexicanos, se han clasificado varias especies de *Physalis* de acuerdo a sus usos, utilizándose la raíz, el tallo, las hojas, el fruto, el cáliz de la baya e inclusive la planta entera (Cuadro 1).

Cuadro 1. Usos de las especies de *Physalis* en México, según Santiaguillo y Blas (2009).

USOS	ESPECIES
Comestible	
Como fruta	<i>Physalis gracilis</i> Miers
En salsas	<i>Physalis angulata</i> L., <i>Physalis ixocarpa</i> Brot. (= <i>P. philadelphica</i> Lam.), <i>Physalis nicandroides</i> Schltdl.
Quelite	<i>Physalis gracilis</i> Miers, <i>Physalis sancti-josephii</i> Dunal
Culinario	<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. (= <i>P. philadelphica</i> Lam.), <i>Physalis coztomatl</i> Mociño & Sessé ex Dunal.
No especificado	<i>Physalis cinerascens</i> (Dunal) Hitchc., <i>Physalis greenmannii</i> Waterf., <i>Physalis lagascae</i> Roem. & Schult., <i>Physalis pubescens</i> L.
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> Schltdl., <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> Schltdl.
Ornamental	<i>Physalis gracilis</i> Miers
Juguete	<i>Physalis cordata</i> Mill.
Forrajera	<i>Physalis sancti-josephii</i> Dunal
Ceremonial	<i>Physalis nicandroides</i> Schltdl., <i>Physalis máxima</i> .

Lascurain et al. (2010) también reportan a *Physalis orizabae* Dunal o jitomate amarillo y *Physalis pubescens* L. (miltomate, tomate o tomatillo), como especies comestibles.

Evaluaciones iniciales en *Physalis* de consumo local en México, como es el caso de *P. acutifolia* y *P. pubescens* (ambas anuales) y *P. chenopodifolia* (perenne), con frutos de tamaño mediano (1-1.8 cm de diámetro), muestran valores de pH, proteínas, lípidos, fibras, minerales y contenidos de azúcares, similares a otros *Physalis* cultivados (*P. ixocarpa* y *P. peruviana*), así como de *Lycopersicum esculentum*, incrementando su potencial como cultivo hortícola y para la nutrición humana (Valdivia-Mares et al., 2016).

Physalis ixocarpa además de ser el ingrediente principal para la preparación de la salsa verde es utilizada en la medicina tradicional para tratar problemas respiratorios (Lascurain et al., 2010).

2.3. Metabolitos secundarios y *Physalis* spp.

En la dinámica de sobrevivencia, las plantas tienen la capacidad de generar defensas químicas de diversa índole con elevada actividad biológica tóxica o inhibidora, algunas de ellas, previas al reconocimiento del patógeno, como fenoles, lignina, taninos, saponinas, antocianinas, flavonoides, glucosinolatos, lectinas, glucanasas y quitinasas, entre otros (Kliebeinstein, 2004). En algunos casos los compuestos pueden encontrarse en concentraciones normales capaces de inhibir el patógeno, asociados comúnmente a materiales tolerantes, y en ocasiones incrementar su concentración a consecuencia de una infección (Montes, 2009).

Los MS son todos aquellos compuestos que, aunque no estén considerados indispensables para la vida, incrementan la posibilidad de sobrevivencia de un organismo ante la defensa de sus agresores bióticos y abióticos. Es por ello, que continuamente se exploran nuevas fuentes de estos, que puedan representar una alternativa de aplicación exógena para el control de infecciones por patógenos.

El metabolismo secundario en las plantas son una fuente importante de principios activos, incluidas las drogas, vitaminas y otros compuestos de valor agregado (Hassan et al., 2017).

Existen evidencias donde el mayor contenido de MS se identifica en plantas silvestres, pero también se incrementa en plantas tetraploides (Molero-Paredes & Matos, 2008); dado que en la poliploidización frecuentemente ocurre un incremento en el tamaño de las células y cambios en la producción de metabolitos secundarios (Lavania, 2005). Experiencias en *Physalis ixocarpa* confirman un

mayor contenido de Vitamina C en materiales tetraploides comparados con el diploide 'Rendidora' (Jiménez-Santana et al., 2012).

En el caso de los miembros del género *Physalis*, estos producen metabolitos bioactivos tales como esteroides, lactonas y withanólidos; siendo estos últimos un grupo de lactonas esteroidales presentes en los géneros *Acnistus*, *Datura*, *Jaborosa*, *Lycium*, *Withania* y *Physalis* de la familia Solanaceae (Ramadan et al., 2011) que exhiben un amplio espectro de actividad biológica, entre las que resalta su efecto citotóxico (Lan et al., 2009) e insecticida, tal como fue demostrado con un aislado de withanólido E sobre larvas de *Spodóptera littoralis* (Ascher et al., 1980). En este sentido, Lan et al. (2009) caracterizó siete nuevos withanólidos de extractos de *Physalis peruviana*: phyperunolide A (1), phyperunolide B (2), phyperunolide C (3), phyperunolide D (4), peruvianoxide (5), phyperunolide E (16), phyperunolide F (17), junto a otros 10 conocidos.

La demanda del fruto de *Physalis ixocarpa* se ha incrementado debido a sus propiedades sensoriales y alimenticias, así como a sus cualidades funcionales y terapéuticas provenientes de su contenido de carotenoides, fenoles y ácido ascórbico, entre otros (Ibave-González & Ochoa, 2007; González-Mendoza et al., 2011). Además, se presenta como una buena fuente alternativa de pectina con características fisicoquímicas altamente distintivas (Morales-Contreras et al., 2017).

En *Physalis alkekengi* se han caracterizado alrededor de 124 compuestos químicos de diferentes partes de la planta, siendo los esteroides (physalinas) y flavonoides los constituyentes con mayor actividad antimicrobiana, entre otras funciones farmacológicas (Ai-Link et al., 2018). En tanto que en *Physalis angulata* se ha determinado la presencia de los metabolitos Physalin B, Physalin G y Quercetin 3-O-rutinoside; infiriendo, de acuerdo con los resultados de pruebas de inhibición de actividad sobre la enzima α -glucosidasa, que Physalin G tiene potencial en tratamientos contra la diabetes (Ton Nu et al., 2016). Aunado a ello, estudios realizados por Guimarães et al. (2009) demostraron un efecto inmunomodulatorio de un purificado de las physalinas B y F de *Physalis*

angulata contra la Leishmaniasis cutánea. Resultados similares obtuvieron Castro et al. (2012) al confrontar insectos de *Rhodnius prolixus* con extractos de Physalin B observando una actividad antibacteriana contra el *Trypanozoma cruzi*, lo cual se atribuyó a una mayor concentración de nitritos y nitratos estimulado por la presencia de este esteroide a nivel del intestino de los insectos infectados.

Extractos crudos formulados y no formulados de *Physalis angulata* contra *Staphylococcus aureus* parecen justificar el uso generalizado de la planta en el tratamiento de forúnculos, llagas y heridas en Ghana (Donkort et al., 2012).

En *Physalis peruviana* se ha observado un creciente interés científico y comercial (Olivares-Tenorio et al., 2016). Sus frutos son considerados altamente nutritivos por contener componentes promotores de la salud, como minerales, compuestos fenólicos (catequinas y epicatequinas), así como vitamina A (β -carotenos) y C (ácido ascórbico); siendo usados en la medicina como agentes mutagénicos, antiespasmódicos, anticoagulantes y antileucémicos (Olivares-Tenorio et al., 2017; Hassan et al., 2017). Además, éstos contienen vitaminas del complejo B y altos niveles de fósforo, para ser un fruto (Ramadan, 2011). En los frutos se ha reportado un alto contenido de aceites como de ácidos grasos linoleico (70,5 %), oleico (13%), palmítico y-linolénico, aunado a compuestos nutrimentales liposolubles como la vitamina E (tocoferoles) y carotenos (provitamina A), que les confieren estabilidad a estos aceites; permitiéndoles ser almacenados por varios meses en una atmósfera libre de humedad (Ramadan & Mörsel, 2003). Lan et al. (2009) resaltan, además, que la concentración elevada de vitamina K₁ es la característica más singular del aceite de *Physalis peruviana*.

Estudios en esta misma especie evidencian actividad antimicrobiana *in vitro* de extractos etanólicos obtenidos a partir de raíces, ramas, hojas y cáliz, aplicando el test de difusión en agar contra las bacterias *Bacillus subtilis*, *Sarcinia lutea*, *Neisseria* sp., *Mycobacterium phlei*; de igual forma, con extractos etanólicos de hojas se ha observado buena actividad contra *Escherichia coli* y *Candida albicans* (Lock & Rojas, 2005); lo cual puede estar asociado a la presencia de algunos MS, dado que en estudios preliminares realizadas por Ariati et al. (2012)

en raíces y en hojas de *Physalis peruviana* L. y *P. pubescens* L., se confirmó la presencia de saponinas, taninos, flavonoides y alcaloides en extractos de hoja, mientras que en los de raíz solo se identificaron saponinas, taninos y alcaloides; resultando negativo la presencia de antraquinonas/quinonas.

Por otra parte, el extracto obtenido de la piel y la pulpa de la fruta de *P. peruviana* L. tiene altos niveles de esteroides vegetales (campesterol, β -sitosterol y stigmasterol, entre otros). La literatura científica y médica describe que los fitoesteroides proveen una amplia variedad de efectos fisiológicos, tales como antiinflamatorio, antitumoral, antibacteriano y antifúngico (Puente et al., 2011).

Sin embargo, es importante acotar que el contenido de metabolitos en frutos puede variar dependiendo de su desarrollo; al respecto estudios conducidos por Valdenegro et al. (2012) demuestra un aumento del nivel de antioxidantes y compuestos fenólicos durante la maduración de la fruta.

En estudios realizados por Salcedo-Pérez et al. (2015) en *Physalis chenopodifolia* Lam. silvestre y cultivada, se determinó un mayor contenido de minerales en las muestras procedentes de cultivo, resaltando en el fruto el contenido de K y Mn, y en hojas K, N, Mn y Fe; además de la presencia en tallo, cáliz y hojas del mayor número de metabolitos como esteroides/terpenos, compuestos fenólicos y flavonoides, al realizarse extractos acuosos e hidroalcohólicos, dado que el rendimiento y tipo de metabolitos dependen del extracto utilizado debido a su polaridad. Otros metabolitos de interés biológico encontrados fueron los whitanólidos y compuestos fenólicos en mayor proporción que alcaloides. Además, estos autores también afirman que las condiciones edáficas y ambientales tienen influencia en la presencia de minerales y componentes fitoquímicos de *Physalis chenopodifolia*.

Diversos estudios fitoquímicos se han realizado en *Physalis* distribuidos en la India, tales como *P. alkekengi* L., *P. angulata* L., *P. ixocarpa* Brot. Ex. DC.; *P. longifolia* Nutt.; *P. minima* L. y *P. peruviana* L. (Sharma et al., 2015); de los cuales se puede destacar el aislamiento de Physalin A, B, C; flavonoides; physalin H;

isophysalin B y 5 β ; 6 β -epoxyphysalin B y dos nuevas physalinas de la planta entera de *Physalis minima* (Gloter et al., 1975; Choudhary et al., 2007).

Zeiger (1998), Hu et al. (1999) y Zhou et al. (2006) reportaron la presencia de metabolitos como la solanina, escopolamina, atropina, hiosciamina, nicotina y saponinas en solanáceas. Maobe et al. (2013) refiere la presencia de otros alcaloides, saponinas, taninos, esteroides y flavonoides en hojas de *Physalis peruviana* extraídas con ácido acético; y Pfoze et al. (2013) señalaron la presencia de alcaloides, flavonoides y taninos con extracciones metanólicas; no siendo efectiva para saponinas.

LITERATURA CITADA

- Ai-Ling, Lia, Bang-Jiao, Chenb, Guo-Hui, Lic, Ming-Xing, Zhoua, Yan-Ru, Lia, Dong-Mei, Rena, Hong-Xiang, Loua, Xiao-Ning, Wanga, & Tao, Shena, (2018). *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino: An ethnomedical, phytochemical and pharmacological review. *Journal of Ethnopharmacology*, 210, 260–274.
- Alves dos Santos, R., Cabral, T. R., Cabral, I. R, Antunes, L. M, Pontes, C., Cerqueira dos Santos P., de Oliveira, M., Pessoa, C., Martins do Nascimento, J. L., Rodríguez, R., & Takahashi, C. S. (2008). Genotoxic effect of *Physalis angulata* L. (Solanaceae) extract on human lymphocytes treated in vitro. *Biocell*, 32(2), 195-200. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18825913>
- Ariati, A. C., dos Passos, A. I., Oliveira, M., Bertonecelli, D. J., & Feltrin, P. (2012). Compostos do metabolismo secundário presentes em *Physalis* spp. L. (Solanaceae). Seção: Fisiologia/Fitoquímica/Bioquímica. 63º Congresso Nacional de Botânica. 11 a 16 de novembro. Joinville –SC. Brasil.
- Ascher, K. R. S., Nemny, N. E., Eliyahu, M., Kirson, I., Abraham, A., & Glotter, E. (1980). Insect antifeedant properties of withanolides and related steroids from Solanaceae. *Experientia*, 36, 998–999.
- Benito, P., Arellanes N., Gámez, R., & Cuevas, D. (2016). Efecto de la temperatura en el comportamiento postcosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) var. Rendidora. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 3(1), 1-14.
- Birujete, A., Juárez, E., Sieiro, E., Romero, R., & Silencio, J.L. (2009). Los nutraceuticos. Lo que es conveniente saber. Artículo de Revisión. *Revista Mexicana de Pediatría*, 76(3), 136-145.

- Braco, L. & Zarucchi, J.L. (1993). Catalogue of the flowering plants and conifers of Perú. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden, 45, 1-1285.
- Castro, D. P., Moraes, C.S., Gonzalez, M. S., Ribeiro, I. M., Tomassini, T.C.B., Azambuja, P., & Garcia, E. S. (2012). Physalin B inhibits *Trypanosoma cruzi* infection in the gut of *Rhodnius prolixus* by affecting the immune system and microbiota. *Journal of Insect Physiology*, 58(12), 1620-1625. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.10.001>
- Cobaleda-Velasco, M., Reyes-Martínez, A., Barriada-Bernal, G., Medina-Medrano, J. R., Torres-Ricario, R., Delgado-Alvarado, E. A., Alanis-Bañuelos, R. E., & Almaraz-Abarca, N. (2013). Una mirada general al tomate de cáscara (*Physalis*). *Vidsupra*, 5(2), 90-99.
- Chen, X., Ren, L., M.; Qian, J., Fan, J., & Du, B. (2017). Effects of clove essential oil and eugenol on quality and browning control of fresh-cut lettuce. *Food Chemistry*, 214 (1), 432-439. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.101>
- Choudhary, I., Yusuf, S., Yasmeen, K., & Atta-Ur-Rahman. (2007). Antileishmanial physalins from *Physalis minima*. *Natural Product Research*, 21(10), 877-883.
- Donkor, A. M., Glover R. L. K., Bateng J. K., & Gakpo V. Y. (2012). Antibacterial activity of the fruit extract of *Physalis angulata* and its formulation. *Journal of Medical and Biomedical Sciences*, 1(4), 21-26.
- Feistel, F., Paetz, C., Sybillz, L., & Schneider, B. (2015). The Absolute Configuration of Salicortin, HCH-Salicortin and Tremulacin from *Populus trichocarpa* × *deltoides* Beaupré. *Molecules*, 20, 5566-5573.
- Glatter, E., Kirsol, I., Abraham, A., Sethi, D., & Suramanian, S. (1975). Steroidal constituents of *Physalis minima* (Solanaceae). *Journal of the Chemical Society Perkin*, 14, 1370- 1374.
- González-Mendoza, D., Ascencio-Martinez, D., Hau, A., Mendez-Trujillo, V., Grimaldo-Juarez, O., Santiaguillo, J. F., Cervantes, L., & Aviles, S. M. (2011). Phenolic compounds and physiochemical analysis of *Physalis ixocarpa* genotypes. *Scientific Research and Essays*, 6(17), 3808-3814. doi: 10.5897/SRE11.570
- Guimarães, E., Lima, M., Santos, L., Ribeiro, I., Tomassini, T., Dos Santos, R., Dos Santos, W., & Soares, M. (2009). Activity of physalins purified from *Physalis angulata* in *in vitro* and *in vivo* models of cutaneous leishmaniasis. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 64, 84-87. <https://doi.org/10.1093/jac/dkp170>
- Hassan, H., Serag, H., Qadir, M., & Ramadan, M. (2017). Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) juice as a modulator agent for hepatocellular carcinoma-linked apoptosis and cell cycle arrest. *Biomedicine &*

- Hu, K., Kobayashi, H., Dong, A., Jing, Y., Iwasaki, S., & Yao, X. (1999). Antineoplastic agents. III: Steroidal glycosides from *Solanum nigrum*. *Planta Medica*, 65(1), 35-8.
- Ibave-González, J. L., & Ochoa, M. (2007). Cuantificación de los diferentes folatos presentes en tomatillo (*Physalis ixocarpa*) por cromatografía de líquidos de alta resolución. *Revista Tecnociencia*, 1(1), 9-16.
- Jiménez-Santana, E., Robledo-Torres, V., Benavides-Mendoza, A., Ramírez-Godina, F., Ramírez-Rodríguez, H., & de la Cruz-Lázaro, E. (2012). Calidad de fruto de genotipos tetraploides de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*, 28(2), 153-161.
- Kindscher, K., Long, Q., Corbett, S., Bosnak, K., Loring, H., Cohen, M., & Timmermann, B. (2012). The ethnobotany and ethnopharmacology of wild tomatillos, *Physalis longifolia* Nutt., and related *Physalis* species: a review. *Economic Botany*, 66 (3), 298–310.
- Kliebenstein, D. (2004). Secondary metabolites and plant/environment interactions: a view through *Arabidopsis thaliana* tinged glasses. *Plant, Cell y Environment*, 27(6), 675-684.
- Lan, Y. -H., Chang, F. -R., Pan, M. -G., Wu, C. -C., Wu, S. -J., Chen, S. -L., Wang, S. -S.; Wu, M. -J., Wu, & Y. -Ch. (2009). New cytotoxic withanolides from *Physalis peruviana*. *Food Chemistry*, 116, 462–469.
- Lascurain, M., Avendaño, S., del Amo, S., & Niembro, A. (2010). Guía de frutos silvestres comestibles en Veracruz. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, Conafor-Conacyt, México.
- Lavana, U. C. (2005). Genomic and ploidy manipulation for enhanced production of phyto-pharmaceuticals. *Plant Genetic Resources*, 3, 170–177. <https://doi.org/10.1079/PGR200576>
- Lock, O., & Rojas, R. (2005). Química y Farmacología de *Physalis peruviana* L. ("Aguaymanto"). *Revista de Química*, 19(2), 65-70. Retrieved from <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/18733/18970>
- Lopes, D., Freitas, Z.; Santos, E., & Tomassini, T. (2006). Atividades antimicrobiana e fototóxica de extratos de frutos e raízes de *Physalis angulata* L. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 16(2), 206-210. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2006000200013>
- López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., López-Cruz, I.L., & Sánchez-Cohen, I. (2009). Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(1), 83-89.

- MacNeish, R. S. (1967). "An Interdisciplinary Approach to an Archaeological Problem". En: The Prehistory of the Tehuacan Valley, Vol. 1, Environment and Subsistence, Douglas S. Byers (Ed.). USA: University of Texas Press: 14-24.
- Mall, T., & Tripathi, S. (2017). Diversity of Wild Nutritional Fruits of District Bahraich, Uttar Pradesh, India. *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol.* 4(1), 65-76. doi: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcrbp.2017.401.008>
- Maobe, M. A. G., Gatebe E., Gitu, L., & Rotich, H. (2013). Preliminary phytochemical Screening of Eight Selected Medicinal Herbs Used for the Treatment of Diabetes, Malaria and Pneumonia in Kisii Region, Southwest Kenya. *European Journal of Applied Science*, 5(1), 01-06. DOI: 10.5829/idosi.ejas.2013.5.1.65127
- Medina-Medrano, J. R., Aviña-Martínez, G.N., & García-Pereyra, J. (2014). Revisión de flavonoides identificados en el género *Physalis* (Solanaceae), su capacidad antioxidante e importancia como marcadores químicos. *Naturaleza y Desarrollo*, 12(1), 16-27.
- Menzel Y. (1951). The cytotaxonomy and genetics of *Physalis*. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 95(2), 132-183.
- Molero-Paredes T., & Matos A. (2008). Efectos de la inducción artificial de la poliploidía en plantas de *Aloe vera* (L.). *Boletín Centro de Investigaciones Biológicas Venezuela*, 42(1), 111-133.
- Montes, B. (2009). Diversidad de compuestos químicos producidos por las plantas contra hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana de Micología*, 29, 73-82.
- Morales-Contreras, B. E., Contreras-Esquivel, J. C., Wicker, L., Ochoa-Martínez, L. A., & Morales-Castro, J. (2017). Husk Tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) Waste as a Promising Source of Pectin: Extraction and Physicochemical Characterization. *Food Chemistry*, 82(7), 1594-1601. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13768> Cited by: 1
- Olivares-Tenorio, M-L, Dekker, M., Verkerk, R., & van Boekel, M.A.J.S. (2016). Health-promoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): Review from a supply chain perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 83-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.009>
- Olivares-Tenorio, M-L, Verkerk, R., van Boekel, M.A.J.S., & Dekker, M. (2017). Thermal stability of phytochemicals, HMF and antioxidant activity in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Functional Foods*, 32, 46–57.
- Olmstead, R.G., Bohs, L., Migid, H.A., Santiago-Valentin, E., Garcia, V.F., & Collier, S. M. (2008). A molecular phylogeny of the Solanaceae. *TAXON*, 57(4), 1159–1181.

- Ostrzycka, J., Horbowicz, M., Dobrzanski, W., Jankiewicz, L., & Borkowski, J. (1988). Nutritive value of tomatillo fruit (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 57(4), 507-521.
- Pfoze, N. L., Kumar, Y. & Myrboh, B. (2013). Screening of bioactive phytochemicals obtained from lesser known ethnomedicinal plants of Senapati district of Manipur, India. *Pleione*, 7(2), 489–50.
- Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44, 1733–1740.
- Ramadan, M.F. & Mörsel, J-T. (2003). Oil Goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 969–974. Retrieved from: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf020778z>
- Ramadan, M. F. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview. *Food Research International*, 44, 1830–1836.
- Rengifo-Salgado, E., & Vargas-Arana, G. (2013). *Physalis angulata* L. (Bolsa Mullaca): A Review of its Traditional Uses, Chemistry and Pharmacology. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12 (5), 431 - 445
- SAGARPA (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). (2002). *Estadísticas Básicas Agropecuarias*. México.
- Salcedo-Pérez, E., Arvizu, M., Vargas-Radillo, J., Vargas-Ponce, O., Bernabe-Antonio, A., & Barrientos-Ramírez, L. (2015). Contenido mineral y tamizaje fitoquímico en *Physalis chenopodifolia* Lam. en condiciones de desarrollo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 58-73.
- Santiagoullo, J., Cervantes, T., & Peña, A. (2004). Selección para rendimiento y calidad de fruto de cruza planta x planta entre variedades de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27 (1), 85 – 91.
- Santiagoullo, J. F., & Blas, S. (2009). Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola*, (43), 81-86.
- Santiagoullo, J.F., Vargas, O., Grimaldo, O., Sánchez, J., & Magaña, N. (2009). Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (*Physalis*) en México. *Publicaciones de la Red de Tomate de Cáscara. Folleto Técnico Núm. 2*.
- Santiagoullo, J.F., Flores, R., Peña, A., & Magaña, N. Diversidad del género *Physalis* en el estado de Querétaro, México. XIV Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas 25 al 27 de abril de 2012 (Memorias). Disponible en línea: nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoing, H., Rocha-Sosa, M. (2003). La participación de metabolitos secundarios en la defensa de plantas. *Revista mexicana de Fitopatología*, 21(3), 354-363.

- Sharma, N., Bano, A., Dhaliwal, H. S, & Sharma, V. (2015). Perspectives and possibilities of Indian species of genus *Physalis* (L.) – a comprehensive review. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research*, 2(2), 326-353.
- SIAP (Sistema de información agrícola y pecuaria). (2018). Retrieved from nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- Soukup, J. (1987). Vocabulario de los nombres vulgares de la flora peruana y catálogo de los géneros. Editorial Salesiana. Lima. pp. 322.
- Ton Nu Lien Huong, Ly Anh Van, Nguyen Duy Thanh, Nguyen Thi Thu Suong, Nguyen Hoang Phuong, & Nguyen Dinh Cung Tien. (2016). Chemical constituents of *Physalis angulata* L. (family Solanaceae). *Can Tho University Journal of Science*, 2, 46-49. DOI:10.22144/ctu.2016.jen.015
- Valdenegro, M., Fuentes, L., Herrera, R., & Moya-León, M. A. (2012). Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 67, 110–117.
- Valdivia-Mares, L. E., Rodríguez, F. A., Sánchez, J. & Vargas-Ponce, O. (2016). Phenology, agronomic and nutritional potential of three wild husk tomato species (*Physalis*, Solanaceae) from Mexico. *Scientia Horticulturae*, 200 (8), 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.005>
- Valenzuela, A., Valenzuela, R., Sanhueza, J., & Morales, G. (2014). Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿Vamos hacia un nuevo concepto de alimentación? *Revista chilena de nutrición*, 41(2), 198-204.
- Wildman, R. E. C. (2007). *Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods*. R. E. C. Wildman (2d. Ed.). CRC Press. Boca Raton, FL.
- Zabka, M., & Pavela, R. (2013). Antifungal efficacy of some natural phenolic compounds against significant pathogenic and toxinogenic filamentous fungi. *Chemosphere*, 93(6),1051–1056.
- Zamora-Tavares, P., Vargas-Ponce, O., Sánchez-Martínez, J., & Cabrera-Toledo, D. (2015). Diversity and genetic structure of the husk tomato (*Physalis philadelphica* Lam.) in Western Mexico. *Genetic Resource and Crop Evolution*, 62(15),151-153.
- Zeiger, E. (1998). Solanine and chaconine. *Review of Toxicological Literature*. USA: Integrated Laboratory Systems. Raleigh, NC, USA. 96 p.
- Zhou, X., He, X., Wang, G., Gao, H., Zhou, G., Ye, W., & Yao, X. (2006) Steroidal Saponins from *Solanum nigrum*. *Journal of Natural Products*, 69 (8), 1158-1163. DOI: 10.1021/np060091z.

**III. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS CULTIVADOS Y
SILVESTRES DEL GÉNERO *Physalis* spp.**

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS CULTIVADOS Y SILVESTRES DEL GÉNERO *Physalis* spp.¹

RESUMEN

Physalis spp. es conocida como hortalizas o frutas. El interés por las especies cultivadas y silvestres se ha ampliado por su alto valor para la ciencia médica y la industria alimentaria. El objetivo de esta investigación fue determinar las características fisicoquímicas de frutos en 11 poblaciones de *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides* para identificar parámetros de calidad y alternativas de uso. Las plantas fueron establecidas en invernadero con sistema hidropónico. Se usó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los frutos se cosecharon en madurez de consumo. Se determinaron las variables físicas: peso, diámetro ecuatorial y polar, relación de diámetros, firmeza, proporción de peso en cáliz, color (luminosidad, °Hue y croma); y las variables químicas: pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de madurez, vitamina C, clorofila y carotenoides. El mayor peso y tamaño de fruto evidencian el mejoramiento genético realizado en las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa*. *Physalis nicandroides* es nutricionalmente promisorio por su alto contenido de carotenoides. La caracterización físicoquímica en frutos de *Physalis* spp. permite identificar su potencial de uso para el consumo fresco o industrial, y la selección de cualidades deseables en fuentes de germoplasma silvestre.

PALABRAS CLAVE: Calidad, diversidad, germoplasma, tomate de cáscara, uchuva.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Grigna Josefina Piña Dumoulín.

Director de Tesis: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

Artículo enviado a la Revista Mexicana de Biodiversidad.

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF CULTIVATED AND WILD FRUITS OF THE GENUS *Physalis* spp.¹

ABSTRACT

Physalis spp. is known as vegetables or fruits. Interest in cultivated and wild species has expanded due to their high value for medical science and the food industry. The objective of this research was to determine the physicochemical characteristics of fruits in 11 populations of *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* and *P. nicandroides* to identify quality parameters and alternatives for use. The plants were established in a greenhouse with a hydroponic system. A randomized complete block design with four replications was used. The fruits were harvested at consumption maturity. The physical variables were determined: weight, equatorial and polar diameter, diameter ratio, firmness, calyx weight proportion, color (luminosity, °Hue and chroma); and the chemical variables: pH, total soluble solids, titratable acidity, maturity index, vitamin C, chlorophyll and carotenoids. The greater weight and size of the fruit show the genetic improvement made in the cultivated populations of *P. ixocarpa*. *Physalis nicandroides* is nutritionally promising due to its high content of carotenoids. The physicochemical characterization in fruits of *Physalis* spp. allows to identify its potential use for fresh or industrial consumption, and the selection of desirable qualities in sources of wild germplasm.

KEY WORDS: Quality, diversity, germplasm, husk tomato, cape gooseberry.

¹Doctoral Thesis in Science in Horticulture, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Grigna Josefina Piña Dumoulin.

Advisor: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

Article sent to Revista Mexicana de Biodiversidad.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas silvestres se han desarrollado sin la selección del hombre, por lo que poseen una adaptación natural a su entorno. La exposición a factores bióticos y abióticos adversos durante mucho tiempo incrementa la posibilidad de encontrar ecotipos con características idóneas de adaptación al medio ambiente y de resistencia y tolerancia a plagas y enfermedades. Esto las hace posibles precursoras de futuros cultivares; por lo que la descripción de sus atributos cualitativos y cuantitativos son el punto de partida para la identificación de genes específicos asociados a características morfológicas y bioquímicas; así como de sus propiedades para la salud humana (Aguilar, 2018).

La palabra *Physalis* proviene del griego physan o physallis (vejiga) en alusión al cáliz inflado. Como género, pertenece a la familia *Solanaceae*; con un aproximado entre 100 y 120 especies a nivel mundial (Soukup, 1987; Li et al., 2008). En América algunas especies de tomate de cáscara (*Physalis* spp.) tienen importancia económica y cultural para varios grupos étnicos (Kindscher et al., 2012).

Tanto Soukup (1987) como Brako y Zarucchi (1993) señalan que *Physalis angulata* L., *P. peruviana* L., *P. pubescens* L., *P. lagascae* Romer & Schultes y *P. viscosa* L. son de origen peruano; aunque en México *P. ixocarpa*, *P. angulata*, *P. pubescens*, *P. lagascae* y *P. cinerascens*, *P. chenopodifolia*, *P. coztomatl*, *P. hederæfolia*, *P. heterophylla*, *P. gracilis*, *P. greenmanii*, *P. grisea*, *P. lagascae*, *P. leptophylla*, *P. melanocystis*, *P. neomexicana*, *P. nicandroides*, *P. orizabae*, *P. sanctijosephii* y *P. virginiana*, pueden encontrarse en estado silvestre (Santiagoillo et al., 2009; Santiagoillo y Blas, 2009). En el estado de Querétaro existe una alta diversidad de especies de *Physalis*. Pueden localizarse alrededor de 29 especies; 38 % de ellas reconocidas en México y 30 % en el mundo (Santiagoillo et al., 2012).

Physalis representa uno de los géneros más diversos de la familia *Solanaceae*, por la gran cantidad de especies que lo conforman. Es considerado “entre los taxa tropicales no recolectados, un modelo muy prometedor” para su

aprovechamiento comercial por el valor nutritivo de sus frutos. *Physalis ixocarpa* es una de las especies más abundantes, con una alta variabilidad morfológica tanto en rasgos vegetativos como reproductivos; y que puede crecer en condiciones silvestres, de malezas o cultivadas (Salcedo-Pérez et al., 2015; Zamora et al., 2015).

Varias especies de *Physalis* poseen frutos comestibles para el ser humano (López-Sandoval et al., 2018a), pero el desconocimiento de la calidad del producto representa una limitante para el cultivo de especies de este género (Kindscher et al., 2012; Santiaguillo y Blas, 2009), lo que provee la necesidad de conocer parámetros fisicoquímicos que contribuyan a determinar su potencial de uso.

Las alternativas de producción de diversas especies de *Physalis*, plantea un escenario donde el agricultor puede acceder a opciones menos competitivas de cultivos menos expandidos; donde la población pueda gozar de los beneficios de consumo, ya sea de forma fresca o industrial. Ejemplo de ello es el establecimiento de parcelas de *P. peruviana*, *P. ixocarpa*, *P. pruinosa* y *P. nicandroides* para determinar la adaptación de éstas a condiciones de clima templado del occidente de la región del Himalaya con fines de producción comercial a pequeña escala (Desh et al., 2014).

Menzel (1951) identificó solo a *P. ixocarpa* y *P. peruviana* como especies cultivadas. Actualmente se agregan a la lista *P. angulata*, en México; *P. grisea* y *P. longifolia* en Estados Unidos (Santiaguillo et al., 2009; Kindscher et al., 2012; Vargas-Ponce et al., 2015) y *P. alkekengi* en países de Europa y Japón (Medina-Medrano et al., 2015; Jovanović et al., 2021).

Aunque el potencial de aprovechamiento de las especies de *Physalis* está expandido a los diversos órganos de la planta (Santiaguillo & Blas, 2009) uno de los aspectos que poco se ha explorado es la evaluación fisicoquímica de los frutos, lo cual generaría parámetros o características importantes al momento de relacionarlos no solo con variables de calidad sino de producción y rendimiento. Existen antecedentes científicos donde materiales silvestres de especies

cultivadas de *Physalis ixocarpa* y *P. angulata*, presentaron los mayores promedios de las variables crecimiento, contenido de materia seca, número de frutos y semillas, por encima de *P. sulphurea* (López-Sandoval et al., 2018b).

Sumado a beneficios como el crecimiento acelerado y la autogamia en algunas especies (López-Sandoval et al., 2018b), la alta tasa de germinación de sus semillas y la rusticidad de los sistemas de producción han facilitado la domesticación y desarrollo del género *Physalis* (Cuevas-Arias et al., 2008; Ramadan, 2011).

Physalis ixocarpa es una especie originaria de México utilizada desde tiempos precolombinos y domesticada por los pueblos mesoamericanos, se distribuye desde Estados Unidos hasta Panamá y Las Antillas y se adapta a alturas desde 0 a 2 000 m (Santiaguillo et al., 1994; Lascurain et al., 2010). En México se han documentado alrededor de 70 especies de *Physalis*, de las cuales 35 son endémicas (López-Sandoval et al., 2015), por lo que se considera centro de diversidad (Olmsted et al., 2008), aunque siguen existiendo controversias taxonómicas sobre este género (Cobaleda-Velasco et al., 2013).

Physalis angulata es una especie silvestre o sinantrópica en proceso de domesticación (López-Sandoval et al., 2015), que se ha cultivado como “tomate milpero” en el occidente del estado de Jalisco (México) por 25 años (Vargas-Ponce et al., 2015).

A pesar de ser señalado como un cultivo subutilizado, en México el tomate de cáscara se siembra en 28 de los 32 Estados de la República para la comercialización generalmente en fresco y con una distribución a lo largo de casi todo el año, por lo que hay que celebrar propuestas de diversificación de usos, como la surgida en Oaxaca, donde la técnica de deshidratación le podría conferir valor agregado a sus frutos, con la finalidad de la creación de microempresas rurales (Peña-Lomelí et al., 2014; López et al., 2018).

El objetivo de la presente investigación es determinar las características fisicoquímicas de frutos en 11 poblaciones de las especies *P. ixocarpa*, *P.*

peruviana, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides* a fin de identificar parámetros de calidad y alternativas de uso de materiales cultivados y silvestres.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se condujo entre los meses de julio de 2019 y enero de 2020. Se sembraron plantas de 11 poblaciones de *Physalis* spp. (Tabla 1) en el invernadero 25 del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Texcoco, Estado de México (19° 29' 05" N, 98° 53' 11" O; 2250 msnm), con sistema hidropónico y arena volcánica de tezontle como sustrato.

Tabla 1. Poblaciones del género *Physalis* evaluadas y su descripción, según Pérez et al., 1992; Santiaguillo y Blas (2009) * y Tuxtla et al. (2022).

Número	Poblaciones / Accesión	Origen	Descripción
1.	Jade TFG	UACH	Cultivado. Fruto verde y grande. Uso en salsas.
2.	Zafiro MSM	UACH	Cultivado. Fruto verde – morado. Uso en salsas.
3.	Arandas / 158JAL42	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
4.	Arandas / 173JAL57	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
5.	Arandas / 182JAL65	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
6.	Arandas / 183JAL66	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
7.	Juanacatlán	UACH	Silvestre. Resistente a virus. Uso en salsas.
8.	<i>Physalis peruviana</i> L.	COLPOS	Cultivada. Fruto amarillo, pequeño y dulce. Consumo como fruta.
9.	<i>Physalis angulata</i> L.	Guanajuato	Silvestre. Fruto pequeño. Uso en salsas*.
10.	<i>Physalis lagascae</i> Roem. et Schult.	Guanajuato	Silvestre. Fruto morado y pequeño. Consumo no especificado*.
11.	<i>Physalis nicandroides</i> Schltdl. / 09MICH01	UACH	Silvestre. Uso en salsas, medicinal, ceremonial y como trampa vegetal*.

Las poblaciones 1 a la 7 pertenecen a *Physalis ixocarpa* Brot. ex. Horm. UACH= Programa de mejoramiento genético de tomate de cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo. COLPOS= Colegio de Postgraduados.

Cada población correspondió a un tratamiento para un total de 11. La unidad experimental fue de 19 plantas por tratamiento y el diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

La cosecha de los frutos se realizó entre los meses de diciembre de 2019 y enero de 2020 cuando estos alcanzaron la madurez de consumo. En *P. ixocarpa*, *P.*

angulata y *P. lagascae* la recolección de frutos se realizó entre los 100 y 120 días después de la siembra (DDS); y en *P. nicandroides* y *P. peruviana* a los 150 DDS cuando los cálices estaban secos y los frutos de *P. peruviana* alcanzaron el grado 6 de color, según la Norma Técnica Colombiana 4580 (Icontec, 1999). La cosecha se realizó en tres secciones por unidad experimental correspondiente a seis, seis y siete plantas, hasta completar las 19 plantas. De cada una de estas secciones se tomó una muestra entre cinco y 15 frutos (dependiendo del tamaño) para ser evaluados. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de postcosecha de frutos del Departamento de Fitotecnia de la UACH para la determinación de las variables fisicoquímicas:

2.1. Peso de frutos (PF en g). Se determinó en frutos sin cáliz y se utilizó una balanza portátil marca OHAUS 5000 (Capacidad 5000 g x 1 g).

2.2. Diámetro ecuatorial (DE en cm), **diámetro polar** (DP en cm) **y relación DE/DP** (RD). Los diámetros fueron medidos con un vernier marca PRETUL. Los valores fueron expresados en centímetros (cm). La relación DE/DP fue el resultado del cociente de ambos diámetros.

2.3. Firmeza de frutos (FF en N). Se midió en el eje ecuatorial de los frutos con epicarpio. Se utilizó un penetrómetro digital Compact Gauge (20 kgf x 0.01.), con puntilla cónica de 6 mm de altura y 7 mm de ancho.

2.4. Proporción de peso de cáliz (PC en %). Fue calculado con base a la relación del peso del cáliz y el peso total del fruto.

2.5. Luminosidad (L), **°Hue** y **Croma**. Fueron determinados según la metodología de McGuire (1992) a partir de los valores “L”, “a” y “b” medidos en el epicarpio de los frutos. Se utilizó un colorímetro de reflexión portátil ColorTec-PCM (Cole Palmer, USA).

2.6. pH. Se determinó en el zumo resultante de la homogenización de 5 g de fruto en 50 mL de agua destilada, con un potenciómetro portátil marca Hanna (modelo HI 991300).

2.7. Sólidos solubles totales (SST en °Brix). Se midió en una gota de zumo con un refractómetro digital portátil PAL-1 marca ATAGO (USA), escala 0-53°.

2.8. Acidez titulable (AT en g.100 g⁻¹). Se determinó según la metodología de la AOAC (Anónimo, 1990) en 5 g de pulpa, en función del contenido de ácido cítrico.

2.9. Índice de madurez (IM). Se calculó como el cociente entre los sólidos solubles totales (°Brix) y la acidez titulable (g.100 g⁻¹).

2.10. Vitamina C (ViC en mg.100 g⁻¹). Se estimó por el método de Tillman según la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) a partir de la homogenización de 5 g de muestra en 50 mL de ácido oxálico y una alícuota de 10 mL.

2.11. Clorofila (CLO en µg.100 g⁻¹) **y Carotenoides** (CAR en µg.100 g⁻¹). Se cuantificó por espectrofotometría (AOAC, 1990) a partir de un extracto acetónico (80 %). Las lecturas de absorbancia se obtuvieron en un espectrómetro de UV-Vis Genesis modelo 10S.

A los resultados se les aplicó un análisis de varianza, comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$), prueba de contrastes y correlaciones de Pearson con el programa estadístico SAS/STAC 9.0 (SAS, 2002). Los valores de PF, DE, DP, PC, °Hue, IM y CAR fueron ajustados con logaritmo; y los de RD, FF, L, Croma, AT, SST, ViC y CLO con arcoseno. Aunque no se logró la normalidad en todas las variables, las transformaciones disminuyeron drásticamente los coeficientes de variación.

3. RESULTADOS

Los resultados del análisis de varianza de las variables físicas son mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de varianza de las características físicas evaluadas en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

FV	GL	PF		GL	DE		GL	DP		GL	RD		GL	FF	
P	10	119.053	**	10	14.909	**	10	12.008	**	10	0.039	**	10	51.986	**
B	3	0.812	**	3	0.176	**	3	0.036	*	3	0.008	**	3	1.836	**
P x B	30	0.476	**	30	0.050	**	30	0.024	**	30	0.004	**	30	0.452	**
Error	533	0.119		534	0.015		533	0.012		534	0.001		532	0.164	
Total	576			577			576			577			575		
CV		17.715			13.757			14.274			4.031			11.375	
Media		16.217			2.753			2.406			1.124			23.603	
		PC		GL			L			GL	°Hue		GL	Croma	
P	10	4.202	**	10			5.362	**	10	1.285	**	10	22.931	**	
B	3	0.045	NS	3			0.130	NS	3	0.021	NS	3	0.875	*	
P x B	28	0.177	**	30			1.159	**	30	0.036	**	30	1.064	**	
Error	74	0.073		519			0.228		501	0.016		519	0.324		
Total	115			562					544			562			
CV		22.811					9.427			2.714				15.878	
Media		4.283					43.600			106.128				23.481	

FV= Fuente de variación. P= Población. B= Bloques. CV= Coeficiente de variación. GL= Grados de libertad. PF= Peso de frutos. DE= Diámetro ecuatorial. DP= Diámetro polar. RD= Relación de diámetros. FF= Firmeza de frutos. PC= Proporción de peso de cáliz. L= Luminosidad. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS= No significativo.

Hubo efecto altamente significativo ($P < 0.01$) de las poblaciones sobre todas las variables evaluadas, lo cual evidencia características diferentes entre los genotipos cultivados y silvestres.

En la prueba de contraste (Tabla 3) puede observarse que *P. peruviana*, aunque es una especie cultivada, presenta diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en las variables PF, DE, DP, RD, FF y PC con las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa* y no significativas ($P > 0.05$) solo en RD con las especies silvestres; evidenciándose que comparte similitudes y diferencias con ambos grupos. Se observa también que las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa* fueron significativamente superiores en peso, tamaño y firmeza de fruto que las silvestres.

Tabla 3. Comparación de grupos entre variables físicas de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Contrastes	Grupos	PF		DE		DP	
1	G1 vs G2	962.96	**	121.45	**	88.08	**
2	G1 vs G3	153.55	**	23.74	**	16.26	**
3	G2 vs G3	61.935	**	5.35	**	5.53	**
		RD		FF		PC	
1	G1 vs G2	0.23	**	187.56	**	-	
2	G1 vs G3	0.10	**	252.74	**	1.34	**
3	G2 vs G3	0.00	NS	50.64	**	-	

G1= *Physalis ixocarpa* cultivados (1-6); G2= *Physalis* sp. silvestres (7, 9,10,11); G3= *Physalis peruviana* (8). PF= Peso de frutos. DE= Diámetro ecuatorial. DP= Diámetro polar. RD= Relación de diámetros. FF= Firmeza de frutos. PC= Proporción de peso de cáliz. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS: No significativo.

La comparación de medias indicó diferencias entre las poblaciones (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de medias para características físicas en 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Poblaciones	PF (g)		DE (cm)		DP (cm)		RD		FF (N)		PC (%)	
Jade TFG	66.70	a	5.35	a	4.03	a	1.32	a	31.34	ab	3.24	cd
Zafiro MSM	32.93	b	4.16	b	3.37	b	1.25	ab	32.40	a	2.05	d
158JAL42	23.41	b	3.57	b	3.12	b	1.15	bc	36.18	a	2.45	d
173JAL57	31.61	b	4.15	b	3.38	b	1.23	ab	30.08	ab	2.16	d
182JAL65	27.23	b	3.90	b	3.40	b	1.14	bc	33.44	a	2.61	d
183JAL66	25.97	b	3.74	b	3.43	b	1.09	c	32.69	a	2.21	d
Juanacatlán	3.83	c	1.86	cd	1.68	d	1.10	c	25.30	bc	2.47	d
<i>P. peruviana</i>	5.05	c	2.01	c	1.86	c	1.07	c	6.94	e	3.39	cd
<i>P. angulata</i>	1.86	d	1.51	e	1.44	e	1.05	c	21.65	c	7.17	b
<i>P. lagascae</i>	0.48	e	0.95	f	0.88	f	1.05	c	14.15	d	5.35	bc
<i>P. nicandroides</i>	2.28	d	1.63	de	1.53	de	1.06	c	6.63	e	14.65	a

PF= Peso de frutos. DE= Diámetro ecuatorial. DP= Diámetro polar. RD= Relación de diámetros. FF= Firmeza de frutos. PC= Proporción de peso de cáliz. Letras distintas en la columna indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

La variable PF discriminó la formación de cinco grupos en las poblaciones evaluadas: el primero conformado por Jade TFG con el mayor peso; el segundo por Zafiro MSM y el grupo de los Arandas (158JAL42, 173JAL57, 182JAL65, 183JAL66); el tercero por Juanacatlán y *P. peruviana*; el cuarto por las poblaciones de *P. angulata* y *P. nicandroides*; y el quinto por *P. lagascae*. Todas las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa* se encuentran en los dos primeros grupos, con frutos de mayor peso, mientras que a partir del tercero están *P. peruviana* y las poblaciones silvestres con los frutos de menor peso.

En la RD, cocientes > 1 representan frutos achatados, con un diámetro ecuatorial mayor al polar; cocientes < 1 frutos alargados, con un diámetro polar mayor al ecuatorial; y cocientes $= 1$ frutos redondos. Las formas de los frutos en las poblaciones evaluadas oscilaron entre achatados y redondos. Jade TFG, Zafiro MSM y 173JAL57 tuvieron los frutos de mayores dimensiones y más achatados, pero sin diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) con 158JAL42 y 182JAL65. En las poblaciones silvestres se obtuvieron las menores dimensiones; y presentaron los frutos más redondos, pero sin diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) con 158JAL42 y 182JAL65. Los frutos de *P. peruviana* también resultaron redondeados.

Los frutos con mayor firmeza ($\alpha = 0.05$) fueron de *Physalis ixocarpa*, seguidos de las poblaciones silvestres, con excepción de *P. nicandroides* que, junto a *P. peruviana*, fueron los menos firmes.

La comparación de medias para PC indica tres grupos. El primero conformado por *P. nicandroides*; el segundo por *P. angulata* y *P. lagascae*; y el tercero por las poblaciones de *P. ixocarpa* y *P. peruviana*, donde se presentaron valores que resultaron no ser diferentes ($\alpha = 0.05$) de *P. lagascae*. Además, se observó que en *P. nicandroides*, *P. angulata*, *P. peruviana*, Juanacatlán y *P. lagascae*, el cáliz permanece cubriendo el fruto hasta el final de su desarrollo, en contraste con las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa* donde el fruto revienta el cáliz.

Las diferencias encontradas en la comparación de medias para los parámetros de color entre tratamientos se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de medias para los parámetros de color en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Poblaciones	L		Croma		°Hue	
Jade TFG	44.22	abc	27.84	b	109.43	a
Zafiro MSM	42.00	abc	17.75	cde	108.16	a
158JAL42	43.96	abc	25.63	b	113.37	a
173JAL57	33.87	c	13.62	e	118.67	a
182JAL65	45.72	ab	22.79	bcd	107.40	a
183JAL66	33.84	b	15.10	de	114.63	a
Juanacatlán	45.63	ab	23.49	bc	110.39	a
<i>P. peruviana</i>	53.91	a	41.85	a	68.08	b
<i>P. angulata</i>	44.92	abc	27.79	b	111.31	a
<i>P. lagascae</i>	44.73	abc	13.66	e	103.97	a
<i>P. nicandroides</i>	41.22	bc	26.47	b	113.20	a

L= Luminosidad. Letras distintas en la columna indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

La luminosidad o brillo (L) es la cantidad de luz reflejada por un ente u objeto. La prueba de medias separa solo a *P. peruviana* (53.91) de 183JAL66, 173JAL57 y *P. nicandroides*. El resto de las poblaciones no presentan diferencias significativas entre ellas ($\alpha = 0.05$).

Los frutos de *P. peruviana* presentaron el mayor Croma con diferencias significativas con respecto al resto de las poblaciones ($\alpha = 0.05$). Esto indica que en *P. peruviana* se determinó la mayor intensidad de color dentro del mismo tono. Mientras más bajo es el valor, el color tiene menor grado de pureza.

La tonalidad o matiz (°Hue) se representa numéricamente en una escala de 360°. Este parámetro solo diferenció de forma significativa ($\alpha = 0.05$) la existencia de dos grupos: uno conformado únicamente por *P. peruviana* (68.08) y el otro por el resto de las poblaciones, con un valor máximo de 118.67 en la población Aranda 173JAL57. Esto corresponde a una tonalidad en el rango del amarillo-naranja para el primer caso y del verde-morado para el segundo ($\alpha \leq 0.05$).

El análisis de contrastes ilustra las diferencias de los parámetros de color entre las poblaciones evaluadas (Tabla 6), donde se observan diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre *P. peruviana* con el resto de las poblaciones (G1 vs G3 y G2 vs G3) y entre *P. ixocarpa* cultivados y poblaciones silvestres (G1 vs

G2), así como ninguna diferencia estadística en la tonalidad de estos dos últimos grupos (G1 vs G2).

Tabla 6. Comparación de grupos entre parámetros de color de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Contrastes	Grupos	L		Croma		°Hue	
1	G1 vs G2	4.87	**	4.72	**	0.03	NS
2	G1 vs G3	30.32	**	114.18	**	10.97	**
3	G2 vs G3	17.24	**	88.50	**	10.57	**

G1= *Physalis ixocarpa* cultivados (1-6); G2= *Physalis* sp. silvestres (7, 9, 10,11); G3= *Physalis peruviana* (8). L= Luminosidad. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS: No significativo.

Los resultados del análisis de varianza para las variables químicas son mostrados en el Tabla 7.

Tabla 7. Análisis de varianza de las características químicas evaluadas en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

FV	GL	pH		GL	SST		GL	AT		GL	IM		GL	ViC	
P	10	0.307	NS	10	0.188	**	10	0.066	**	10	0.499	**	10	0.445	**
B	3	0.090	NS	3	0.070	NS	3	0.007	NS	3	0.208	*	3	0.340	**
P x B	30	0.166	**	30	0.049	NS	30	0.012	NS	30	0.121	**	30	0.131	**
Error	68	0.057		70	0.047		73	0.011		71	0.058		69	0.049	
Total	111			113			116			114			112		
CV		5.943			15.125			17.267			13.972			13.578	
Media		4.027			3.737			0.680			5.912			4.787	

FV= Fuente de variación. P= Poblaciones. B= Bloques. CV= Coeficiente de variación. GL= Grados de libertad. SST= Sólidos solubles totales. AT= Acidez titulable. IM= Índice de madurez. ViC= Vitamina C. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS= No significativo.

Hubo efecto altamente significativo ($P < 0.01$) de las poblaciones sobre las variables químicas evaluadas, a excepción del pH. La comparación de medias indicó diferencias para las variables químicas entre las poblaciones (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación de medias entre parámetros químicos en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Poblaciones	pH		SST		AT		IM		ViC	
Jade TFG	3.89	ab	2.25	b	0.51	b	4.82	abc	5.63	ab
Zafiro MSM	4.10	ab	4.08	a	0.73	b	5.98	abc	4.07	ab
158JAL42	3.94	ab	3.33	ab	0.70	b	4.88	bc	4.50	ab
173JAL57	4.05	ab	3.42	ab	0.55	b	6.61	ab	3.69	b
182JAL65	3.87	b	3.27	ab	0.59	b	5.98	ab	3.48	b
183JAL66	4.02	ab	3.30	ab	0.56	b	6.20	ab	3.67	b
Juanacatlán	4.12	ab	4.17	a	0.72	b	5.46	abc	5.01	ab
<i>P. peruviana</i>	3.84	b	4.44	a	0.73	b	8.59	a	5.19	ab
<i>P. angulata</i>	4.33	ab	3.67	ab	0.53	b	6.40	ab	4.98	ab
<i>P. lagascae</i>	4.53	a	4.60	a	0.77	ab	6.16	ab	5.63	ab
<i>P. nicandroides</i>	4.12	ab	4.73	a	1.20	a	3.64	c	7.57	a

SST= Sólidos solubles totales (°Brix). AT= Acidez titulable (g.100 g⁻¹). IM= Índice de madurez. ViC= Vitamina C (mg.100 g⁻¹). Letras distintas en la columna indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

En este estudio el pH osciló entre 3.84 en *P. peruviana* y 4.53 para *P. lagascae*, con diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) solo entre esta última y las poblaciones de *P. peruviana* y 182JAL65.

La población *P. peruviana* solo presentó diferencias significativas en el contenido de SST con la población Jade TFG ($\alpha = 0.05$).

Todas las poblaciones presentaron AT menores a 1 g.100 g⁻¹, a excepción de *P. nicandroides* que tuvo diferencias significativas con el resto de las poblaciones ($\alpha = 0.05$), con excepción de *P. lagascae*.

Physalis nicandroides presentó el menor IM, lo cual resultó diferente ($\alpha = 0.05$) de *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae*, 173JAL57, 182JAL65 y 183JAL66. Además, los frutos de *P. nicandroides* tuvieron la mayor AT con diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) con el resto de las poblaciones, excepto con *P. lagascae*, y el mayor contenido de ViC, aunque con diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) solo con las poblaciones Arandas 173JAL57, 182JAL65 y 183JAL66.

El análisis de contrastes permite ilustrar las diferencias y similitudes entre las poblaciones con base en las variables químicas (Tabla 9). Puede observarse como las poblaciones de *P. ixocarpa* cultivadas no presentan diferencias significativas en el IM con las poblaciones silvestres. *Physalis peruviana* presenta diferencias significativas con las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa* en las variables SST, IM y ViC; mientras que con las poblaciones silvestres presenta diferencias significativas en el pH e IM. Sin embargo, no se observan diferencias en AT entre *P. peruviana* y el resto de las poblaciones, evidenciándose que la diferencia en el IM entre *P. peruviana* y las poblaciones de *P. ixocarpa* cultivadas de este estudio estuvo condicionada por la diferencia en la concentración de SST. No hubo diferencias significativas entre el contenido de ViC entre *P. peruviana* y las poblaciones silvestres.

Tabla 9. Comparación de grupos entre variables químicas de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Contrastes	Grupos	pH		SST		AT		IM		ViC	
1	G1 vs G2	1.19	**	0.93	**	0.16	**	0.09	NS	1.188	**
2	G1 vs G3	0.17	NS	0.41	*	0.03	NS	1.63	**	0.288	*
3	G2 vs G3	1.20	**	0.01	NS	0.00	NS	1.88	**	0.052	NS

G1= *Physalis ixocarpa* cultivados (1-6); G2= *Physalis* sp. silvestres (7, 9, 10,11); G3= *Physalis peruviana* (8). SST= Sólidos solubles totales. AT= Acidez titulable. IM= Índice de madurez. ViC= Vitamina C. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS: No significativo.

Los resultados del análisis de varianza para las variables CLO y CAR son mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis de varianza del contenido de clorofila y carotenoides totales obtenidos en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

FV	GL	CLO		GL	CAR
P	10	3.016	**	10	10.761 **
B	3	0.287	NS	3	2.059 *
P x B	27	0.129	NS	26	0.713 NS
Error	53	0.115		53	0.672
Total	93			92	
CV		20.174			19.566
Media		5.672			162.653

FV= Fuente de variación. P= Poblaciones. B= Bloques. CV= Coeficiente de variación. GL= Grados de libertad. CLO= Clorofila Total. CAR= Carotenoides totales. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS= No significativo.

La comparación de medias indicó diferencias para el contenido de clorofila y carotenoides entre poblaciones (Tabla 11).

Tabla 11. Comparación de medias del contenido de clorofila y carotenoides totales obtenidos en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Poblaciones	Clorofila Total ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)	Carotenoides totales ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)
Jade TFG	3.75 bc	44.05 c
Zafiro MSM	3.71 bc	100.96 c
158JAL42	6.50 b	101.26 bc
173JAL57	2.70 c	31.99 c
182JAL65	4.39 bc	26.63 c
183JAL66	3.40 bc	36.43 c
Juanacatlán	6.91 b	71.38 bc
<i>P. peruviana</i>	0.38 d	294.70 ab
<i>P. angulata</i>	14.65 a	103.36 bc
<i>P. lagascae</i>	2.58 cd	30.84 c
<i>P. nicandroides</i>	6.93 b	762.15 a

Letras distintas en la columna indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

La mayor cantidad de CLO se determinó en *P. angulata* con diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) con el resto de las poblaciones. El menor valor se determinó en *P. peruviana* sin diferencias significativas con *P. lagascae*.

Physalis nicandroides posee la mayor concentración de CAR seguido por *P. peruviana*, la cual no tiene diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) con *P. ixocarpa* Juanacatlán, *P. angulata* y 158JAL42. En el resto de las poblaciones las concentraciones se encontraron entre 26.63 y 100.96 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

Correlación de Pearson. En la Tabla 12 puede observarse una correlación positiva ($P < 0.0001$) entre el DE ($r = 0.77$) y DP ($r = 0.79$) con respecto a la FF. Además, tanto DE, DP y FF correlacionaron negativamente ($P < 0.0001$) con el contenido de SST ($r = -0.80$ a -0.85). Mientras los frutos fueron más grandes resultaron más firmes y menos dulces, lo que coincide con los de la población de *P. ixocarpa* cultivados.

Tabla 12. Correlaciones para 16 variables fisicoquímicas evaluadas en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Variables	DE	DP	RD	FF	PC	L	°Hue	CRO	pH	AT	SST	IM	ViC	CLO	CAR
PF	0.952**	0.906**	0.923**	0.668*	-0.454	-0.297	0.267	-0.147	-0.429	-0.506	-0.851**	-0.196	-0.327	-0.308	-0.391
DE		0.989**	0.891**	0.770**	-0.542	-0.379	0.290	-0.185	-0.538	-0.511	-0.821**	-0.127	-0.514	-0.327	-0.398
DP			0.819**	0.792**	-0.560	-0.407	0.286	-0.189	-0.577	-0.513	-0.807**	-0.096	-0.579	-0.325	-0.394
RD				0.623*	-0.449	-0.268	0.279	0.194	-0.340	-0.395	-0.675*	-0.193	-0.298	-0.299	-0.351
FF					-0.688*	-0.448	0.564	-0.455	-0.146	-0.653*	-0.757**	-0.169	-0.749**	0.032	-0.702*
PC						0.035	0.086	0.194	0.065	0.773**	0.484	-0.482	0.840**	0.399	0.864**
L							-0.779**	0.786**	-0.092	0.134	0.280	0.317	0.299	0.003	0.135
°Hue								-0.722*	0.204	-0.085	-0.360	-0.691*	-0.135	0.418	-0.164
CRO									-0.492	0.150	0.0825	0.244	0.372	0.090	0.408
pH										-0.081	0.340	0.096	0.051	0.305	-0.317
AT											0.738**	-0.444	0.748**	-0.005	0.886**
SST												0.143	0.446	-0.028	0.549
IM													-0.463	-0.337	-0.359
ViC														0.186	0.777**
CLO															0.104

PF= Peso de fruto. DE= Diámetro ecuatorial. DP= Diámetro polar. RD= Relación de diámetros. FF= Firmeza de frutos. PC= Proporción de peso de cáliz. L= Luminosidad. CRO= Croma. AT= Acidez titulable. SST= Sólidos solubles totales. IM= Índice de madurez. ViC= Vitamina C. CLO= Clorofila. CAR= Carotenoides. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

La PC tuvo una correlación negativa ($P \leq 0.0192$) con la FF ($r = -0.69$), lo cual equivale a las poblaciones de *P. peruviana* y silvestres, donde se obtuvieron los frutos de menores dimensiones; no obstante, resalta la alta correlación positiva ($P < 0.0001$) entre la PC y la concentración de AT ($r = 0.77$), ViC ($r = 0.84$) y CAR ($r = 0.86$), lo que implica que la presencia y mantenimiento del cáliz en el fruto pudiera tener un efecto positivo sobre el contenido de estos compuestos.

4. DISCUSIÓN

El mayor peso, tamaño y firmeza determinado en las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa* puede atribuirse a su naturaleza alógama y al hecho que las poblaciones cultivadas han pasado por un proceso de mejoramiento genético. En 1981, Gupta y Roy referenciaron que la autopolinización era común en *P. peruviana*; luego Santana y Angarita (1997) aseguraron que era una especie alógama; y ensayos conducidos por Lagos et al. (2008) dieron como resultado que es una especie de polinización mixta con un 53.69 % de polinización cruzada en condiciones de invernadero. Mora-Aguilar et al. (2006) encontraron variabilidad genética entre germoplasmas silvestres de *P. peruviana* provenientes de colectas peruanas y evaluadas en México bajo condiciones de invernadero. Evaluaciones realizadas en esta investigación (datos no publicados) comprobaron la autocompatibilidad y la capacidad de autopolinización de *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides*.

El peso de los frutos de *P. peruviana* (5.05 g) fue mayor al reportado por Mendoza et al. (2012) de 4.61 g promedio, obtenido en una zona productora colombiana y entre el rango de 4 a 10 g referenciado por Fischer et al. (2014).

Con base en los trabajos realizados por Peña-Lomelí et al. (2014) bajo condiciones de invernadero, los pesos entre 23.41 y 31.61 g en las poblaciones del grupo Arandas (158JAL42, 183JAL66, 182JAL65, 173JAL57) son superiores a las medias de 186JAL68 y 19JAL74 con 15.8 y 19.0 g por fruto,

respectivamente. El mayor peso se obtuvo en Puebla SM2 con un promedio de 54.6 g, el cual se consideró un fruto grande, resultado inferior a 66.70 g obtenido en Jade TFG del presente estudio; que también pertenece a la raza Puebla.

Los frutos más grandes fueron los de Jade TFG (5.35 cm x 4.03 cm) y los más pequeños de *P. lagascae* (0.95 cm x 0.88 cm). Aunque *Physalis* spp. produce gran cantidad de frutos, el tamaño de ellos en poblaciones silvestres es menor a las cultivadas, efecto asociado a las condiciones agroclimáticas en las que se producen de forma natural y al alto índice sinantrópico o mayor respuesta de algunas especies a las prácticas agrícolas (Vargas-Ponce et al., 2015). El alto grado de domesticación por la intervención del hombre sobre *P. philadelphica*, ha influido en el incremento del tamaño y peso de los frutos, aunque la producción puede ser afectada por los factores climáticos de la zona de cultivo (Montes et al., 1991; López-Sandoval et al., 2018a). No obstante, bajo condiciones de manejo intensivo, podrían alcanzarse altos rendimientos (López-López et al., 2009). La presencia de frutos relativamente grandes, se considera un carácter de preadaptación y quizás el factor más importante de evolución de la especie silvestre a la cultivada (Schwanitz, 1967).

En el entendido que los mayores tamaños de fruto están asociados a altos rendimientos (Peña-Lomelí et al., 2014), es posible que los pesos y diámetros obtenidos en *P. ixocarpa* cultivados, además del efecto del mejoramiento genético, estén asociados al potencial de las variedades en condiciones de invernadero y polinización artificial; aunque por la autoincompatibilidad el rendimiento en invernadero es menor que el que podrían lograrse en una siembra a campo abierto, debido a que aún la polinización manual en invernadero produce alta frecuencia de frutos partenocárpicos (Peña-Lomelí et al., 2018).

Otro factor a considerar se basa en resultados obtenidos en la variedad CHF1-Chapingo donde el mayor peso de los frutos se obtuvo en la primera cosecha, lo cual fue descendiendo para el resto de los cortes (Peña et al., 1997).

Valencia (1985) afirma que en *P. peruviana* anatómicamente los frutos alcanzan la forma redondeada en un estado de desarrollo entre los 5 y 6 mm, manteniéndolo hasta la madurez.

Las dimensiones de los frutos de *P. peruviana* y *P. nicandroides* fueron menores que los encontrados por Desh et al. (2014) de 2.94 cm de DE y 2.95 cm de DP para *P. peruviana* y 3.36 cm y 2.75 cm, respectivamente, para *P. nicandroides*. Sin embargo, son mayores a los promedios de 1.48 cm de DE y 1.50 cm de DP para frutos de *P. peruviana* obtenidos en centros de acopio del Cauca, Colombia (Mendoza et al., 2012).

Según la Norma Técnica Colombiana (Icontec, 1999), la cual rige el comercio de los frutos de *P. peruviana* del primer país productor del mundo (Mendoza et al., 2012), el DE promedio de los frutos obtenidos bajo las condiciones del presente ensayo (2.01 cm) se clasificaría como calibre D (20.1 - 22.0 mm).

El DE en *P. angulata* de 1.51 cm lo ubica en la clasificación de fruto pequeño (1 - 1.50 cm) según Vargas-Ponce et al. (2015), quienes afirman que esta característica no limita su comercialización en fresco, dado que su gusto y aroma ha ganado la preferencia del consumidor del estado de Jalisco y otras áreas del occidente mexicano. No obstante, los frutos de esta especie podrían alcanzar DE superiores a los 2.5 cm, debido a la posible intervención de los productores en la selección de semilla con base a características físicas deseables y al alto índice sinantrópico o de adaptación de esta especie silvestre a zonas de cultivo (López-Sandoval et al., 2018b).

En evaluaciones iniciales de *Physalis* de consumo local en México (Valdivia-Mares et al., 2016) los frutos de *P. acutifolia*, *P. pubescens* y *P. chenopodifolia* con DE entre 1 y 1.8 cm se clasifican como medianos, que al compararse con la clasificación de Vargas-Ponce et al. (2015) evidencia la falta de homogeneidad en este parámetro.

Cantwell et al. (1992) afirman que hay mucha diversidad en el comportamiento fisiológico de las Solanaceas. Con base en sus estudios, el patrón respiratorio de

un tomatillo morado y la variedad Rendidora (ambos *P. ixocarpa*) es bajo, típico de frutos no climatéricos; lo cual puede asociarse al mantenimiento de la firmeza en *P. ixocarpa*, aún en la postcosecha (Cruz-Álvarez et al., 2012). En contraste con *P. peruviana*, en cuyos frutos climatéricos el proceso de maduración ocurre de forma más acelerada (Pinzón et al., 2015).

Es posible que la baja FF obtenida en *P. peruviana* no sea producto de cambios ocurridos en la postcosecha dado que, al permanecer con el cáliz, los frutos se encuentran protegidos contra daños mecánicos y se limita la entrada de O₂, favoreciendo una maduración lenta por la baja producción de etileno (Balaguera-López et al., 2014). Sin embargo, al comenzar la etapa de maduración, ocurren más cambios químicos en los que se incrementa la cantidad de agua y se altera la textura, así como la compactación de la placenta y el mesocarpo (Valencia, 1985).

Existen diferencias morfológicas y agronómicas entre *P. peruviana* y *P. ixocarpa*, lo cual puede deberse a que las dos especies han evolucionado en diversos hábitats, separados por barreras geográficas que imposibilitan su interacción. Sin embargo, dos de las características que definen la gran variabilidad entre estas especies son el tamaño y la firmeza del fruto (Ligarreto et al., 2005).

Physalis nicandroides fue recolectada cuando se observó el secado del cáliz, lo que pudo haber coincidido con la máxima maduración del fruto, dado que, a pesar de que posee una tradición de uso (Santiaguillo y Blas, 2009), se desconoce un índice de cosecha para esta especie.

En *P. peruviana*, la presencia del cáliz confiere a los frutos beneficios como: posible función repelente por la presencia de resinas terpénicas en su estructura (Valencia, 1985); protección contra condiciones extremas de clima, plagas y enfermedades (Fisher et al., 1997); menor producción de etileno y, en consecuencia, conservación de la firmeza y menor pérdida en la concentración de sólidos solubles totales, acidez titulable y peso en postcosecha (Balaguera-López et al., 2014), características que pueden ser de beneficio para los frutos

de aquellas otras poblaciones cuyo cáliz cubre el fruto hasta el momento de la recolección.

Según Álvarez-Herrera et al. (2021) en *P. peruviana* la relación del cáliz se incrementa durante el ciclo de la cosecha, comenzando con un mínimo cercano al 5 % hasta alcanzar un máximo de 11.9 % debido a la diferencia entre la masa del cáliz y el tamaño del fruto entre la primera recolección y las siguientes. Estos autores reportan que en las primeras cosechas los cálices tuvieron una mayor masa (0.45 g), pero los frutos fueron grandes (5.66 g); mientras que, en las últimas cosechas, aunque los cálices eran más grandes, sus masas habían disminuido por pérdida de humedad (0.15 g) y los frutos eran más pequeños (2.26 g).

En el presente estudio, la PC en *P. peruviana* fue menor al 5 %. Para una cosecha única fue de 3.39 %, lo cual se atribuye a la presencia de frutos grandes (5.05 g) y cálices con menor masa (0.18 g).

Aunque son escasas las referencias de los parámetros de color en las especies silvestres, Desh et al. (2014) determinaron valores de L= 55.33 en frutos de *P. nicandroides* bajo condiciones de cultivo en la India; lo que indica una mayor brillantez a la obtenida en este estudio. No obstante, existe correspondencia entre los resultados obtenidos en *P. peruviana*, donde estos autores presentan valores promedio de L= 53.77.

Abreu et al. (2016), en un ensayo conducido en Brasil con *P. peruviana*, señalan rangos de L de 57.7 a 61.7; Croma de 46.2 a 46.8 y °Hue de 76.2 a 77.7; los cuales determinan frutos más brillantes y de coloración más intensa a los encontrados en esta investigación.

El valor de pH es frecuentemente utilizado como un índice de cosecha en los productos hortofrutícolas (Santana et al., 2004). A medida que los frutos maduran el pH aumenta, como consecuencia del uso de los ácidos orgánicos como sustratos respiratorios o como cadenas de carbono para la síntesis de nuevos compuestos (Kays, 1997).

Aunque el contenido de SST en *P. peruviana* se encuentra entre los valores más altos de las poblaciones evaluadas (4.44 °Brix), este es menor al mínimo requerido (Icontec, 1999) para el grado de color 6. La razón puede deberse a que en esta especie los frutos acumulan agua durante toda la maduración, mientras que la generación de azúcares solo ocurre durante las fases 3 y 4 (Fisher y Martínez, 1999). No obstante, el IM coincide con el grado 5 y 6 de la norma (Icontec, 1999) y el valor de pH corresponde con el obtenido por Mier y Cáez (2011) para el grado 6.

Uno de los indicadores para determinar el momento de cosecha en *P. peruviana* es el cambio de color del cáliz del color verde al amarillo (Galvis et al., 2005), pero éste debe complementarse con determinaciones de SST y AT, dado que esta relación puede variar en función de las condiciones agroclimáticas y el manejo del cultivo.

Evaluaciones postcosecha realizadas en la variedad CHF1-Chapingo dieron como resultado SST de 6.50 °Brix y AT de 1.20 % al momento de la cosecha (Cruz-Álvarez et al., 2012), valores que están por encima de los encontrados en todas las poblaciones cultivadas de *P. ixocarpa* evaluadas en este estudio. Lo contrario ocurrió con la ViC, donde los contenidos en las siete poblaciones cultivadas de esta especie fueron mayores al 2.61 mg.100 g⁻¹ determinado por estos autores.

La concentración de ViC en *P. peruviana* fue baja, dado que esta puede llegar hasta 30 mg.100 g⁻¹ de fruto fresco (Galvis et al., 2005). La naturaleza termolábil del ácido ascórbico hace que la concentración de la ViC determinada en los frutos, no dependa solo de factores genéticos, sino que esté influenciada por el estado de madurez, las condiciones climáticas y el manejo postcosecha (Santana et al., 2004, Cortés et al., 2015).

La concentración de CAR en *P. peruviana* resultó cercana a los 310 µg.100 g⁻¹ determinados en el ecotipo Colombia para el estado de maduración 6 (Mier y Cáez, 2011).

La degradación de la clorofila en *P. peruviana* ocurre durante la madurez de consumo, cuando la corteza y la pulpa se tornan de color amarillo. Este suceso está asociado a la acción de las clorofilasas, que en medio ácido incrementan su actividad (Galvis et al., 2005); dando paso a la visibilidad de los carotenos previamente sintetizados durante el desarrollo del fruto (Agusti, 2000). La degradación de la clorofila intensifica el color amarillo en materiales con altos contenidos de carotenoides (Meléndez-Martínez et al., 2004).

5. CONCLUSIONES

Las variables peso de fruto y relación de diámetros evidenciaron que en *Physalis ixocarpa* cultivados se obtuvieron los frutos más grandes, pesados y achatados, características asociadas al mejoramiento genético. En *Physalis peruviana* y *Physalis* spp. silvestres, los frutos fueron más pequeños y redondos, aunque se observaron diferencias entre ellos en peso, diámetro ecuatorial y diámetro polar. Las poblaciones silvestres (*Physalis ixocarpa* Juanacatlán, *Physalis angulata*, *Physalis nicandroides* y *Physalis lagascae*) y *Physalis peruviana* mantienen el cáliz hasta el final de su desarrollo, lo que implica una posible protección de los frutos durante el cultivo y la postcosecha. Los parámetros de color luminosidad y croma permitieron identificar que existen diferencias de brillantez e intensidad de color entre las poblaciones de *Physalis ixocarpa* cultivadas, silvestres y *Physalis peruviana*. La determinación de °Hue discriminó la diferencia entre las tonalidades de *Physalis peruviana* con el resto de las poblaciones y la similitud entre el color de las poblaciones de *Physalis ixocarpa* cultivadas y las poblaciones silvestres. La diferencia en el índice de madurez determinado en las poblaciones de *Physalis ixocarpa* cultivadas y *P. peruviana* dependió de las concentraciones de sólidos solubles totales y no de la acidez titulable. En relación con la concentración de sólidos solubles totales, acidez titulable y vitamina C las poblaciones silvestres fueron más similares a la población de *Physalis peruviana*. El peso, dimensiones, parámetros de color, índice de madurez y concentración de carotenoides determinados en frutos de *Physalis peruviana* bajo condiciones

de invernadero, son similares a los reportados en zonas subtropicales de Suramérica, donde se produce y comercializa con éxito, lo que implica la posibilidad de ser cultivada en México. Los frutos de todas las poblaciones presentaron altos contenidos de clorofila. No obstante, la ausencia de relación entre la concentración de clorofila y carotenoides presume que la presencia de otros pigmentos podría estar asociados a la tonalidad encontrada en los frutos. Todas las poblaciones evaluadas poseen vitamina C y carotenoides. La más alta concentración de carotenoides se encontró en la población de *P. nicandroides*, lo cual le confiere un gran valor nutricional. La determinación de las características fisicoquímicas en frutos de *Physalis* spp. permite identificar su potencial de uso tanto para el consumo fresco como industrial, así como la selección de cualidades deseables en fuentes de germoplasma silvestre.

6. LITERATURA CITADA

- Abreu, P. H., Pio, R., Nogueira, P., de Almeida Rodrigues, L. C., Bianchini, F. G. and Barcelos, R. (2016). Cobertura plástica e densidade de plantio na qualidade das frutas de *Physalis peruviana* L. *Revista Ceres, Viçosa*, 63(3), 334-339.
- Álvarez-Herrera, J., Fischer, G. y Vélez, J. (2021). Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(174), 109-121. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1239>
- Aguilar, M. G. (2018). Evaluación preliminar de la morfología de frutos *Physalis peruviana* L. ecotipo Yungay (Ancash - Perú). *Revista Doctorado UMH*, 4(1), 1. [Online]. DOI: <https://doi.org/10.21134/doctumh.v4i1.1484>
- Agusti, M. (2000). Crecimiento y desarrollo del fruto. (pp. 419-433). En Azcon-Bieto, J. y M. Talón (Eds.). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill/Interamericana de España, Madrid.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. (1990). Official Methods and Analysis. 14th Ed. Published for the Association of Official Analytical Chemists Inc. Arlington, VA., USA. 1006 p.
- Balaguera-López, H. E., Martínez, C. A. y Herrera-Arévalo, A. (2014). Papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis*

- peruviana* L.) ecotipo Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 181-191.
- Braco, L. and Zarucchi, J. L. (1993). Catalogue of the flowering plants and conifers of Perú. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, 45, 1-1285.
- Cantwell, M., Flores, M. J. and Trejo, G. A. (1992). Developmental changes and postharvest physiology of tomatillo fruits (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Scientia Horticulturae*, 50, 59-70.
- Cobaleda-Velasco, M., Reyes-Martínez, A., Barriada-Bernal, G., Medina-Medrano, J. R., Torres-Ricario, R., Delgado-Alvarado, E. A., Alanis-Bañuelos, R. E. y Almaraz-Abarca, N. (2013). Una mirada general al tomate de cáscara (*Physalis*). *Vidsupra*, 5(2), 90-99.
- Cortés, G., Prieto, G. y Roza, W. (2015). Caracterización bromatológica y fisicoquímica de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) y su posible aplicación como alimento nutracéutico. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 6(1), 87-97.
- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, Ma. T., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, Ma. T. y Moreno-Pérez, E. del C. (2012). Conservación postcosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(3), 333-344.
- Cuevas-Arias, C. T., Vargas, O. and Rodríguez, A. (2008). Solanaceae diversity in the state of Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79, 67-69.
- Desh Beer Singh, Nazeer Ahmed, Shiv Lal, Anis Mirza, Om Chand Sharma and Arshad Ahmed Pal (2014). Variation in growth, production and quality attributes of *Physalis* species under temperate ecosystem. *Fruits*, 69, 31–40. <http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2013099>
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. y Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 1-15. Doi:10.1590/0100-2945-441/13
- Fischer, G., Lüdders, P. y Torres, F. (1997). Influencia de la separación del cáliz de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) sobre el desarrollo del fruto. *Revista Comalfi*, 24(1-2), 3-16.
- Fischer, G. y Martínez, O. (1999). Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agronomía Colombiana*, 16(1-3), 35-37.
- Galvis, J., Fischer, G. y Gordillo, O. (2005). Cosecha y poscosecha de la uchuva. En Fischer, G., D. Miranda, W. Piedrahita, J. Romero (Eds.) *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.) en Colombia* (pp.167-192). Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

- Gupta, S. K. and Roy, S. K. (1981). The floral biology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L. Solanaceae, India). *Indian Journal of Agricultural Science*, 51(5), 353-355.
- Icontec, Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1999). Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas. <https://kontii.files.wordpress.com/2012/10/ntc-4580.pdf>
- Jovanović, S., Mrmošanin, J., Zlatković, B., Dukić, M., Pavlović, A. and Stojanović, G. (2021) Comparative study on the elemental composition of different parts of cultivated *Physalis alkekengi* (Solanaceae). *Scientific paper. Journal of the Serbian Chemical Society*, 86(12), 1271–1279. <https://doi.org/10.2298/JSC210712079J>
- Kays, S. (1997). *Postharvest physiology of perishable plant products*. 1st edition. Exon Press, Athens, GA. pp. 263-278.
- Kindscher, K., Long, Q., Corbett, S., Bosnak, K., Loring, H., Cohen, M. and Timmermann, B. (2012). The ethnobotany and ethnopharmacology of wild tomatillos, *Physalis longifolia* Nutt., and related *Physalis* species: a review. *Economic Botany*, 66, 298-310. doi:10.1007/s12231-012-9210-7.
- Lagos, T. C., Vallejo, F. A., Criollo, H. y Muñoz, J. (2008). Biología reproductiva de la uchuva. *Acta Agronómica (Palmira)*, 57(2), 81-87.
- Lascurain, M., Avendaño, S., del Amo, S. y Niembro, A. (2010). *Guía de frutos silvestres comestibles en Veracruz*. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, Conafor-Conacyt, México.
- Li, Y. Z., Pan, Y. M, Huang, X. Y. and Wang, H. S. (2008). Withanolides from *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. *Helvetica Chimica Acta*, 91(12), 2284-2291. <http://dx.doi.org/10.1002/hlca.200890248>.
- Ligarreto, G., Lobo, M. y Correa, A. (2005). Recursos genéticos del género *Physalis* en Colombia. (pp. 9-27). En Fischer, G., D. Miranda, W. Piedrahita, J. Romero (Eds.) *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.) en Colombia* (pp.167-192). Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- López, J. Y, Martínez, G. A. y González, M. (2018). Desarrollo de nuevos productos derivados del tomate de cáscara como alternativa para aumentar la rentabilidad de los sistemas productivos en comunidades rurales de Oaxaca. En *Dinámica económica y procesos de innovación en el desarrollo regional*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México. ISBN: 978-607-30-0000-0, AMECIDER: 978-607-96649-7-8. Disponible en: <http://ru.iiiec.unam.mx/3864/>

- López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., López-Cruz, I. L. y Sánchez-Cohen, I. (2009). Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(1), 83-89.
- López-Sandoval, J. A., López-Mata, L., Cruz-Cárdenas, G., Vibrans, H., Vargas, O. y Martínez, M. (2015). Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences*, 93(4), 755-764. DOI: 10.17129/botsoci.192
- López-Sandoval, J. A., Morales-Rosales, E. J., Vibrans, H. y Morales-Morales, E. J. (2018a) Tasa de asimilación neta y rendimiento de *Physalis* bajo cultivo en dos localidades. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41,2 https://www.redalyc.org/jatsRepo/610/61059020010/html/index.html#redalyc_61059020010_ref11
- López-Sandoval, J. A., Morales-Rosales, E. J., Vibrans, H., Uscanga-Mortera, E., Vargas-Ponce, O., y Martínez-y-Díaz-De-Salas, M. (2018b). Cultivo de especies silvestres del género *Physalis* y su relación con la sinantropía. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21, 303-315.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Medina-Medrano, J. R., Almaraz-Abarca, N., González-Elizondo, M. S., Uribe-Soto, J. N., González-Valdez, L. S. and Herrera-Arrieta, Y. (2015). Phenolic constituents and antioxidant properties of five wild species of *Physalis* (Solanaceae). *Botanical Studies*, 56, 24. DOI 10.1186/s40529-015-0101-y
- Meléndez-Martínez, A., Vicario, I. y Heredia, F. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 149-155. Recuperado en 02 de febrero de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200003&lng=es&tlng=es.
- Mendoza, J. H., Rodríguez, A. y Millán, P. (2012). Caracterización físico química de la uchuva (*Physalis peruviana*) en la región de Silvia Cauca. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 188-196.
- Menzel, Y. (1951). The citotaxonomy and genetics of *Physalis*. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 95(2), 132-183.
- Mier, H. y Cáez, G. (2011). Contenido de polifenoles, carotenos y capacidad antioxidante en frutos de uchuva (*Physalis peruviana*) en relación a su estado de maduración. *Revista ReCiTeIA*, 11(1b), 103-115.
- Montes, H. S., Aguirre, J. R., García, E. y González, F. V. (1991). Algunos efectos de la domesticación sobre la morfología del tomate *Physalis philadelphica*. *Agrociencia Serie Fitociencia*, 2, 7-26.

- Mora-Aguilar, R., Peña-Lomelí, A., E., López-Gaytán, E., Ayala-Hernández, J. J. y Ponce-Aguirre, D. (2006). Agrofenología de (*Physalis peruviana* L.) en invernadero y fertirriego. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(1), 57-63.
- Olmstead, R. G., Bohs, L., Migid, H. A., Santiago-Valentin, E., García, V. F. and Collier, S. M. (2008). A molecular phylogeny of the Solanaceae. *TAXON*, 57(4), 1159-1181.
- Peña-Lomelí, A., Ponce-Valerio, J. J., Sánchez-del-Castillo, F. y Magaña-Lira, N. (2014). Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en Invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 381-391.
- Peña-Lomelí, A., Magaña-Lira, N., Gámez-Torres, A., Mendoza-Celino, F. A. y Pérez-Grajales, M. (2018). Manual pollination in two tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) varieties under greenhouse conditions. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(1), 41-52.
- Peña, A., Santiaguillo, J. F, Montalvo, D. y Pérez, M. (1997). Intervalos de cosecha en la variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 3(1), 31-38.
- Pérez, J. P., Peña, A. y Mulato, J. (1992). Caracterización de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Chapingo, Mex. *Revista Chapingo*, 16(79-80), 128-137.
- Pinzón E., A. Reyes, J. Álvarez-Herrera, M. Leguizamo, y J. G. Joya (2015) Comportamiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* L., bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista de Ciencias Agrícolas* 32(2): 26-35. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.153202.10>
- Ramadan, M. F. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview. *Food Research International*, 44, 1830-1836. doi: 10.1016/j.foodres.2010.12.042
- Salcedo-Pérez, E., Arvizu, M., Vargas-Radillo, J., Vargas-Ponce, O., Bernabe-Antonio, A. y Barrientos-Ramírez, L. (2015). Contenido mineral y tamizaje fitoquímico en *Physalis chenopodifolia* Lam. en condiciones de desarrollo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 58-73.
- Santana, G. y Angarita, A. (1997). Regeneración adventicia de somaclones de uchuva (*Physalis peruviana*). *Agronomía Colombiana*, XIV(1), 59-65.
- Santana, L., Matsuura, F. e Cardoso, R. (2004). Genótipos melhorados de mamão (*Carica papaya* L.): avaliação sensorial e físico-química dos frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 24(2), 217-222. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612004000200010>

- Santiaguillo, J. F. y Blas, S. (2009). Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola*, 43, 81-86.
- Santiaguillo, J. F., Vargas, O., Grimaldo, O., Sánchez, J. y Magaña, N. (2009). *Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (Physalis) en México*. Publicaciones de la Red de Tomate de Cáscara. Folleto Técnico Núm. 2.
- Santiaguillo, J. F., Flores, G., Peña, A. y Magaña, N. (2012). Diversidad del género *Physalis* en el estado de Querétaro, México. En XIV Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas 25 al 27 de abril de 2012 (Memorias). Disponible en línea: nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- Santiaguillo, J. F., López, M. R., Peña, A., Cuevas, J. A. y Sahagún, J. (1994). Distribución, colecta y conservación de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* spp.) en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 1(2), 125-129.
- SAS. (2002). SAS/STAT users guide: Statics, Ver. 9.00. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Schwanitz, F. (1967). The origin of cultivated plants. Cambridge, Massachusetts: Harvard University, Press.
- Soukup, J. (1987). Vocabulario de los nombres vulgares de la flora peruana y catálogo de los géneros. Editorial Salesiana. Lima.
- Tuxtla-Andrade, M. R. M., Magaña-Lira, N., Peña-Lomelí, A., Lozoya-Saldaña, H., Leyva-Mir, S. G. y Peña-Ortega, M. G. (2022). Compatibilidad de cruza entre poblaciones silvestres tolerantes a virus y cultivadas de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45 (1), 43-53.
- Valencia, M. L. (1985). Anatomía del fruto de la uchuva. *Acta Biológica Colombiana*, 1(2), 63-89.
- Valdivia-Mares, L. E., Rodríguez, F. A., Sánchez, J. J. and Vargas-Ponce, O. (2016). Phenology, agronomic and nutritional potential of three wild husktomato species (*Physalis*, Solanaceae) from Mexico. *Scientia Horticulturae*, 200, 83-94.
- Vargas-Ponce, O., Sánchez-Martínez, J., Zamora-Tavares, M. del P. and Valdivia-Mares, L. E. (2015). Traditional management of a small-scale crop of *Physalis angulata* in Western Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63(8), 1383-1395. doi:10.1007/s10722-015-0326-3
- Zamora-Tavares, P., Vargas-Ponce, O., Sánchez-Martínez, J., and Cabrera-Toledo, D. (2015). Diversity and genetic structure of the husk tomato (*Physalis philadelphica* Lam.) in Western Mexico. *Genetic Resource and Crop Evolution*, 62(15), 151-153.

**IV. COMPUESTOS BIOACTIVOS EN FRUTOS CULTIVADOS Y
SILVESTRES DE *Physalis* spp.**

COMPUESTOS BIOACTIVOS EN FRUTOS CULTIVADOS Y SILVESTRES DE *Physalis* spp.¹

RESUMEN

Los nutraceuticos son compuestos bioactivos que se encuentran en alimentos de origen vegetal, aportan color y aroma, su consumo previene enfermedades y confieren beneficios a la salud. Muchos de ellos pertenecen al grupo de los metabolitos secundarios porque se consideran no básicos para el funcionamiento de las plantas; no obstante, juegan un rol de protección importante entre estos organismos y el ambiente. *Physalis* posee alta diversidad de estos compuestos. El objetivo de la presente investigación fue cuantificar compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en extractos de frutos de 11 poblaciones de *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides* a fin de determinar alternativas de uso. Las plantas fueron establecidas en invernadero con sistema hidropónico. Se usó un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los frutos se cosecharon en madurez de consumo. Se determinaron parámetros de color, metabolitos secundarios y actividad antioxidante. La concentración de carotenoides, sapogeninas, compuestos fenólicos, antocianinas y actividad antioxidante fue diferente entre las poblaciones ($\alpha \leq 0.05$). Los resultados demostraron que la población de *P. nicandroides* presentó el mayor contenido de carotenoides (762.15 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ PF) y *P. peruviana* el mayor de sapogeninas (59.56 mg DE. 100 g^{-1} PF). Hubo una alta correlación positiva ($P < 0.0001$) entre croma y contenido de sapogeninas (0.77); y entre concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante (0.74). Las poblaciones evaluadas poseen alto contenido de bioactivos y alta actividad antioxidante, lo que las hace promisorias como alimento funcional por sus componentes nutraceuticos.

PALABRAS CLAVE: Actividad antioxidante, antocianinas, compuestos fenólicos, sapogeninas, tomate de cáscara, uchuva.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Grigna Josefina Piña Dumoulin.

Director de Tesis: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

Artículo enviado a la Revista Fitotecnia Mexicana.

BIOACTIVE COMPOUNDS IN CULTIVATED AND WILD FRUITS OF *Physalis* spp.¹

SUMMARY

Nutraceuticals are bioactive compounds found in foods of plant origin, they provide color and aroma, their consumption prevents diseases and confers health benefits. Many of them belong to the group of secondary metabolites because they are considered non-basic for the functioning of plants; however, they play an important protective role between these organisms and the environment. *Physalis* has a high diversity of these compounds. The objective of this research was to quantify bioactive compounds and antioxidant activity in fruit extracts from 11 populations of *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* and *P. nicandroides* in order to determine alternatives for use. The plants were established in a greenhouse with a hydroponic system. A randomized block design with four replications was used. The fruits were harvested at consumption maturity. Color parameters, secondary metabolites and antioxidant activity were determined. The concentration of carotenoids, sapogenins, phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity was different between the populations ($\alpha \leq 0.05$). The results show that the population of *P. nicandroides* presented the highest content of carotenoids (762.15 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ FW) and *P. peruviana* the highest of sapogenins (59.56 mg DE. 100 g^{-1} FW). There was a high correlation ($P < 0.0001$) between chroma and sapogenin content (0.77); and between concentration of phenolic compounds and antioxidant activity (0.74). The evaluated populations have a high content of bioactives and high antioxidant activity, which makes them promising as functional food due to their nutraceutical components.

INDEX WORDS: Antioxidant activity, anthocyanins, phenolic compounds, sapogenins, husk tomato, cape gooseberry.

¹Doctoral Thesis in Science in Horticulture, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Grigna Josefina Piña Dumoulín.

Advisor: Dr. Aureliano Peña Lomelí.

Article sent to Revista Fitotecnia Mexicana

1. INTRODUCCIÓN

Los fitoquímicos son compuestos bioactivos, que se encuentran en alimentos de origen vegetal, que además de aportar características asociadas a color y aroma, confieren beneficios a la salud. En frutos y vegetales la mayoría de ellos están libres o en forma de glucósidos solubles conjugados (Shahidi, 2009). La familia Solanácea se considera fuente importante de fitoquímicos (Eick, 2008).

En esta familia, *Physalis peruviana*, contiene alto contenido de vitaminas, además de otros bioactivos con demostrada acción anticancerígena, como witanólicos y physalinas (Ramadan, 2011; Chian *et al.*, 1992). Las propiedades etnofarmacológicas de *Physalis* son atribuidas a fitoquímicos como carotenoides, esteroides, ácidos fenólicos, flavonoides, glicósidos, taninos y alcaloides (Jovanović *et al.*, 2021).

Las saponinas son otros fitoquímicos presentes en este género, consideradas metabolitos secundarios con propiedades tensoactivas naturales que se encuentran en muchas plantas, propiedad atribuida a su estructura química que le confiere propiedades hidrosolubles y liposolubles (San Martín y Briones, 2000; Cheeke, 2000). Se encuentran como glicósidos y se caracterizan por tener un sabor amargo, además de ser consideradas factores antinutricionales endógenos (López y Rosas, 2016; Tacon, 1995) por su efecto negativo sobre la fermentación ruminal y el proceso digestivo en bovinos (Carmona, 2007). También son conocidas como agentes defaunadores por disminuir la población de protozoarios ruminales. Esta acción está relacionada a la estructura de su aglicona, que puede ser triterpénica o esteroidea, y a la variedad de azúcares unidos a ella, que le permite la interacción con el colesterol y otros esteroides de la membrana celular, y formar poros que ocasionan lisis celular (Cheeke, 2000; Arabski *et al.*, 2012).

Existen estudios en los cuales las saponinas pueden estimular el crecimiento de bacterias celulolíticas y hongos ruminales; incrementar el aporte de proteínas microbiales al duodeno; y generar mayor tasa de degradación de la materia orgánica y almidones (Díaz *et al.*, 1993; Galindo *et al.*, 2000; Goetsch y Owens, 1985; Valdez *et al.*, 1986; Wang *et al.*, 2000). Sin embargo, existe poca

información en torno al consumo de estos metabolitos en forma de frutos tropicales en rumiantes; y la existente ha generado hallazgos contradictorios en relación a su efecto sobre diversas poblaciones de bacterias y a la degradación de las fibras (Santos *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2000; Wallace *et al.*, 1994; Williams y Coleman, 1991); diferencias asociadas posiblemente al nivel de consumo (Carmona, 2007).

Los antioxidantes, otro grupo de metabolitos, son compuestos que tienen la capacidad de prevenir reacciones químicas nocivas en las que se combina el oxígeno con otras sustancias. La oxidación lipídica, en los alimentos genera rancidez en gusto y aroma; una de las mayores causas de su deterioro. Además, existe el riesgo que sustancias tóxicas resultantes de esa oxidación degradativa puedan causar mutagénesis y carcinogénesis en los seres vivos (Embuscado, 2015).

Los carotenoides, son los responsables de la coloración de diversos alimentos de origen vegetal y animal. Compuestos como el α y β -caroteno, así como la β -criptoxantina, son provitaminas A; sin embargo, es la propiedad antioxidante de estos pigmentos lo que ha incrementado su interés desde el punto de vista nutricional (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

La existencia y concentración de algunos metabolitos secundarios en las plantas está asociada a la capacidad de sobrevivencia ante condiciones extremas. Muchos de ellos (p.ej. glucósidos de fenoles y lactonas) son sustancias antipatogénicas constitutivas que se transforman en tóxicas para los microorganismos una vez que estos invaden la planta-hospedera, ya sea por liberación desde los compartimentos de la célula o después de una transformación enzimática (Jankiewicz y Sobiczewski, 2003). Existen otros como los compuestos fenólicos, en cuyo grupo se encuentran flavonoides como las antocianinas, cuya ingesta constituye una fuente importante de antioxidantes en la alimentación humana (Jankiewicz, 2003; Ghiselli *et al.*, 1998).

Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas y constituye la forma en que éstas se acumulan en las plantas. Pertenecen al grupo de los flavonoides y

representan los principales pigmentos solubles en agua, visibles al ojo humano. La mayor concentración de antocianinas se encuentra en flores y frutos; pero también pueden estar presentes en otras partes de las plantas como: órganos de almacenamiento, granos, tallos y hojas (Aguilera *et al.*, 2011). El tipo y contenido de antocianinas puede variar dependiendo del color y la concentración del pigmento en las diversas estructuras (Salinas *et al.*, 2013).

Estudios realizados por Medina-Medrano *et al.* (2015) sobre poblaciones de *Physalis* colectadas en Durango, les permite concluir que *P. angulata*, *P. heredifolia*, *P. solanácea*, *P. patula* y *P. subulata* son importantes fuentes de compuestos fenólicos con relevante actividad antioxidante.

En México, la importancia del cultivo de *Physalis ixocarpa*, tanto para el consumo nacional como por su potencial de exportación, es cada día mayor. A pesar de las abundantes poblaciones existentes en el país, el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) solo tiene registradas 23 variedades de esta especie, 16 de las cuales pertenecen a la Universidad Autónoma Chapingo (Benito *et al.*, 2016; SNICS, 2022).

Determinar la composición fitoquímica de germoplasma poco explorado, incrementa la posibilidad de ser producidos de forma comercial, así como de incorporar colecciones de conservación que los proteja de riesgos de extinción (Schippmann *et al.*, 2005). El objetivo de la presente investigación fue cuantificar compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en extractos de frutos de *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides* a fin de determinar alternativas de uso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material vegetal

El ensayo se condujo entre los meses de julio de 2019 y enero de 2020. Se evaluaron 11 poblaciones de *Physalis* spp. (Cuadro 1) en el invernadero 25 del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Texcoco,

Estado de México (19° 29' 05" N, 98° 53' 11" O; 2250 msnm), con sistema hidropónico y arena volcánica tezontle como sustrato.

Cuadro 1. Poblaciones del género *Physalis* evaluadas y su descripción.

Número	Población / Accesoión	Origen	Descripción
1.	Jade TFG/Con registro SNICS	UACH	Cultivado. Fruto verde muy grande. Uso en salsas.
2.	Zafiro MSM/Con registro SNICS	UACH	Cultivado. Fruto verde – morado mediano. Uso en salsas.
3.	Arandas /158JAL42	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
4.	Arandas /173JAL57	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
5.	Arandas /182JAL65	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
6.	Arandas /183JAL66	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
7.	Juanacatlán	UACH	Silvestre. Resistente a virus. Uso en salsas.
8.	<i>Physalis peruviana</i> L.	COLPOS	Cultivada. Fruto amarillo, pequeño y dulce. Consumo como fruta.
9.	<i>Physalis angulata</i> L.	Guanajuato	Silvestre. Fruto pequeño. Uso en salsas*.
10.	<i>Physalis lagascae</i> Roem. et Schult.	Guanajuato	Silvestre. Fruto morado y pequeño. Consumo no especificado*.
11.	<i>Physalis nicandroides</i> Schltldl. /09MICH01	UACH	Silvestre. Uso en salsas, medicinal, ceremonial y como trampa vegetal*.

Fuentes: Pérez *et al.*, 1992; Santiaguillo y Blas, 2009*; SNICS, 2022 y Tuxtla *et al.*, 2022. Las poblaciones 1 a 7 pertenecen a *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm. UACH = Programa de mejoramiento genético de tomate de cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo. COLPOS = Colegio de Postgraduados.

Cada población correspondió a un tratamiento para un total de 11. La unidad experimental fue de 19 plantas por tratamiento y el diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

La cosecha de los frutos se realizó entre los meses de diciembre de 2019 y enero de 2020 cuando estos alcanzaron la madurez de consumo. En *P. peruviana* la recolección se realizó en el grado 6 de color, según la Norma Técnica Colombiana 4580 (Icontec, 1999). En cada unidad experimental se tomaron tres muestras de fruto. El procesamiento de las muestras se realizó en los Laboratorios de Postcosecha de frutos y Fitoquímica del Departamento de Fitotecnia de la UACH. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

2.2. Luminosidad (L), Croma y °Hue. Fueron determinados según la metodología de McGuire (1992) a partir de los valores “L”, “a” y “b” medidos en

el epicarpio de los frutos, donde $\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$ y $^{\circ}\text{Hue} = \arctg b/a$. Se utilizó un colorímetro de reflexión portátil ColorTec-PCM (Cole Palmer, USA).

2.3. Carotenoides (CAR). Se cuantificó por espectrofotometría (AOAC, 1990) a partir de un extracto acetónico (80 %). Las lecturas de absorbancia se obtuvieron en un espectrómetro de UV-Vis Genesis modelo 10S. Las concentraciones se expresaron en microgramos por 100 gramos de peso fresco ($\mu\text{g. } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$)

2.4. Sapogeninas (SAP). Se determinó según la metodología de Hiai *et al.* (1976) modificada por Le *et al.* (2018) en extracto etanólico de fruto fresco homogenizado. Las concentraciones se expresaron en miligramos de equivalentes de diosgenina por 100 gramos de peso fresco ($\text{mg DE. } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$) derivados de una curva estándar ($A_{544} = 0.0011 [\text{diosgenina}] + 0.0887$; $R^2 = 0.992$).

2.5. Compuestos fenólicos totales (CFT). Se determinó según la metodología de Waterman y Mole (1994) en extracto metanólico de fruto. Las concentraciones se expresaron en como miligramos de equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de peso seco ($\text{mg GAE. } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) derivados de una curva estándar ($A_{765} = 0.8058 [\text{ácido gálico}] + 0.077$; $R^2 = 0.9977$).

2.6. Antocianinas (ANT). Se determinó según la metodología de pH diferencial según Giusti y Wrolstad (2001) en extracto metanólico de fruto. La cuantificación se realizó a 520 nm. Las concentraciones se expresaron en miligramos de antocianinas totales por 100 gramos de peso seco ($\text{mg. } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) obtenidos a partir de las siguientes fórmulas: Antocianinas totales (mg. L^{-1}) = $(A \times \text{PM} \times \text{FD} \times 1000) / (\epsilon \times 1)$, donde $A = (A_{\lambda \text{ vis-max}} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{\lambda \text{ vis-max}} - A_{700})_{\text{pH } 4.5}$, PM = Peso molecular de cianidina 3-glucósido (449.2 g), FD = Factor de dilución y ϵ = Coeficiente de extinción (26,900).

2.7. Actividad antioxidante (AA). Se determinó según la metodología de decoloración del radical 2,29-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) o ABTS (Re *et al.*, 1999) en extracto metanólico de fruto. Se expresó en porcentaje de inhibición del radical ABTS (%) para 30 min de reacción, calculado a partir de

una curva estándar ($A_{734} = -0.2754 [\text{trolox}] + 0.5962$; $R^2=0.9991$) con base en milimoles de equivalentes trolox por gramo de peso seco (mM TE. g⁻¹ PS).

Análisis estadístico

En cada unidad experimental se tomaron tres muestras de fruto. La determinación de las concentraciones de SAP, CFT, ANT y AA se realizaron por triplicado en cada muestra, en un espectrofotómetro UV-visible Modelo Genesis 10UV. En el resto de las variables se realizaron cinco determinaciones por muestra, a excepción de CAR donde solo se realizó una determinación por muestra. A los resultados se les aplicó un análisis de varianza, comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$) y correlaciones de Pearson con el programa estadístico SAS/STAC 9.0 (SAS, 2002). Los valores de °Hue y CAR fueron ajustados con logaritmo; L, Croma, SAP y CFT con arcoseno; y ANT y AA con raíz cuadrada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza de las variables determinadas se muestran en el Cuadro 2. Hubo efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) de las poblaciones sobre las variables L, Croma, °Hue, CAR y SAP; significativo ($P \leq 0.05$) para CF y TRO y no significativo para el contenido de ANT.

Cuadro 2. Análisis de varianza de las variables determinadas en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

FV	GL	L		GL	°Hue		GL	CRO		GL	CAR	
P	10	5.31	**	10	1.29	**	10	22.82	**	10	10.77	**
B	3	0.12	NS	3	0.02	NS	3	0.87	*	3	2.07	*
P x B	30	1.16	**	30	0.03	**	30	1.06	**	28	0.72	NS
Error	518	0.23		500	0.02		518	0.32		52	0.68	
Total	561			543			561			91		
CV		9.41			2.70			15.86			19.75	
Media		43.64			106.19			23.51			163.51	
		SAP			CFT			GL			GL	
P	10	43.19	**	10	2.16	*	10	3.12	NS	10	0.23	*
B	3	3.23	**	3	0.53	*	3	1.85	*	3	0.30	**
P x B	28	3.26	**	27	0.86	**	26	1.49	**	27	0.10	**
Error	260	0.42		259	0.16		215	0.58		256	0.02	
Total	301			299			254			296		
CV		20.41			11.46			39.10			11.16	
Media		20.69			21.81			4.54			1.58	

FV= Fuente de variación. P= Población. B= Bloques. GL= Grados de libertad. L= Luminosidad. CRO= Croma. CAR= Carotenoides. SAP= Sapogeninas. CFT= Compuestos fenólicos totales. ANT= Antocianinas. TRO= Trolox. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS= No significativo.

La comparación de medias indicó diferencias entre tratamientos (Cuadro 3). La prueba de medias permitió constatar que el mayor valor de L se observó en P. peruviana (53.92); diferente ($\alpha \leq 0.05$) de las poblaciones 183JAL66 (33.85), 173JAL57 (34.08) y P. nicandroides (41.22) donde se obtuvieron los menores valores. Los valores de °Hue diferenciaron la tonalidad amarillo-naranja de P. peruviana (68.08) del resto de las poblaciones, en las cuales esta variable osciló entre verde y verde-morado. El intervalo de croma estuvo entre 41.86 para P. peruviana y 13.66 para P. lagascae. Los valores de L, °Hue y croma determinados en la población Jade TFG son similares a los obtenidos por Cruz-Álvarez et al. (2012) en la variedad mejorada CHF1-Chapingo.

Cuadro 3. Comparación de medias para las variables determinadas en 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Poblaciones	L		°Hue		Croma		CAR		SAP		CFT		ANT		TRO	
Jade TFG	44.22	abc	109.43	ab	27.83	b	44.05	c	15.15	bc	28.33	a	5.80	a	1.81	a
Zafiro MSM	42.00	abc	108.16	ab	17.76	cde	100.96	c	8.79	c	22.78	abc	3.89	a	1.77	a
158JAL42	43.96	abc	113.37	ab	25.63	b	101.26	bc	12.74	bc	20.87	abc	5.44	a	1.47	a
173JAL57	34.08	c	119.87	a	13.78	e	31.99	c	13.88	bc	16.65	bc	2.53	a	1.34	a
182JAL65	45.73	ab	107.40	ab	22.80	bcd	26.63	c	9.95	c	24.41	abc	5.55	a	1.87	a
183JAL66	33.85	c	114.63	ab	15.10	de	36.43	c	15.21	bc	21.17	abc	4.88	a	1.55	a
Juanacatlán	45.63	ab	110.39	ab	23.49	bc	71.38	bc	11.78	c	26.21	ab	2.43	a	1.86	a
<i>P. peruviana</i>	53.92	a	68.08	c	41.86	a	294.70	ab	59.56	a	17.30	abc	3.80	a	1.31	a
<i>P. angulata</i>	44.93	abc	111.31	ab	27.79	b	106.16	bc	16.83	bc	24.60	abc	7.12	a	1.81	a
<i>P. lagascae</i>	44.73	abc	103.97	b	13.66	e	30.84	c	14.40	bc	14.32	c	3.03	a	1.50	a
<i>P. nicandroides</i>	41.22	bc	113.20	ab	26.47	b	762.15	a	32.97	ab	22.28	abc	1.33	a	1.33	a

L = Luminosidad. CAR = Carotenoides ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$). SAP = Sapogeninas ($\text{mg DE} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$). CFT = Compuestos fenólicos ($\text{mg GAE} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$). ANT = Antocianinas ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$). Tro = Trolox ($\text{mM TE} \cdot \text{g}^{-1} \text{ PS}$). Letras distintas en la columna indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Physalis peruviana presentó la mayor L y saturación de color (*Croma*), dado que la degradación de la clorofila intensificó el color amarillo (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004). El menor °Hue determinado en esta especie evidenció la tonalidad diferencial sobre el resto de las poblaciones.

La prueba de medias para la variable concentración de CAR diferenció significativamente a *P. nicandroides* ($762.15 \mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$) y *P. peruviana* ($294.70 \mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$) del resto de las poblaciones donde las concentraciones estuvieron entre 106.16 y $26.63 \mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

En *P. peruviana* la concentración de carotenoides fue similar a los $0.31 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ determinados por Mier y Cáez (2011) para el ecotipo Colombia en grado de color 6 y se evidencia por la presencia de una coloración amarillo-naranja. No obstante, este pigmento en *P. nicandroides* no se expresó debido al alto contenido de clorofilas que mantiene aún en la maduración. Los carotenoides siempre acompañan a la clorofila en una relación de tres a cuatro partes de clorofila por una parte de carotenoides, y muchas veces el color amarillo permanece enmascarado por la clorofila, hasta que ésta última se degrada cuando el tejido madura o envejece (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

La prueba de medias para SAP identificó diferencias significativas de *P. peruviana* ($59.56 \text{ mg DE} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$) con el resto de las poblaciones, a excepción

de *P. nicandroides* (32.97 mg DE. 100 g⁻¹ PF). En evaluaciones realizadas en hojas de ocho especies de uso común en la fitomedicina del suroeste keniano, entre ellas *P. peruviana*, se determinó la presencia de saponinas, taninos, esteroides y flavonoides (Maobe *et al.*, 2013).

Las saponinas son consideradas compuestos antibacteriales, pero su efecto sobre estos microorganismos puede ser variable. Existen estudios donde concentraciones de 3 a 5 mg. mL⁻¹ de saponinas tienen actividad inhibitoria, especialmente sobre bacterias Gram-negativas (Santos *et al.*, 2005), lo cual se atribuye a la vulnerabilidad en la conformación de su pared celular (Sen *et al.*, 1998) y a la concentración y tipo de saponinas (Santos *et al.*, 2005). Donkor *et al.* (2012) determinaron que extractos crudos de frutos de *P. angulata* son potentes inhibidores de *Staphylococcus aureus*, pero no de *Pseudomonas aeruginosa*.

El mayor valor de CFT lo presentó la variedad Jade TFG y el menor *P. lagascae*. El contenido de CFT determinado en este estudio, bajo condiciones de invernadero, fue inferior a los obtenidos por Medina-Medrano *et al.* (2015) para frutos colectados en campo, condición que pudo afectar la diferencia en su concentración; aunque ambas investigaciones coinciden en que *P. angulata* se encuentra entre las especies con mayores valores.

Los compuestos fenólicos constituyen una clase importante de bioactivos derivados de alimentos que actúan como antioxidantes, porque se asocian con mecanismos relacionados con la diferenciación celular, la desactivación de procarcinógenos, el mantenimiento de la reparación del ADN, la inhibición de la formación de N-nitrosamina y el cambio del metabolismo de los estrógenos, entre otros (Shahidi, 2004). Sin embargo, existen otros fitoquímicos como fitatos, carotenoides, terpenoides, saponinas e inhibidores enzimáticos, que también contribuyen a los efectos sobre la salud, generalmente de manera cooperativa y sinérgica. Los beneficios producidos por los alimentos nutraceuticos y funcionales son atribuidos a un cóctel de fitoquímicos presentes (Shahidi, 2009).

Los frutos de todas las poblaciones presentaron antocianinas, lo cual explica la tendencia general hacia tonalidades moradas, a excepción de Jade TFG que tiende al verde y *P. peruviana* cuya coloración es amarillo-naranja; no obstante, en esta última se determinó una concentración de 3.80 mg de antocianinas por 100 g⁻¹ de PS. Estudios de Harborne (1968) determinaron la presencia de una mezcla de carotenoides con cianidina, en flores de color amarillo-naranja del género *Primula*. La cianidina es una antocianidina con prevalencia en frutos, así como la pelargonidina y la delfinidina (Aguilera *et al.*, 2011).

El contenido de antocianinas en todas las poblaciones de *P. ixocarpa* estuvo por encima del intervalo entre 0.15 y 0.22 mg. 100 g⁻¹ PS reportados por Rosas-Medina *et al.* (2020) en frutos de la variedad Rendidora. Estos autores afirman que la acumulación de este pigmento puede ser un mecanismo químico importante para tolerar condiciones de salinidad. En experimentos conducidos en arroz, se observó que aquellos materiales tolerantes a la salinidad poseían mayor cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides en comparación con los susceptibles. Esta respuesta obedece a mecanismos desarrollados por diferentes especies que les permite reprogramar su metabolismo en condiciones de estrés, afectando la biosíntesis y acumulación de compuestos bioactivos asociados a la sobrevivencia (Minh *et al.*, 2016; Asensi-Fabado *et al.*, 2017).

La actividad antioxidante de las poblaciones evaluadas estuvo en un intervalo de 1.31 a 1.87 mM TE.g⁻¹ PS para la población *P. peruviana* y 182JAL65, respectivamente, lo que representa aproximadamente entre 51 y 71 % de inhibición del radical ABTS (Figura 1).

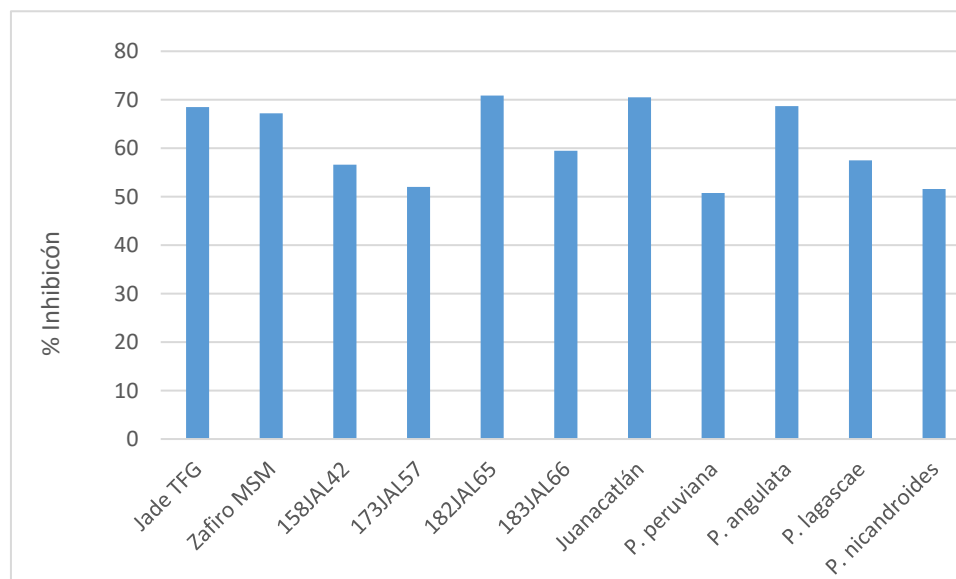


Figura 1. Actividad antioxidante (% de inhibición del radical ABTS) en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

La actividad antioxidante determinada en frutos de *P. peruviana* fue mayor a la obtenida por Repo y Encina (2008) para esta misma especie, en un grado de color 6, obtenida con el método de ABTS en su fase hidrofílica. Es importante resaltar que la actividad antioxidante de un fruto está relacionada con la acción sinérgica entre sus compuestos bioactivos, entre los que destacan los compuestos fenólicos, carotenos y ácido ascórbico (Dragovic-Uzelac, *et al.*, 2007; Navarro *et al.*, 2006). Sin embargo, la actividad antioxidante total es el resultado de la sumatoria de la determinada en su fase hidrofílica más su fase lipofílica (Repo y Encina, 2008). Aunque el ABTS es un método que tiene la capacidad de evaluar antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos, es posible que el extractor utilizado y la presencia de otros metabolitos explique la inexistencia de correlación entre CAR y AA (Cuadro 4).

Correlación de Pearson. En el Cuadro 4 se observa una correlación directamente proporcional entre luminosidad y croma ($P = 0.0042$; $r = 0.79$) y entre Croma y concentración de saponinas ($P = 0.0057$; $r = 0.77$); e inversamente proporcional entre °Hue y Luminosidad ($P = 0.0039$; $r = -0.79$), °Hue y Croma (P

= 0.0114; $r = -0.73$), y °Hue y concentración de saponinas y ($P = 0.0017$; $r = -0.83$).

Hay una correlación positiva altamente significativa entre la concentración de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante ($P = 0.0059$; $r = 0.77$); pero no existe correlación entre compuestos fenólicos y concentración de antocianinas, ni entre concentración de antocianinas y actividad antioxidante. Esto sugiere la importancia de realizar perfiles fenólicos, dado que las antocianinas pueden estar en baja proporción. Medina-Medrano *et al.* (2015) encontraron que en frutos de *Physalis angulata* solo 16.21 % del contenido total de compuestos fenólicos estaba conformado por flavonoides, mientras que el 21.25 % por ácidos fenólicos, los cuales también son reconocidos por su importante actividad antioxidante.

Cuadro 4. Correlaciones para tres variables de color y cinco variables fitoquímicas evaluadas en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* sp.

Variables	°Hue	Croma	CAR	SAP	ANT	CFT	TRO
L	-0.789**	0.786**	0.134	0.539	0.072	0.080	0.129
°Hue		-0.726*	-0.167	-0.826**	0.042	0.291	0.263
Croma			0.408	0.769**	0.146	0.222	-0.102
CAR				0.588	-0.513	-0.030	-0.499
SAP					-0.245	-0.322	-0.601
ANT						0.386	0.489
CFT							0.767**

L = Luminosidad. CAR = Carotenoides. SAP = Sapogeninas. ANT = Antocianinas. CFT = Compuestos fenólicos totales. TRO = Trolox. **Diferencias significativas ($P \leq 0.01$). *Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

4. CONCLUSIONES

Los valores de °Hue diferenciaron la tonalidad amarillo-naranja de *P. peruviana* (68.08) del resto de las poblaciones, en las cuales esta variable osciló entre verde y verde-morado. Los parámetros de color, luminosidad y croma están altamente relacionados con la concentración de carotenoides en *P. peruviana*. El valor de

°Hue fue es inversamente proporcional a la luminosidad y al croma; y no muestra relación con las antocianinas, dado que el color no solo depende de la concentración de este pigmento, sino de la degradación de otros para que la tonalidad se exprese. La mayor concentración de carotenoides y sapogeninas se obtuvo en *P. nicandroides* y *P. peruviana*, poblaciones que a la vez mostraron la menor actividad antioxidante. El mayor valor de compuestos fenólicos totales lo presentó la variedad Jade TFG y el menor la especie *P. lagascae*. Las poblaciones con mayores concentraciones de compuestos fenólicos fueron las que mostraron la mayor actividad antioxidante. Los frutos de todas las poblaciones presentaron antocianinas, lo cual explica la tendencia general hacia tonalidades moradas, a excepción de Jade TFG que tiende al verde y *P. peruviana* cuya coloración es amarillo-naranja. Las poblaciones de *Physalis* sp. evaluadas poseen alto contenido de bioactivos y alta actividad antioxidante, lo que las hace promisorias como alimento y como fuentes nutraceuticas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1990) Official Methods and Analysis. 14th Ed. Published for the Inc. Airlington, VA., USA. 1006 p.
- Aguilera M., M. Reza, R. Chew y J. Meza (2011) Propiedades funcionales de las antocianinas. *BIOTecnia XIII* (2): 16-22.
- Arabski M., A. Węgierek-Ciuk, G. Czerwonka, A. Lankoff and W. Kaca (2012) Effects of saponins against clinical *E. coli* strains and eukaryotic cell line. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1155/2012/286216>
- Asensi-Fabado M. A., A. Amtmann and G. Perrella (2017) Plant responses to abiotic stress: The chromatin context of transcriptional regulation. *Review. Biochimica et Biophysica Acta* 1860: 106–122. <https://doi.org/10.1016/j.bbagr.2016.07.015>
- Benito P., N. Arellanes, R. Gámez y D. Cuevas (2016) Efecto de la temperatura en el comportamiento postcosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) var. Rendidora. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 3(1): 1-14.

- Carmona J. (2007) Efecto de la utilización de arbóreas y arbustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos. *Revista Lasallista de Investigación* 4(1): 40-50.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492007000100007&lng=en&tlng=es.
- Cheeke P. (2000) Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. In: Saponins in Food, Feedstuffs and Medicinal Plants. W. Oleszek and A. Marston (eds.). Proceedings of the Phytochemical Society of Europe, vol 45. Springer, Dordrecht. pp. 241-254. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9339-7_25
- Chiang H., S. Jaw and P. Chen (1992) Inhibitory effects of physalin B and physalin F on various human leukemia cells in vitro. *Anticancer Research* 12: 1155-1162.
- Cruz-Álvarez O., Ma. T. Martínez-Damián, J. E. Rodríguez-Pérez, Ma. T. Colinas-León y E. del C. Moreno-Pérez (2012) Conservación postcosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(3): 333-344.
- Diaz A., M. Avendano and A. Escobar (1993) Evaluation of *Sapindus saponaria* as a defaunating agent and its effects on different ruminal digestion parameters. *Livestock Research for Rural Development* 5(2).
- Donkor A-M., R. Glover, J. Boateng and V. Gakpo (2012) Antibacterial activity of the fruit extract of *Physalis angulata* and its formulation. *Journal of Medical and Biomedical Sciences* 1(4): 21-26.
- Dragovic-Uzelac V., B. Levaj, V. Mrkic, D. Bursac and M. Boras (2007) The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chemistry* 102: 966-975.
- Eick E. (2008) Solanaceae and Convolvulaceae: Secondary metabolites. Biosynthesis, chemotaxonomy, biological and economic significance. Springer, Heidelberg.
- Embuscado M. (2015) Spices and herbs: Natural sources of antioxidants – a mini review. *Journal of Functional Foods* 18: 811–819.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.005>
- Galindo J., A. Aldama, Y. Marrero y N. González (2000) Efecto de *Sapindus saponaria* en los géneros de protozoos y poblaciones de bacterias ruminales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 34: 353-358.

- Ghiselli A., M. Nardini, A. Baldi and C. Scaccini (1998) Antioxidant Activity of Different Phenolic Fractions Separated From an Italian Red Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46(2): 361-367.
- Giusti M. and R. Wrolstad (2001) Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry* F1.2.1-F1.2.13 Copyright © 2001 by John Wiley & Sons, Inc.
- Goetsch A. and F. Owens (1985) Effects of saponin on digestion and passage rates in cattle fed medium to low concentrate. *Journal of Animal Science* 68: 2377–2384.
- Harborne J. (1968) Comparative biochemistry of the flavonoids. *In: Phytochemistry* Pergamon Press. England. pp. 1215-1230.
- Hiai S., H. Oura and T. Nakajima (1976) Color reaction of some sapogenins and saponins with vanillin and sulfuric acid. *Planta medica* 29: 116-122.
- Icontec, Instituto Colombiano de Normas Técnicas (1999) Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas. <https://kontii.files.wordpress.com/2012/10/ntc-4580.pdf>
- Jankiewicz L. (2003) Otros inhibidores y reguladores naturales menos conocidos de las plantas. *In: L. Jankiewicz (eds.) Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Vol. I. Propiedades y Acción. Ediciones Mundi-Prensa. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 187-191.*
- Jankiewicz L. y P. Sobicczewski (2003) Las fitoalexinas y otras sustancias relacionadas con la resistencia de las plantas a los patógenos. *In: L. Jankiewicz (eds.) Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Vol. I. Propiedades y Acción. Ediciones Mundi-Prensa. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 427-453.*
- Jovanović S., J. Mrmošanin, B. Zlatković, M. Dukić, A. Pavlović and G. Stojanović (2021) Comparative study on the elemental composition of different parts of cultivated *Physalis alkekengi* (Solanaceae): Scientific paper. *Journal of the Serbian Chemical Society* 86(12): 1271–1279. <https://doi.org/10.2298/JSC210712079J>
- Le A., S. Park, M. Nguyen and P. Roach (2018) Improving the Vanillin-Sulphuric Acid method for quantifying total saponins. *Technologies* 6: 84. doi: 10.33390/technologies6030084

- Li Y. Z., Y. M. Pan, X. Y. Huang and H. S. Wang (2008) Withanolides from *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. *Helvetica Chimica Acta* 91(12): 2284-2291. <http://dx.doi.org/10.1002/hlca.200890248>.
- López G. y U. Rosas (2016) *Ecofisiología de árboles*. Tercera Edición. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Maobe M., E. Gatebe, L. Gitu and H. Rotich (2013) Preliminary Phytochemical Screening of Eight Selected Medicinal Herbs Used for the Treatment of Diabetes, Malaria and Pneumonia in Kisii Region, Southwest Kenya. *European Journal of Applied Sciences* 5 (1): 01-06. DOI: 10.5829/idosi.ejas.2013.5.1.65127
- McGuire R. G. (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Medina-Medrano J., N. Almaraz-Abarca, M. González-Elizondo, J. Uribe-Soto, L. González-Valdez and Y. Herrera-Arrieta (2015) Phenolic constituents and antioxidant properties of five wild species of *Physalis* (Solanaceae). *Botanical Studies* 56: 24. DOI 10.1186/s40529-015-0101-y
- Meléndez-Martínez A., I. Vicario y F. Heredia (2004) Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(2): 149-155. Recuperado en 02 de febrero de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200003&lng=es&tlng=es.
- Mier H. y G. Cáez (2011) Contenido de polifenoles, carotenos y capacidad antioxidante en frutos de uchuva (*Physalis peruviana*) en relación a su estado de maduración. *ReCiTeIA* 11(1b): 103-115.
- Minh L. T., D. T. Khang, P. T. T. Ha, P. T. Tuyen, N. T. Minh, N. V. Quan and T. D. Xuan (2016) Effects of salinity stress on growth and phenolics of rice (*Oryza sativa* L.). *International Letters of Natural Sciences* 57: 1-10. <http://dx.doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.57.1>
- Navarro J., P. Flores, C. Garrido y V. Martínez (2006) Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity *Food Chemistry* 96: 66-73.
- Pérez J. P., A. Peña y J. Mulato (1992) Caracterización de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Chapingo, Mex. *Revista Chapingo*, 16(79-80): 128-137.

- Ramadan M. F. (2011) Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview. Food Research International 44: 1830-1836. doi: 10.1016/j.foodres.2010.12.042
- Re R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and R. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology & Medicine 26(9-10): 1231–1237.
- Repo R. y C. R. Encina (2008) Determinación De La Capacidad Antioxidante Y Compuestos Bioactivos De Frutas Nativas Peruanas. Revista de la Sociedad Química del Perú 74: 108-124.
- Rosas-Medina I., A. Colmenero-Robles, N. Naranjo-Jiménez, J. Ávila-Reyes y N. Almaraz-Abarca (2020) La salinidad incrementa el contenido de flavonoides, de antocianinas y el potencial hipoglucemiante de tomatillo (*Physalis ixocarpa*). eCUCBA 7(13): 21-29.
- San Martín R. and R. Briones (2000) Quality control of commercial quillaja (*Quillaja saponaria* Molina) extracts by reverse phase HPLC. Journal of the Science of Food and Agriculture 80: 2063-2068. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14<2063::AID-JSFA750>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14<2063::AID-JSFA750>3.0.CO;2-2)
- Santos A., H. Jiménez y A. Cano (2005) Efecto in vitro de extractos ricos en saponinas de *Pithecellobium saman* y *Sapindus saponaria* sobre el crecimiento de dos bacterias celulolíticas ruminales. Revista Corpoica 6(1): 20-25.
- Santiaguillo J. F. y S. Blas (2009) Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. Revista de Geografía Agrícola 43: 81-86.
- SAS (2002) SAS/STAT users guide: Statics, Ver. 9.00. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Salinas Y., C. García, B. Coutiño y V. Vidal (2013) Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 36 (3-A): 285-294.
- Schippmann U., A. Cunningham, D. Leaman and S. Walter (2005) Impact of Cultivation and Collection on the Conservation of Medicinal Plants: Global Trends and Issues. In: Proc. WOCMAP III. Vol. 2: Conservation, Cultivation & Sustainable Use of MAPs. A. Jatisatienr, T. Paratasilpin, S. Elliott, V. Anusarnsunthorn, D. Wedge, L. E. Craker and Z. E. Gardner (eds.). Acta Horticulturae 676. ISHS. DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.676.3
- Shahidi F. (2009) Nutraceuticals and functional foods: whole versus processed foods. Trends in Food Science & Technology 20: 376-387.

- Shahidi F. (2004) Functional foods: their role in health promotion and disease prevention. *Journal of Food Science* 69: R146-R149.
- Sen S. H., S. Makkar, T. Muetzel and K. Becker (1998) Effect of *Quillaja saponaria* saponins and *Yucca schidigera* plant extract on growth of *Escherichia coli*. *Letters in Applied Microbiology* 27: 35-38
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2022) Catálogo Nacional de Variedades Vegetales 2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/606027/CNVV_2020_OK.pdf (abril 2022).
- Tacon A. (1995) Ictiopatología nutricional. Signos morfológicos de la carencia y toxicidad de los nutrientes en los peces cultivados. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma © FAO. Documento Técnico de Pesca 330. <https://www.fao.org/3/t0700s/T0700S06.htm#ch6>
- Tuxtla-Andrade, M. R. M., N. Magaña-Lira, A. Peña-Lomelí, H. Lozoya-Saldaña, S. G. Leyva-Mir y M. G. Peña-Ortega (2022) Compatibilidad de cruzas entre poblaciones silvestres tolerantes a virus y cultivadas de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45 (1): 43-53.
- Valdez F., L. Bush, L. Goetsch and F. Owens (1986) Effect of steroidal sapogenins on ruminal fermentation and on production of lacting dairy cows. *Journal of Dairy Science* 69: 1568-1575.
- Wallace R., L. Arthaud and C. Newbold (1994) Influence of *Yucca schidigera* extract on ruminal ammonia concentrations and ruminal microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology* 60: 1762-1767.
- Wang Y., T. McAllister, L. Yanke and P. Cheeke (2000) Effect of steroidal saponin from *Yucca schidigera* extract on ruminal microbes. *Journal of Applied Microbiology* 88: 887–896.
- Waterman P. and S. Mole (1994) *Methods in Ecology. Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Oxford. Blackwell Scientific Publications. London.
- Williams A. and G. Coleman (1991) *The Rumen Protozoa*. Springer-Verlag New York Inc., New York.

6. APÉNDICES

Cuadro 1. Concentraciones de Diosgenina para la curva estándar.

Estándar	Dilución	[Diosgenina] (mg.L ⁻¹)	Absorbancias ^z (544 nm)
1	Solución Stock	3,500.00	-
2	2 mL (1) + 2 mL etanol	1,750.00	1.900
3	2 mL (2) + 2 mL etanol	875.00	1.087
4	2 mL (3) + 2 mL etanol	437.50	0.613
5	2 mL (4) + 2 mL etanol	218.75	0.374
6	2 mL (5) + 2 mL etanol	109.38	0.194
7	2 mL (6) + 2 mL etanol	54.69	0.123
Blanco	Solo Etanol		0.000

^zMedias resultantes de triplicados.

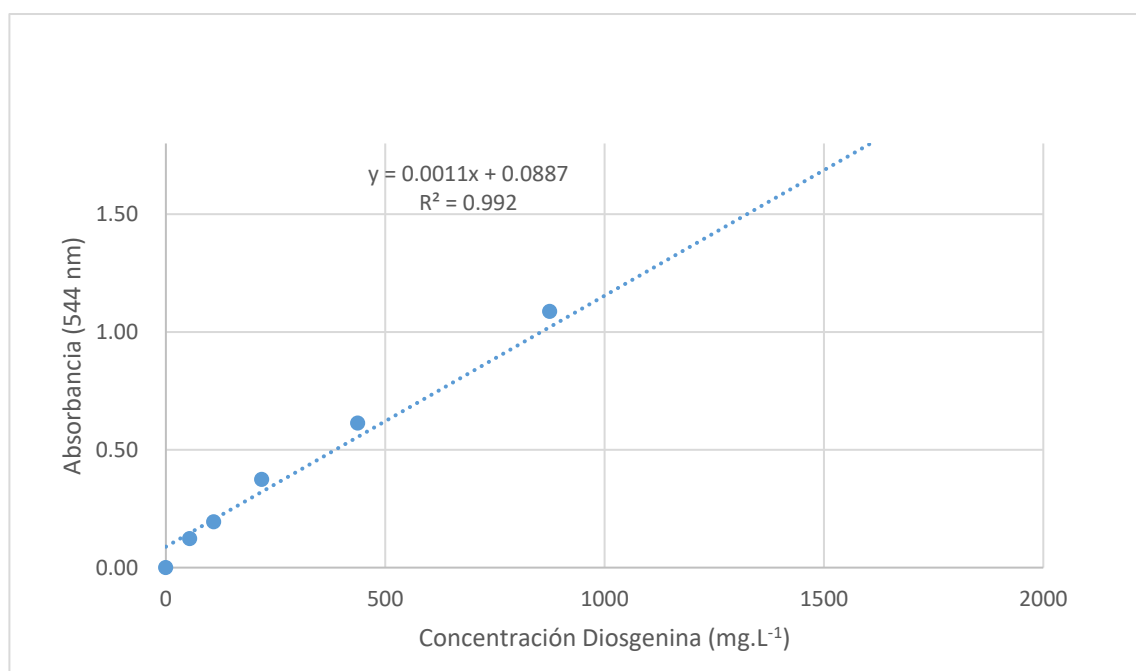


Figura 1. Curva estándar de Diosgenina.

Cuadro 2. Concentraciones de ácido gálico para la curva estándar.

Estándar	Dilución H ₂ O dest.+RF ^z +NA ₂ CO ₃ (mL)	[Ácido Gálico] (mg.mL ⁻¹)	Absorbancias ^w (760 nm)
Blanco	4.6 + 0.1 + 0.3	0.00000	0.000
1	4.5 + 0.1 + 0.3	0.20000	0.242
2	4.5 + 0.1 + 0.3	0.10000	0.106
3	4.5 + 0.1 + 0.3	0.05000	0.051
4	4.5 + 0.1 + 0.3	0.02500	0.021
5	4.5 + 0.1 + 0.3	0.01250	0.008
6	4.5 + 0.1 + 0.3	0.00625	0.001

^z Reactivo Folin Cicalteu. ^wMedias resultantes de triplicados.

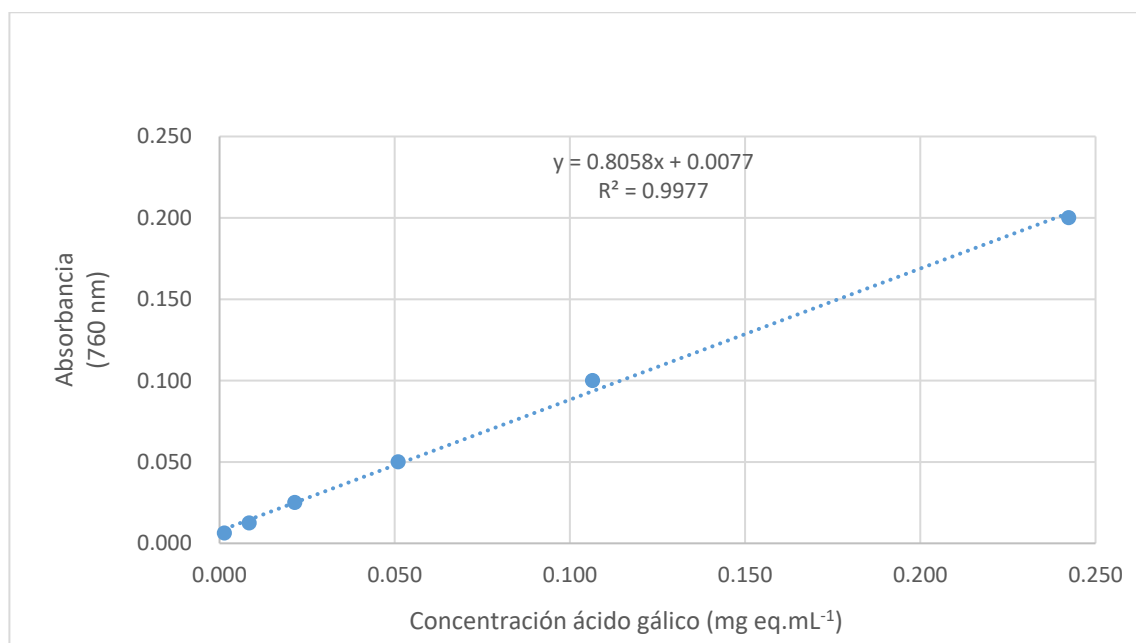


Figura 2. Curva estándar de ácido gálico.

Cuadro 3. Concentraciones de Trolox para la curva estándar.

Estándar	[Trolox] (mM.mL ⁻¹)	Absorbancias ^z (734 nm)
Stock	5.000	-
2	2.500	1.900
3	1.250	1.087
4	0.625	0.613
5	0.313	0.374
6	0.156	0.194
7	0.078	0.123
8	0.039	0.000

^z Medias resultantes de triplicados.

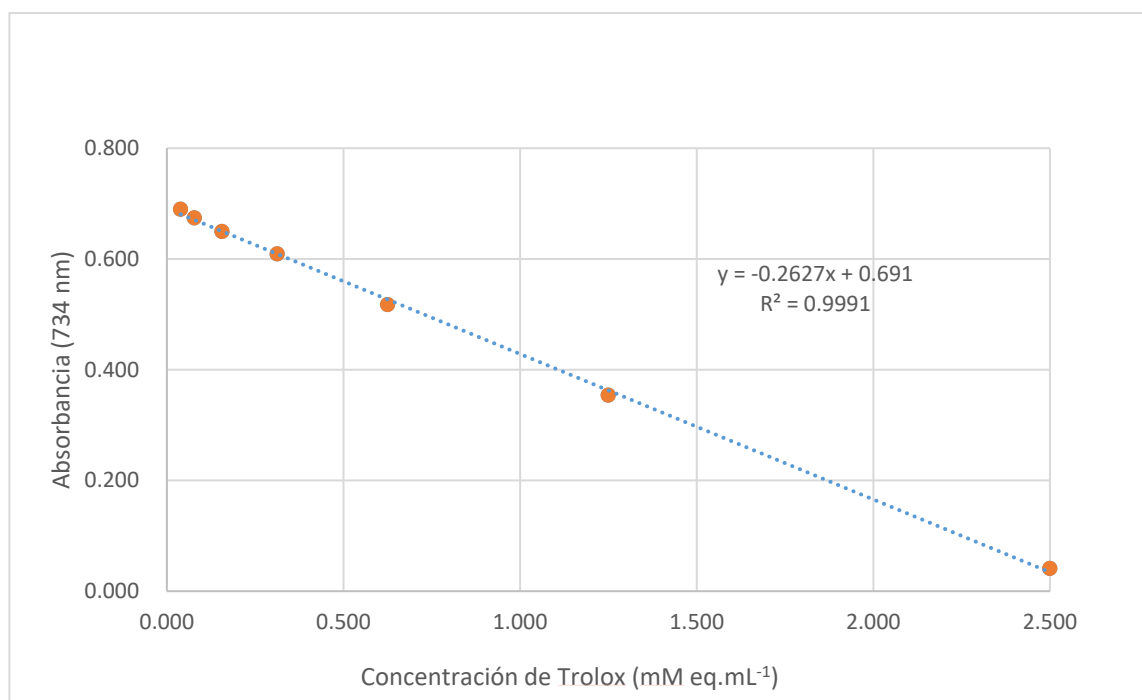


Figura 3. Curva estándar de Trolox.

V. CONCLUSIONES GENERALES

Se evidenciaron diferencias físicoquímicas entre los frutos de las poblaciones de *Physalis* cultivadas y las silvestres; aunque las poblaciones silvestres compartieron similitudes con la población cultivada de *Physalis peruviana*; la cual se diferenció colorimétricamente del resto de las poblaciones. Los altos pesos y dimensiones encontrados en los frutos de las poblaciones de *Physalis ixocarpa* cultivadas pueden considerarse variables inherentes al mejoramiento genético.

Los frutos de la población Juanacatlán poseen características físicoquímicas similares a *Physalis angulata* por lo que la hace competitiva en el mercado nacional.

Physalis nicandroides es una especie con muy poca información científica. La alta concentración de vitamina C, carotenoides, saponinas y compuestos fenólicos encontrada en sus frutos, la ubica como una especie de interés desde el punto de vista nutricional; no obstante, se sugiere continuar estudios donde se evalúe la presencia de antinutrientes.

Todas las especies de *Physalis* evaluadas poseen alta actividad antioxidante, por lo que podrían considerarse fuente natural para la elaboración de nutraceuticos.

México como centro de origen, domesticación y diversidad del género *Physalis*, debería mantener un programa de investigación continuo dirigido a la caracterización, mejoramiento genético, uso, promoción y conservación de estos ancestrales y valiosos recursos fitogenéticos.