







Caracterización fisicoquímica de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) en el Soconusco, Chiapas

Physical-chemical characterization of mexican plum fruits (*Spondias purpurea* L.) from Soconusco, Chiapas

Juan Manuel Villarreal-Fuentes¹, Iran Alia-Tejaca^{2*}, Xóchitl Doraneli Pérez-Pérez¹, Saúl Espinosa-Zaragoza¹, Francisco Javier Marroquín-Agreda¹, Carlos Alberto Núñez-Colín³

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque Carretera Costera y Huehuetán Pueblo, CP. 30660. Huehuetán, Chiapas, México.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad, Núm. 1001, Col. Chamilpa. CP. 62209. Cuernavaca, Morelos, México.

³Programa de Biotecnología, Universidad de Guanajuato. Mutualismo 303, Col. La Suiza, CP. 38060. Celaya, Guanajuato, México.

*Autor de correspondencia: iran.alia@uaem.mx

Artículo científico recibido: 04 de agosto de 2018 aceptado: 27 de noviembre de 2018

RESUMEN. La ciruela mexicana es un frutal con alto potencial de cultivo, debido a su bajo costo de producción, crece en forma espontánea y se adapta a suelos pobres y delgados donde no se establecen otros cultivos; también tiene resistencia a la sequía por su mecanismo de defoliación. El objetivo fue caracterizar ecotipos de ciruela mexicana con características de calidad y funcionales para seleccionar árboles sobresalientes en el Soconusco, Chiapas, México. Se recolectaron de enero a agosto de 2016 frutos en Huehuetán, Mazatán, Huixtla y Tapachula, Chiapas, México procedentes de 32 árboles. Se estimaron las variables: masa, firmeza, diámetro ecuatorial, densidad específica, masa de endocarpio, luminosidad, diámetro polar, cromaticidad, ángulo de matiz, sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de sabor, pH, azúcares totales, fenoles totales y actividad antioxidante por DPPH, ABTS y FRAP. Se formaron cuatro grupos de árboles, mostrando el cuarto grupo los mayores valores de masa y dimensiones, alto contenido de azúcares totales y actividad antioxidante por FRAP. Los frutos de los grupos 1 y 4 tuvieron mayor peso de fruto y gravedad específica, mientras que los frutos de los grupos 2 y 3 presentaron el mayor dulzor y actividad antioxidante. Lo que sugiere que en el Soconusco hay variabilidad en las ciruelas mexicanas que se pueden seleccionar por sus características físicas, químicas y funcionales.

Palabras clave: ABTS, azúcares totales, DPPH, fenoles totales y FRAP.

ABSTRACT. Mexican plum is a tree fruit with a high potential for its crop, due to low production cost of it, grows in a spontaneous way and its adapt to slim-poverty soils where no other crops can be established, also it has resistance to the drought attributed to its defoliation mechanism. The objective was to characterize ecotypes of Mexican plum with quality and functional characteristics to be considered in a process of selection of outstanding trees in Soconusco, Chiapas, Mexico. Fruits were collected in Huehuetán, Mazatán, Huixtla and Tapachula, Chiapas, Mexico, where 32 trees were selected. The work was realized during January 2016 to August 2016. Variables that were estimated are: fruit mass, firmness, specific density, endocarp mass, brightness, chromaticity, hue angle, polar and equatorial diameter, total soluble solids, titratable acidity, flavor index, pH, total sugars, total phenols and antioxidant activity by DPHH, ABTS and FRAP. Four groups of trees were formed, where the fourth group shows the highest values in mass and dimension, highest contents in total sugars and antioxidant activity by FRAP. Fruits from the group 1 and 4 had the best characteristics in productivity, as they had the highest weight of the fruit and specific gravity, meanwhile the fruits from the groups 2 and 3 had the the best characteristics in sweetness and antioxidant activity. The above description suggests that in Soconusco, Chiapas have variability of mexican plum that will be selected to subsequent genetic breeding programs.

Key words: ABTS, total sugars, DDPH, total phenols and FRAP.

INTRODUCCIÓN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) tiene su origen en la región occidental de la provincia del Eje Neovolcánico de México (Fortuny et al. 2017), se distribuye hasta Perú y Brasil donde se encuentra de forma silvestre y cultivada (Morton 2013). En México, es una especie componente de la selva baja caducifolia y se encuentra cultivada en una gran variedad de suelos. Su distribución abarca desde la costa de Sonora hasta Chiapas, pasando por la Cuenca del Balsas, en la vertiente del Pacífico, y en la depresión central de Chiapas, norte de Yucatán y Quintana Roo, así como en el norte de Veracruz y al este de San Luis Potosí, en selvas bajas subcaducifolias (Pennington y Sarukhán 2005). La ciruela mexicana es un frutal con alto potencial para su cultivo, debido a su bajo costo de producción, crece en forma espontánea y se adapta a suelos pobres y delgados donde no se establecen otros cultivos, además tiene resistencia a la sequía por su mecanismo de defoliación (Avitia et al., 2003). Al respecto, Ramírez et al. (2008) indican que es un frutal estratégico para la agricultura de México en la primavera, cuando no hay otros frutales en producción. Los árboles de *Spondias purpurea* se utilizan como cercos vivos, las hojas son apetecibles para el ganado, y sus frutos se consumen en estado inmaduro o maduro. En algunas regiones, como el estado de Chiapas se cultiva en forma comercial con un incipiente manejo agronómico (Alia et al. 2012). El fruto maduro contiene 70% de pulpa, 21% de sólidos solubles totales (SST) y 0.62% de acidez titulable (AT), tiene buena densidad calórica, debido a su contenido de carbohidratos (19.1%), es fuente moderada de potasio, almidón, y vitamina C (Duarte y Paull 2015). Además de compuestos bioactivos, con potencial antioxidante, lo que agrega valor al fruto (Dantas et al. 2016).

Algunos aspectos estudiados de la ciruela mexicana se enfocan en la caracterización de la poscosecha y el uso de películas comestibles (Bautista et al. 2006, Maldonado et al. 2014), efecto de la refrigeración en la poscosecha (García et al. 2016), respuesta a la aplicación de retardadores de la

maduración (Osuna et al. 2011) y liofilización del fruto fresco (Muñoz et al. 2018). Además de la caracterización de los sistemas de producción, etnobotánica y ecotipos sobresalientes en Jalisco, Colima y Nayarit (Ramírez et al. 2008), Veracruz (Nava y Usanga 1979), Tabasco (Vargas et al. 2011), Morelos, Guerrero y Chiapas (Pérez et al. 2008, Alia et al. 2012, Solorzano et al. 2015, Maldonado et al. 2017) y Yucatán, México (Montserrat et al. 2017). En México y Venezuela, se ha reportado la cuantificación de las características físicas y químicas del fruto (Guerrero et al. 2011, Álvarez et al. 2017, Suárez et al. 2017), volátiles (Lemos et al. 2011) y compuestos fenólicos en la epidermis del fruto (Engels et al. 2011).

Los centros de diversidad genética de *Spondias purpurea* son la depresión del Balsas y la Península de Yucatán (Fortuny et al. 2017). Mientras que Cruz y Gutiérrez (2012) mencionan que *S. purpurea* se ha colectado en mayor proporción en Yucatán, Veracruz, Jalisco, Oaxaca y Chiapas. Al respecto Álvarez et al. (2017) indican que los estudios realizados en ciruela mexicana reportan gran diversidad de especies, las cuales se deben estudiar para obtener materiales con características de calidad y aporte de metabolitos funcionales, que favorezcan su consumo. En particular en el estado de Chiapas, los estudios son escasos (Alia et al. 2012). Mucho menos en la región del Soconusco se han realizados estudios sobre las características físicas, químicas y actividad antioxidante de ciruelas mexicanas. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar las características físicas, químicas y la capacidad antioxidante de ciruelas mexicanas (*S. purpurea*) de la región Soconusco, Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Se colectaron frutos de ciruela mexicana en cuatro municipios de la región Soconusco: 1) Tapachula, 2) Mazatán, 3) Huixtla y 4) Huehuetán. Por medio de recorridos de campo en los cuatro municipios de estudio. En una primera etapa se marcaron un total de 32 árboles, de los cuales se recolectaron los frutos en fructificación. Los cuales

se cosecharon en madurez fisiológica, de cada árbol marcado se tomaron al menos 30 frutos entre las 7:00 y 10:00 am. Para luego llevarlos al Laboratorio de Poscosecha de la Planta Moscafrut ubicada en Metapa de Domínguez, Chiapas, donde se maduraron en una cámara a 23 °C y 70% de humedad relativa.

Variables evaluadas

En madurez de consumo se determinaron las variables físicas, químicas y la actividad antioxidante. El peso del fruto, porción comestible (cáscara + pulpa) y porción no comestible (endocarpio), se cuantificó en una balanza analítica digital (Scout Pro Sp 4001, OHAUS®). La longitud y diámetro del fruto se obtuvo con un Vernier (Truper®). La gravedad específica del fruto se determinó con el método de Knee *et al.* (1989) que consiste en pesar en un recipiente de vidrio un volumen de agua destilada (P1), que se volvió a pesar con un fruto dentro del agua (P2), un tercer peso (P3) se obtuvo reteniendo la ciruela bajo el agua con tres agujas finas, para luego con la siguiente ecuación determinar la gravedad específica (GE):

$$GE: \frac{\text{Peso del fruto}}{\text{Peso del agua desplazada del fruto}} = \frac{(P2)-(P1)}{(P3)-(P1)}$$

La firmeza del fruto se cuantificó con un texturómetro, midiendo la fuerza necesaria para penetrar la cáscara, expresando los datos en Newton (N), la medición se realizó en la zona ecuatorial del fruto. Los parámetros de color: luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y matiz (h) se cuantificaron en la epidermis con un espectrofotómetro manual (X-rite® modelo 3290) tomando dos lecturas en dos partes diferentes de la zona ecuatorial de cada fruto (McGuire 1992).

El contenido de sólidos solubles totales se determinó con dos gotas de jugo del fruto extraídas con un super extractor (ATAGO®), las cuales se colocaron en un refractómetro (ATAGO PAL-1®), los resultados se reportaron en unidades °Brix. La acidez titulable se determinó con la metodología propuesta por Helrich (1990), por medio de la homogenización de un gramo de pulpa con 10 mL de agua destilada,

para luego filtrar, y obtener una alícuota de 5 mL para realizar la titulación con NaOH 0.1 N, y fenolfaleína como indicador, los resultados se reportan en porcentaje ácido cítrico. El índice de sabor se obtuvo de la proporción sólidos solubles totales y acidez titulable. El pH del filtrado se utilizó para obtener la acidez titulable con un potenciómetro (Hanna®).

La concentración de fenoles totales se determinó con la metodología de Folin Ciocalteu (Singleton *et al.* 1999), colocando un gramo de pulpa y 20 mL de agua destilada en un Ultraturax (IKA®) para luego filtrar. A partir del filtrado se tomaron 0.5 mL que se mezclaron con 2.5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10), para después de 5 min adicionar 2 mL de carbonato de sodio (7.5% p/v) y dejar reposar por 2 h. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro (Genesys 6®) a 760 nm, los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100 g⁻¹ peso fresco.

La actividad antioxidante se determinó por los métodos de captura del radical (ABTS) 2'-azino-bis(3-etilbenzolin)-6-sulfato de amonio (Re *et al.* 1999), el método de poder de reducción férrica por reducción de hierro, FRAP (Benzie y Strain 1996) y el método de DPPH (Brand *et al.* 1995). La determinación de la actividad antioxidante se realizó en extractos acuosos, los resultados expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g⁻¹ peso fresco (Suárez *et al.* 2017, Álvarez *et al.* 2017).

Análisis estadístico

Los datos de las variables cuantitativas se analizaron primero por estadística descriptiva (Castillo 2011) para después realizar un análisis clúster, usando la distancia euclidiana y el método de varianzas mínimas de Ward (Ward 1963), estimando el número de grupos con el pseudoestadístico *t*² de Hotelling (Hotelling 1951). Con los grupos resultantes se realizó un análisis discriminante canónico (Johnson 1998, Núñez y Escobedo 2014). Todos los análisis se realizaron con el programa SAS Versión 8.0. En cada ecotipo se evaluaron 10 frutos para cada una de las variables evaluadas.

RESULTADOS

Estadística descriptiva

El peso de los frutos de la ciruela mexicana varió entre 4.0 y 26.6 g (Tabla 1), con peso promedio de la porción comestible del fruto (epidermis + pulpa) de 9.93 g y de la porción no comestible (endocarpio) de 2.55 g; lo que representa el 79.5 y 20.5% del total del fruto, respectivamente. Los coeficientes de variación estuvieron entre 25.35 y 31.73%, en las tres variables, presentando los frutos de los árboles provenientes del municipio de Huixtla los mayores valores (HIUX 3). El diámetro polar y ecuatorial tuvo valores de 1.32 y 3.99 cm y entre 1.67 y 4.02 cm, respectivamente; con mayor homogeneidad y coeficiente de variación (CV) entre 12.32 y 12.98%, siendo los frutos de los árboles del municipio de Huehuetán los de mayores dimensiones.

La gravedad específica en promedio fue de 11.31, con variación alta entre los individuos evaluados (CV 27.39%), mostrando los frutos de un árbol de Huixtla, la mayor gravedad específica. La gravedad específica varió entre 2 y 21, con CV de 27.3%. La firmeza promedio fue de 13 N, con rango de 36.40 N y coeficiente de variación de 28.43%. El color de los frutos fue del rojo opaco y poco luminoso ($h = 26.89$, $C^* = 13.84$ y $L^* = 26.5$) al amarillo puro y luminoso ($h = 83.1$, $C^* = 57.50$ y $L^* = 69.96$), mostrando variación alta en los componentes del color con CV entre 20.58 y 26.19%. El contenido de sólidos solubles totales mostró bajo CV (18.96%) con concentración entre 3.9 y 19.5, y promedio de 13.13 °Brix. La acidez titulable mostró alto CV (34.42%) con valores entre 1.29 y 12.28%, lo que indica amplia variabilidad. El índice de sabor en promedio fue de 3.64, mostrando un material de Huixtla los valores mayores (11.99). El pH promedio fue de 3.93, con valores entre 2.41 y 4.95.

El contenido de azúcares fue de 47.8 a 493.5 mg g⁻¹ de peso fresco, con CV de 33.66%. El contenido de fenoles totales estuvo entre 15.7 y 99 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, presentando el mayor CV (45.28%). Mientras que la actividad antioxidante evaluada por ABTS estuvo entre 21.4 y 377.8 mg 100g⁻¹ de peso fresco, para DPPH fue de 55.13 a 150 mg 100 g⁻¹ de peso fresco y para FRAP entre

36.1 y 116.2 mg 100 g⁻¹ de peso fresco. La actividad antioxidante evaluada por el método de ABTS mostró el mayor CV (41.52%), en tanto que los métodos de DPPH y FRAP tuvieron los menores CV (19.3 y 23.7%).

Análisis de agrupamiento y discriminante canónico

El análisis de agrupamiento dividió a la población estudiada en cuatro grupos, el pseudoes-tadístico t^2 de Hottelling. El primer grupo se integró por nueve árboles, ocho del municipio de Tapachula y uno de Huehuetán (Figura 1). En tanto que el grupo dos se integro por seis árboles de Mazatán y cinco de Huixtla. En el tercer grupo se agruparon siete materiales de Huehuetán y uno de Huixtla. Mientras que en el grupo cuatro se encuentran dos materiales de Mazatán y dos de Huixtla.

La varianza total quedo expresada en las tres primeras componentes canónicas (Tabla 2). La primera componente canónica (CAN 1) explicó 65.90%, la segunda (CAN 2) el 23.36% y la tercera (CAN3) 10.75% (Tabla 2). La CAN 1 se relacionó con la luminosidad, cromaticidad del fruto, relación de sólidos solubles totales, acidez y azúcares totales (Tabla 3). La componente CAN 2 se relacionó con la acidez titulable y la actividad antioxidante por DPPH y FRAP. Mientras, la componente CAN 3 se relacionó con el peso del fruto y gravedad específica. La proyección de los genotipos en las tres componentes canónicas muestra que el grupo 1 se ubicó en el cuadrante negativo de las componentes CAN1 y CAN3, pero positivo en CAN2 (Figura 2). El segundo grupo se ubicó en el sector negativo de CAN2 y CAN3, y el positivo de CAN1 (Figura 2). El grupo 3 se ubicó en el sector negativo de las componentes CAN1 y CAN3, pero positivo en CAN2 (Figura 2). Finalmente, el grupo 4 se ubicó en el sector positivo de CAN3 y negativo en CAN1 y CAN2. Los grupos fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) con base a la prueba de distancia de Mahalanobis (Tabla 4). En el MANOVA se detectaron diferencias en las tres componentes canónicas (Tabla 5). En la componente CAN1 todos los grupos fueron diferentes entre sí, en la CAN2 los grupos 2 y 4 fueron diferentes de

Tabla 1. Estadística descriptiva de las características fisicoquímicas de genotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.).

Variable	Media	S ²	r	Mínimo	Máximo	CV (%)
Peso del fruto (g)	12.48	10.04	22.60	4.0 (HUE4)	26.6 (HUIX3)	25.35
Peso de porción comestible del fruto (g)	9.93	7.34	20.34	2.78 (HUE4)	23.12 (HUIX3)	27.28
Peso no porción no comestible del fruto (g)	2.55	0.65	5.58	1.0 (HUIX8)	6.61 (HUE2)	31.73
Diámetro polar (cm)	3.11	0.14	2.67	1.32 (HUE4)	3.99 (HUE3)	12.32
Diámetro ecuatorial (cm)	2.40	0.09	2.35	1.67 (MAZ8)	4.02 (HUE5)	12.98
Gravedad específica	11.31	40.95	110.0	2.0 (HUE4)	21.0 (HUIX2)	27.39
Firmeza (N)	13.0	13.67	36.40	6.60 (HUIX6)	43.0 (MAZ1)	28.43
Luminosidad (L*)	44.03	82.2	43.45	26.51 (MAZ1)	69.96 (TAPA2)	20.58
Cromaticidad (C*)	33.02	73.1	43.66	13.84 (MAZ2)	57.50 (TAPA5)	25.89
Ángulo de matiz (h)	46.10	145.5	83.13	26.89 (HUIX1)	83.13 (HUE8)	26.19
Sólidos solubles totales (°Brix)	13.13	6.20	15.6	3.90 (MAZ8)	19.5 (HUIX8)	18.96
Acidez titulable (%)	4.05	3.03	10.99	1.29 (HUIX3, 6)	12.28 (HUE2, HUIX4)	34.42
Índice de sabor (SST/AT)	3.64	1.95	10.79	1.20 (HUE2)	11.99 (HUIX3)	38.42
pH	3.93	0.16	2.54	2.41 (HUE3)	4.95 (MAZ1)	10.19
Azúcares totales (mg g ⁻¹ p.f.)	217.56	5363.52	445.74	47.82 (HUE1)	493.5 (HUIX8)	33.66
Fenoles totales (mg 100g ⁻¹ peso fresco)	43.26	383.76	83.3	15.7 (HUE4)	99.0 (HUIX1)	45.28
AADPPH (mg 100 g ⁻¹ de peso fresco)	113.98	484.1	94.87	55.13 (TAPA6)	150.0 (MAZ1)	19.30
AAABTS (mg 100 g ⁻¹ de peso fresco)	262.12	11846.29	377.8	21.4 (HUIX6)	377.8 (MAZ1, HUE6)	41.52
AAFRAP (mg 100 g ⁻¹ de peso fresco)	75.30	318.8	80.0	36.1 (HUE1)	116.2 (HUIX6)	23.71

AADPPH = Actividad antioxidante por DPPH, AAABTS = Actividad antioxidante por ABTS, AAFRAP = Actividad antioxidante por FRAP, S2 = Varianza, CV = Coeficiente de Variación. SST = Sólidos solubles totales, AT = Acidez titulable.

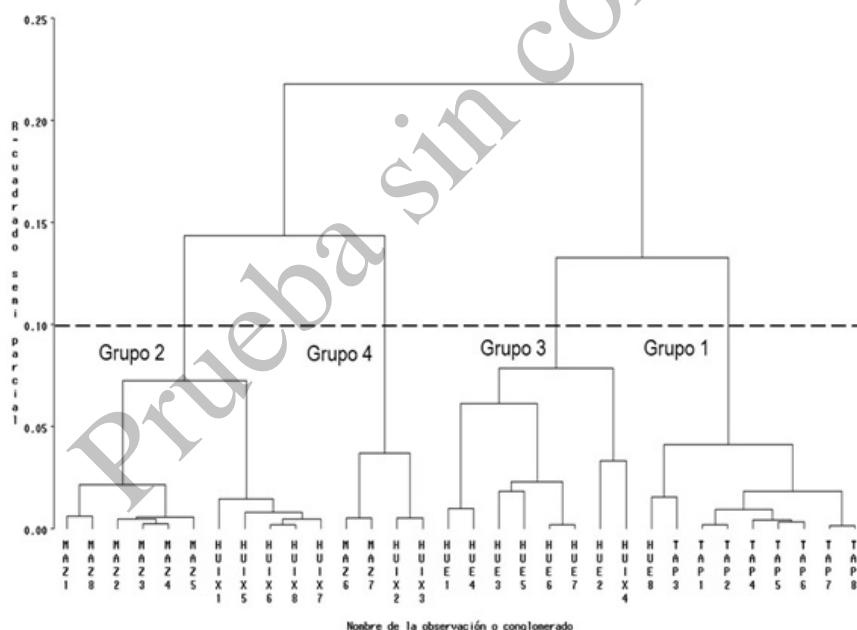


Figura 1. Dendrograma de 32 genotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) construido por el método de Ward a partir de 19 variables del fruto.

Tabla 2. Valores propios y proporción de la varianza total explicada por los componentes principales, con base a la matriz de correlación aplicada a variables físicas y químicas de 32 genotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* sp.).

Autovalor	Proporción de la varianza	Varianza acumulada	Valor de F aproximado	Valor de P
1	0.6590	0.6590	5.74	<0.0001
2	0.2336	0.8925	3.93	0.0006
3	0.1075	1.0000	3.05	0.0275

Tabla 3. Vectores propios de 19 variables en las tres primeras raíces canónicas (CAN) de 32 genotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea*).

Variable	CAN1	CAN2	CAN3
Peso del fruto	-0.250573	-0.016348	0.807925
Peso de endocarpio	0.095807	0.374062	0.569266
Peso de epicarpio y pulpa	-0.335806	-0.138435	0.743257
Longitud del fruto	-0.184899	-0.396295	0.579873
Diámetro del fruto	-0.041337	0.351946	0.510937
Gravedad específica	-0.210162	-0.207361	0.860466
Luminosidad	0.775929	-0.163508	0.174353
Cromaticidad	0.783758	-0.177631	0.264566
Matiz	0.600347	-0.173895	0.081417
Firmeza	-0.420268	0.41685	0.090829
Sólidos solubles totales	-0.603049	0.445113	0.031597
Acidez titulable	0.383117	0.585189	-0.048467
SST/AT	-0.728776	-0.277463	0.135763
pH	-0.428933	-0.446577	-0.170878
Azúcares totales	-0.739924	0.439703	-0.168316
Fenoles totales	-0.32638	-0.19688	0.281964
AADPPH	-0.307226	0.65019	-0.386204
AAABTS	0.401148	0.19124	0.047622
AAFRAp	-0.541307	-0.647665	0.016362

AADPPH = Actividad antioxidante por DPPH, AAABTS = Actividad antioxidante por ABTS, AAFRAp = Actividad antioxidante por FRAP.

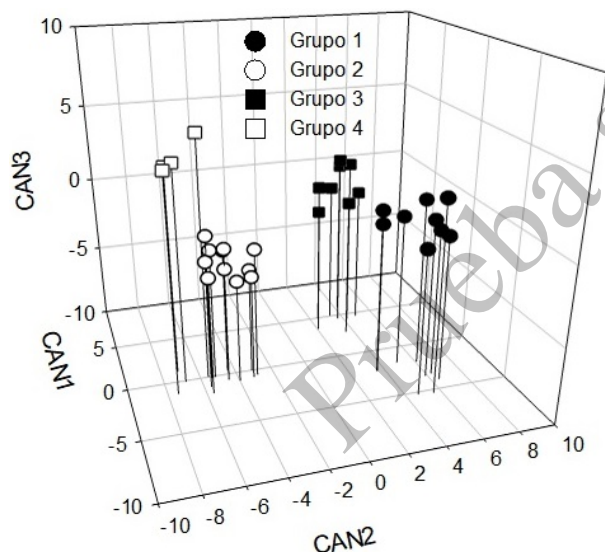


Figura 2. Representación tridimensional en las tres primeras raíces canónicas de 32 genotipos de ciruela mexicana.

Tabla 4. Distancia de Mahalanobis entre los grupos obtenidos del análisis clúster de genotipos de ciruela mexicana.

Clúster	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
1	0.0000			
2	106.21**	0.0000		
3	63.71**	92.81**	0.0000	
4	169.15**	45.90*	144.91**	0.0000

**P ≤ 0.01, *P ≤ 0.05.

los grupos 1 y 3 y en la CAN3 los grupos 1 y 3 fueron diferentes a los grupos 2 y 4 (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba HSD de Tukey de las dos primeras raíces canónicas (CAN) de los tres grupos de ciruela mexicana obtenidos en el análisis clúster.

Grupo	CAN1	CAN2	CAN3
1	5.22 ^a	-3.30 ^c	0.43 ^b
2	3.54 ^b	-0.55 ^b	-1.97 ^c
3	-4.40 ^c	4.49 ^a	0.04 ^b
4	-6.73 ^d	-0.04 ^b	4.36 ^a
HSD	1.46	1.46	1.46

^aLetras diferentes en la misma columna significa diferencias significativas (P ≤ 0.05) entre los grupos.

Los frutos de los grupos 1 y 4 mostraron el mayor peso y gravedad específica, además de la menor actividad antioxidante por DPPH y FRAP; aunque los frutos del grupo 4 mostraron el color rojo (h = entre 46.52 y 52.53) con mayor brillo y pureza, la acidez y la relación SST/AT fue menor en los frutos del grupo 1 (Tabla 6). Los frutos de los grupos 2 y 3 tuvieron el menor peso de fruto y gravedad específica, con color tendiente al rojo opaco y brillo bajo, con la mayor concentración de azúcares totales, SST, actividad antioxidante y acidez titulable.

DISCUSIÓN

Estadística descriptiva

En la región del Golfo de México se ha reportado que el peso de los frutos de ciruela mexicana fluctúa entre 8.7 y 37 g (Vargas *et al.* 2011, Monserrat *et al.* 2017), y en la región del Pacífico entre 3 y 36 g con CV entre 37 y 60% (Solorzano *et al.* 2015, Maldonado *et al.* 2017, Álvarez *et al.*, 2017). Al respecto, Cruz *et al.* (2012) sugieren que las ciruelas silvestres tienen en promedio una masa de 6.9 g y las cultivadas de 10 g, en el presente estudio el peso de los frutos osciló entre 4 y 26.6 g, lo que sugiere que hay materiales silvestres y domesticados, con potencial para su explotación. La proporción no comestible de ciruela mexicana (endocarpio) representó 20.5% del total del fruto, valor que es superior al 15 ó 20% reportado por Maldonado *et al.* (2017).

Tabla 6. Promedios de 19 variables de los grupos formados en el análisis clúster de 32 genotipos de ciruela mexicana.

Variable	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
Peso de fruto (g)	12.30	11.17	11.98	14.57
Peso de endocarpio (g)	2.44	2.22	2.85	2.93
Peso de epidermis y pulpa (g)	9.85	9.06	9.14	11.64
Longitud (mm)	3.21	3.02	2.95	3.27
Diámetro (mm)	2.34	2.27	2.49	2.64
Gravedad específica	11.34	09.97	10.11	12.57
Luminosidad (L*)	51.44	37.32	45.32	44.80
Cromaticidad (C*)	40.55	25.61	34.11	33.39
Matiz (h)	52.53	43.27	46.98	46.52
Firmeza (N)	11.10	13.74	13.70	13.94
Sólidos solubles totales (°Brix)	11.39	13.61	13.50	13.99
Acidez titulable (AT; %)	3.68	3.36	5.43	4.11
Relación SST/AT	3.11	4.08	2.81	3.78
pH	3.93	4.17	3.66	3.88
Azúcares totales (mg g ⁻¹ pf)	75.47	244.47	203.27	229.99
Fenoles totales (mg 100 g ⁻¹ pf)	41.89	40.18	34.53	50.42
AADPPH (mg 100 g ⁻¹ pf)	87.85	126.54	128.54	117.57
AAABTS (mg 100 g ⁻¹ pf)	286.12	244.95	314.48	257.33
AAFRAAP (mg 100 g ⁻¹ pf)	77.15	82.56	56.60	71.85

AADPPH = Actividad antioxidante por DPPH, AAABTS = Actividad antioxidante por ABTS, AAFRAAP = Actividad antioxidante por FRAP. pf = peso fresco.

En relación con las dimensiones de frutos de ciruela mexicana, en México se reportan valores entre 2 y 4.6 cm de diámetro polar y entre 1.78 y 4.28 cm en diámetro ecuatorial (Alia *et al.* 2012, Maldonado *et al.* 2017). Presentando los frutos del Soconusco entre un 13 y 34% menor diámetro polar y entre 4.3 y 6.2% menor diámetro ecuatorial. Sobre el CV Hidalgo (2003) indica que valores menores del 20% sugieren poca variabilidad de los caracteres, pero el grado de variabilidad de un carácter no indica necesariamente la magnitud de su utilidad desde el punto de vista del cultivo, ya que esto depende del uso de la especie. La densidad específica de un fruto puede ser un criterio importante de calidad para algunos cultivos, específicamente en la separación de los productos en la línea de empaque o procesamiento (Kays y Paull 2004). En el presente trabajo, la gran variación en esta variable puede apoyar posteriores investigaciones enfocadas a mejorar el manejo poscosecha en empaque.

La variación en la firmeza de los frutos evaluados probablemente depende de la variedad y etapa de maduración del fruto, en los frutos del Soconusco algunos árboles presentaron valores de 43 N (MAZ1), que indican frutos firmes. Al respecto Pérez *et al.* (2008) reportan valores para la firmeza entre 1.23 y 3.42 N. Mientras que Maldonado *et al.* (2014)

indican que la firmeza depende de la etapa de maduración. En el presente trabajo, los frutos mostraron mayor firmeza que la reportada en otros ecotipos, ya que el valor mínimo fue de 6 N (Tabla 1), lo que sugiere que probablemente soporten mejor el daño mecánico en cosecha y manejo poscosecha.

La ciruela del Soconusco tuvo colores entre el rojo y amarillo. Lo que coincide con Álvarez *et al.* (2017), quienes indican que en la ciruela mexicana el color va desde el rojo púrpura (h 5.81-16.1), rojo (h 17.2-49.8), naranja (h 50-70), hasta el amarillo (70-90) o verde (h 153.4). También se ha reportado gran variación en el matiz de la ciruela mexicana, entre 45.16 y 53.98% (Alia *et al.* 2012, Maldonado *et al.* 2017, Álvarez *et al.* 2017), presentando los frutos del Soconusco en promedio un 27% menos matiz. Los que sugiere que el color es importante para describir la variabilidad de fruto de la ciruela mexicana, lo que también coincide con Monserrat *et al.* (2017) quienes indican que el color es el principal parámetro en madurez de consumo que ayuda a separar los ecotipos de ciruela mexicana.

Varios investigadores reportan que el contenido de sólidos solubles totales en ciruela mexicana varía entre 3.2 y 18.7 °Brix, acidez titulable entre 0.2 y 3.05%, e índice de sabor entre 3.0 y 63.2 (Maldonado

et al. 2014, Maldonado *et al.* 2017, Monserrat *et al.* 2017). Los sólidos solubles totales en algunos ecotipos de ciruelas evaluadas mostraron alto contenido (19.5 °Brix), altos valores de acidez (12.28%) e índice de sabor entre 1.29 y 11.99 (Tabla 1). Al respecto se sabe que el índice de sabor indica lo dulce o amargo de un fruto, en ciruela mexicana los valores mayores se deben a un mayor contenido de SST y menor AT (Maldonado *et al.* 2014). La gran variación en el índice de sabor sugiere materiales con valores altos que pueden ser considerados para consumo en fresco, elaboración de nieves, agua, mermeladas entre otros, mientras los materiales con valores bajos de índice de sabor se pueden utilizar en la elaboración de salsas o conservas (Alia *et al.* 2012). Pero se requiere realizar clasificaciones de los valores de índice de sabor relacionado con algún análisis sensorial, que ayuden a definir el mejor uso o destino de mercado de los diferentes tipos de ciruela mexicana.

Con respecto al pH se reportan valores entre 1.3 y 4.3 para ciruela mexicana (Maldonado *et al.* 2017). valores similares se obtuvieron en las ciruelas evaluadas. Al respecto, se sabe que el pH de los frutos actúa como medio selectivo para el desarrollo de microorganismos, por lo que frutos con pH menor a 4.5 son atacados por hongos (Wills y Holding 2016). Para peso fresco de azúcares totales en la pulpa del fruto de ciruela mexicana se reportan valores entre 101 y 157.9 mg g⁻¹ (Solorzano *et al.* 2015). En el presente trabajo el árbol HUIX8 mostró más de tres veces la concentración de azúcares reportados, por lo que es atractivo como un material con excelentes características de dulzor.

Con respecto al contenido de fenoles totales se reportan valores entre 48.1 mg 100g⁻¹ en la pulpa (Suárez *et al.* 2017). Los cuales se encuentra dentro del rango de 14.5 y 102.7 mg 100g⁻¹ de peso fresco reportados por Álvarez *et al.* (2017) para ciruela mexicana. Al respecto, en los frutos evaluados se encontraron valores entre 15 y 99 mg 100g⁻¹ de peso fresco, lo que sugiere que se pueden seleccionar materiales con mayor contenido de fenoles. Con respecto a la actividad antioxidante determinada por ABTS se reportan valores de 48.4 a 258.8 mg 100g⁻¹ de peso fresco (Álvarez *et al.* 2017); en tanto que la

actividad por DPPH y FRAP fueron similares a los valores determinados en las ciruelas del Soconusco, lo que indica que aportan moderada actividad antioxidante. Aspecto importante, que se asocia con la disminución de enfermedades cardiovasculares, Alzheimer y algunos tipos de cáncer.

Análisis de agrupamiento y discriminante canónico

El análisis de agrupamiento indica que los árboles de Tapachula tienen características propias que los separa de las demás localidades, lo que sugiere bajo flujo de material del municipio de Tapachula con el resto de los municipios evaluados. Algo interesante, es que a pesar de la colindancia entre los municipios de Mazatán, Huixtla y Huehuetán, solo se formaron grupos donde se integran árboles de Mazatán con Huixtla y de Huixtla con Huehuetán, pero no de Huehuetán con Mazatán. Esto probablemente se atribuya a características específicas de los materiales de Mazatán, que hacen que solo se encuentren en ese municipio. La formación de grupos de árboles de ciruela mexicana por las características de color, relación sólidos solubles y acidez titulable, actividad antioxidante y peso del fruto, y la densidad específica, apoyan la selección de materiales sobresalientes y la formación de bancos de germoplasma con materiales que se puedan utilizarse en la producción comercial. Los resultados sugieren que los frutos de los grupos 1 y 4 tuvieron las mejores características de productividad, ya que tuvieron mayor peso de fruto y gravedad específica, mientras que los frutos de los grupos 2 y 3 tuvieron en promedio las mejores características de dulzor y actividad antioxidante. Lo que sugiere que en el Soconusco se tiene variabilidad de ciruelas mexicanas que se pueden seleccionar para posteriores programas de mejoramiento genético.

CONCLUSIONES

Se determinó la variabilidad en frutos de ciruela mexicana de la región del Soconusco, Chiapas. Los frutos de los grupos 1 y 4 mostraron mejores características de rendimiento o productivas, en tanto que los árboles de los grupos 2 y 3 tuvieron mejores

características de dulzor y actividad antioxidante. La variabilidad determinada de ciruela mexicana en el Soconusco se puede utilizar en programas de mejoramiento a futuro de la especie.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PRODEP) por el apoyo para la publicación del artículo. A los productores de ciruela mexicana en la región del Soconusco, por el aporte de los frutos.

LITERATURA CITADA

- Alia TM, Maldonado AYI, Núñez CCA, Valdez ALA, Bautista BS, García VE, *et al.* (2012) Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 21-26.
- Álvarez VJE, Alia TI, Chávez FSH, Colinas LMT, Nieto ÁD, Rivera CF, *et al.* (2017) Ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea* L.) de clima húmedo y seco: calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante. *Interciencia* 42: 653-660.
- Avitia GE, Castillo GAM, Pimienta E (2003) Ciruela mexicana y otras especies del género *Spondias* L. Primera Edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 75p.
- Bautista BS, Hernández LM, Guillén SD, Alia TI (2006) Influencia del recubrimiento con quitosano y la temperatura de almacenamiento en la calidad de postcosecha y niveles de infección en ciruela mexicana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 7: 114-121.
- Benzie IF, Strain JJ (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76.
- Brand WW, Culivier ME, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologic. Food Science Technology* 28: 25-30.
- Castillo MLE (2011) Introducción al SAS[®] para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 295p.
- Cruz LA, Gutiérrez JAG (2012) Distribución geográfica del género *Spondias* en México. En: Cruz LA, Pita DA, Rodríguez HB (Eds.) *Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicana*. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 31-38.
- Cruz LA, Pita AD, Gutiérrez JAG (2012) Acercamiento a la diversidad de las ciruelas mexicanas. En: Cruz LA, Pita DA, Rodríguez HB (Eds.) *Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicana*. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 39-62.
- Dantas AL, Silva SM, Dantas RL, Sousa ASB, Schuneman APP (2016) Desenvolvimento, fisiologia da maturacao e indicadores do ponto de colheita de frutos sa unbugueleira (*Spondias* sp.). *Revista Brasileira de Fruticultura* 38: 33-42.
- Duarte O, Paull RE (2015) *Exotic fruits and nuts of the new world*. CABI. Wallingford, UK. 332p.
- Engels C, Gräter D, Esquivel P, Jimenez VM, Gänzle MG, Schieber A (2012) Characterization of phenolic compounds in jocote (*Spondias purpurea* L.) peels by ultra high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. *Food Research International* 46: 557-562.
- Fortuny FNM, Monserrat FM, Ruenes MMR (2017) Centros de origen, domesticación y diversidad genética de la ciruela mexicana, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Acta Botanica Mexicana* 121: 7-38.

- García GM, Alia TI, Rivera CF, Díaz de LSF, López MV, Pérez FLJ, et al. (2016) Refrigeración de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña'. Acta Agrícola y Pecuaria 2: 27-33.
- Guerrero R, Manzanilla M, Hernández C, Chacín J, Clamens C (2011) Caracterización fisicoquímica de frutos de ciruelo de huesito (*Spondias purpurea* L.) en el municipio de Mara. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) Suplemento 1: 670-676.
- Hidalgo R (2003) Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En: Franco TL, Hidalgo R (eds). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín Técnico Núm. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp: 2-26.
- Helrich K (1990) Official methods and analysis. 15th edition. Arlington: Association of Official Analytical Chemists. 1298p.
- Hotelling H (1951) A generalized t test and measure of multivariate dispersion. In: Neyman J (ed). Proceedings of the Second Berkeley Symposium of Mathematical Statistic and Probability. University of California Press. Berkeley, California, USA. pp: 23-41.
- Johnson DE (1998) Métodos multivariados aplicados al análisis de aatos. International Thomson Editores. México. 566p.
- Knee M, Hatfield S, Smith SM (1989) Evaluation of various indicators of maturity for harvest of apple fruits intended for long-term storage. Journal of Horticultural Science 64: 403-411.
- Kays SJ, Paull RE (2004) Postharvest Biology. Exon Press. Athens, GA. USA. 568p
- Lemos BJ, Molina G, Dionísio AP, Cavalcante BFF, Wagner R, Maróstica MR, et al. (2011) Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. Food Research International 44: 1843-1855.
- Maldonado YI, Alia TI, Núñez CCA, Jiménez HJ, Pelayo ZC, López MV, et al. (2014) Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* and *S. mombin* L. Scientia Horticulturae 174: 193-206.
- Maldonado AYI, Alia TI, Núñez CCA, Jiménez JH, López MV (2017) Chemical and phenotypic diversity of mexican plums (*Spondias purpurea* L.) from the states of Guerrero and Morelos, Mexico. Revista Brasileira de Fruticultura 39(2): e-610. Doi: 10.1590/0100-29452017610.
- Muñoz LC, Urrea GGR, Jiménez FM, Rodríguez JGC, Luna SG (2018) Efecto de las condiciones de liofilización en propiedades fisicoquímica, contenido de pectina y capacidad de rehidratación de rodajas de ciruela (*Spondias purpurea* L.). Agrociencia 52: 1-13.
- McGuire RG (1992) Reporting of objective color measurements. HortScience 27: 1254-1255.
- Monserat FM, Ruenes MM del R, Montañez EPI, Fortuny FNM, Balam CEM (2017) Variation in genetic, morphological, colorimetric and flavor traits of two traditional *Spondias purpurea* L. variants: 'Tuspana abal' and 'Tuspeña abal'. Fruits 72: 148-157.
- Morton JF (2013) Fruits of warm climates. Echo Points Books & Media. USA. 505p.
- Nava KG, Uscanga MB (1979) Estudio físico y químico de doce tipos de ciruela (*Spondias* sp.) en el estado de Veracruz. Proceedings Tropical Region ASHS 23: 132-136.
- Núñez CCA, Escobedo LD (2014) Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. Acta Agrícola y Pecuaria 1: 1-6.
- Osuna GJA, Pérez BMH, Vázquez VV, Gómez JR (2011) Application of 1 methylcyclopropene (1-Mcp) en mexican plum (*Spondias purpurea* L.). Revista Fitotecnia Mexicana 34: 197-204.

- Pennington TD, Sarukhán J (2005) Árboles tropicales de México. Manual de identificación de las principales especies. Universidad Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México. 523p.
- Pérez AGA, Alia TI, Andrade MR, López VM, Pérez AL, Ariza R, et al. (2008) Características físicas y químicas de ciruelas mexicana (*Spondias purpurea*) en Guerrero. Investigación Agropecuaria 5: 141-149.
- Ramírez HBC, Pimienta BE, Castellanos RJZ, Muñoz UA, Palomino GH, Pimienta BE (2008) Sistemas de producción de *Spondias purpurea* (Anacardiaceae) en el centro-occidente de México. Revista de Biología Tropical 56: 675-687.
- Re R, Pellegrine N, Proteggente A, Panuala A, Yang M, Rice-Evans C (1999) Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine 26: 1231-1237.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela RRM (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteu reagent. Methods in Enzymology 299: 152-178.
- Solorzano MS, Alia TI, Rivera CF, López MV, Pérez FLJ, Pelayo ZC, et al. (2015) Quality attributes and functional compounds of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. Fruits 70: 261-270.
- Suárez VA, Juárez LP, López MV, Pérez LJF, Guillén DS, Alia TI (2017) Antioxidant activity and physicochemical parameters in 'Cuernavaqueña' mexican plum (*Spondias purpurea* L.) at different ripening stages. Revista Brasileira de Fruticultura 39: e-787. Doi: 10.1590/0100-29452017787.
- Vargas SG, Hernández RC, Moguel EO (2011) Caracterización morfológica de ciruela (*Spondias purpurea* L.) en tres municipios del estado de Tabasco, México. Bioagro 23: 141-149.
- Ward JHJr (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of American Statistical Association 58: 236-244.
- Wills R, Golding J (2016) Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. 6th Edition. UNSW Press - CABI. Australia. 296p.