

# CIRUELAS MEXICANAS (*Spondias purpurea* L) DE CLIMA HÚMEDO

## Y SECO: CALIDAD, METABOLITOS FUNCIONALES Y ACTIVIDAD

### ANTIOXIDANTE

Juan Emilio Álvarez-Vargas, Iran Alia-Tejagal\*, Sergio Humberto Chavez-Franco, María Teresa Colinas-León, Daniel Nieto-Ángel, Fernando Rivera-Cabrera y Luis Alfonso Aguilar-Pérez

#### RESUMEN

En Guerrero, Morelos y Chiapas, México, se realizaron 102 recolectas de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L) de época húmeda (49) y seca (53); se evaluaron en madurez de consumo algunas características físicas, fisiológicas, químicas, y actividad antioxidante. La masa de los frutos fluctuó entre 6 y 35g; los diámetros polar y ecuatorial variaron 21-44,6mm y 18,5-36,1mm; 19% de las recolectas tuvieron el epicarpio rojo púrpura (hue= 5,1-16,1); 30,4% de color rojo (17,2-49,8); 41,1% naranja (50-70); 8% amarillo (70-90); y 0,9% verde (hue= 153,6). Los sólidos solubles totales variaron entre 8,2 y 228°Brix; la acidez titulable de 0,11 a 0,74% en la epidermis y 0,10 a 0,81% en la pulpa. La tasa respiratoria y producción

de etileno mostraron una alta variación (CV= 81-107%). La concentración mayor de fenoles, carotenoides y actividad antioxidante se determinó en epicarpio, con coeficientes de variación altos (CV= 36-60%). El análisis de conglomerados separó cuatro grupos: 1) las 53 recolectas de estación húmeda, 2) 44 recolectas de estación seca, 3) tres recolectas de estación seca silvestres y 4) dos recolectas de estación seca comerciales. Las características que apoyaron la separación de grupos fueron cromaticidad, matiz, masa, dimensiones, contenido de sólidos solubles, carotenoides totales en pulpa, acidez titulable en pulpa y epicarpio, fenoles en epicarpio y la actividad antioxidante por FRAP en pulpa.

#### Introducción

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L) es un frutal originario de Mesoamérica, donde se le conoce también como 'jocote' (del náhuatl Xocotl o fruto ácido; Duarte y Paull, 2015). En áreas con estaciones secas (noviembre-abril) y húmedas (mayo-octubre) de esa región hay poblaciones silvestres o espontáneas, las cuales pudieran ser los antecesores de las ciruelas cultivadas (Avitia *et al.*, 2003). Aunque la ciruela mexicana se multiplica con fines comerciales, la información acerca de los genotipos

actuales es escasa, debido principalmente a que su cultivo se basa en la agricultura informal en huertos de traspatio, cercas vivas y granjas pequeñas, y los tipos silvestre están en zonas de acceso difícil (Alia *et al.*, 2012).

Avitia *et al.* (2003) indicaron que las ciruelas mexicanas se clasifican de acuerdo a la época de fructificación en: 1) ciruelos que fructifican de abril a mayo o ciruelos de estación seca y 2) ciruelos que fructifican de septiembre a diciembre o de estación húmeda. Avitia *et al.* (2003) y Ruenes *et al.* (2010) sugirieron un grupo intermedio que

fructifica a inicios de la época de lluvias y que tiene características morfológicas intermedias entre los ciruelos de estación seca y húmeda, pero no hay estudios específicos al respecto.

Avitia *et al.* (2003) indicaron que aparentemente la diversidad mayor en las poblaciones silvestres y cultivadas está en el área costera del Golfo de México, donde se han descrito 20 variantes. Algunos trabajos de caracterización de materiales sobresalientes o de carácter etnobotánico en Veracruz (Nava y Uscanga, 1979), Tabasco (Vargas *et al.*, 2011) y Yucatán

(Ruenes *et al.*, 2010) apoyan esta hipótesis. Sin embargo, Cruz y Gutiérrez (2012) al estudiar la distribución de *S. purpurea* en México determinaron que los estados donde más se ha recolectado esta especie son Yucatán, Jalisco, Oaxaca y Veracruz. Además, otros trabajos de caracterización de sistemas de producción, caracterización de calidad, morfológica, química, estudios postcosecha y nutrición con ecotipos de *S. purpurea* provenientes de estados de la región del Pacífico como: Nayarit, Colima, Jalisco, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Salazar y

#### PALABRAS CLAVE / ABTS / Carotenoides Totales / DPPH / Etileno / Fenoles Totales / FRAP / *Spondias purpurea* /

Recibido: 06/02/2017. Modificado: 15/09/2017. Aceptado: 26/09/2017.

**Juan Emilio Álvarez-Vargas.** Ingeniero Hortícola, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), México. M.C. y Doctor en Fruticultura, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Posdoctorante, UAEM, México.

**Iran Alia-Tejagal.** Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. M.C. y Doctor en Fi-

siología Vegetal, COLPOS, México. Profesor Investigador,

**Sergio Humberto Chavez-Franco.** Ingeniero Agroindustrial, (UACH), México. M.C. en Fruticultura, COLPOS, México. Ph.D., University of California, Davis, EEUU. Profesor Investigador, COLPOS, México.

**María Teresa Colinas-León.** Bióloga, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),

M.C. en Botánica, COLPOS, México. Ph.D. en Botánica, University of California, Riverside, EEUU. Profesora Investigadora, (UACH), México.

**Daniel Nieto-Ángel.** Ingeniero Agrónomo Parasitólogo, UACH, México. M.C. y Doctor en Fitopatología, COLPOS, México. Profesor Investigador, COLPOS, México.

**Fernando Rivera-Cabrera.** Biólogo, Universidad Autónoma Me-

tropolitana Iztapalapa (UAM-I), México. M.C. en Ciencias Agrícolas en Fruticultura, COLPOS, México. Doctor en Biología Experimental, UAM-I, México. Profesor Investigador, UAM-I, México.

**Luis Alfonso Aguilar-Pérez.** Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Veracruz, México. M.C. y Doctor en Fitopatología, COLPOS, México. Profesor, COLPOS, México.

## WARM AND HUMID CLIMATE MEXICAN PLUM (*Spondias purpurea* L): QUALITY, FUNCTIONAL METABOLITES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY

Juan Emilio Álvarez-Vargas, Iran Alia-Tejagal\*, Sergio Humberto Chavez-Franco, María Teresa Colinas-León, Daniel Nieto-Ángel, Fernando Rivera-Cabrera and Luis Alfonso Aguilar-Pérez

### SUMMARY

In Guerrero, Morelos and Chiapas states, México, 102 collections of Mexican plum (*Spondias purpurea* L) were carried out, both at humid (49) and dry (53) seasons. Physical, physiological and chemical characteristics, and antioxidant activity, were determined. The weight of fruits fluctuated from 6 to 35g, polar and equatorial diameters were 22-44.6mm and 18.5-16.1mm; 19% of collections had a purple red epicarp (hue= 5.1-16.1), 30.4% red (17.2-49.8), 41.1% orange (50-70), 8% yellow (70-90), and 0.9% green (hue= 153.6). Total soluble solids varied 8.2 to 228°Brix, titratable acidity was 0.11-0.74% in epidermis and 0.10-0.81% in pulp. Respiration rate

and ethylene production showed a large variation (CV= 81-107%). The largest concentrations of phenols, carotenoids and antioxidant activity were found in the epicarp, with high coefficients of variation (CV= 36-60%). Conglomerate analysis separated four groups: 1) the 53 humid season collections, 2) 44 dry season collections, 3) three wild dry season collections and 4) two commercial dry season collections. The characteristics that separated the groups were chromaticity, hue, weight, dimensions, soluble solids content, total pulp carotenoids, titratable acidity in pulp and epicarp, and FRAP antioxidant activity in the pulp.

## AMEIXAS MEXICANAS (*Spondias purpurea* L) DE CLIMA ÚMIDO E SECO: QUALIDADE, METABÓLITOS FUNCIONAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Juan Emilio Álvarez-Vargas, Iran Alia-Tejagal\*, Sergio Humberto Chavez-Franco, María Teresa Colinas-León, Daniel Nieto-Ángel, Fernando Rivera-Cabrera e Luis Alfonso Aguilar-Pérez

### RESUMO

Em Guerrero, Morelos e Chiapas, México, se realizaram 102 colheitas de ameixa mexicana (*Spondias purpurea* L) de época úmida (49) e seca (53); se avaliaram em maturidade de consumo, algumas características físicas, fisiológicas, químicas, e atividade antioxidante. A massa dos frutos flutuou entre 6 e 35g, o diâmetro polar e equatorial variou entre 21 e 44,6mm e entre 18,5 e 16,1mm respectivamente; 19% das colheitas tiveram o epicarpo vermelho púrpura (hue= 5,1 e 16,1), 30,4% de cor vermelha (hue= 17,2 e 49,8), 41,1% laranja (hue= 50 e 70), 8% amarelo (hue= 70 e 90) e 0,9% verde (hue= 153,6). Os sólidos solúveis totais variaram entre 8,2 e 228°Brix, a acidez titulável entre 0,11 e 0,74% na epiderme e entre 0,10 e 0,81% na polpa. A veloci-

dade de respiração e produção de etileno mostraram uma alta variação (CV = 81-107%). A concentração maior de fenóis, carotenoides e atividade antioxidante se determinou em epicarpo, com coeficientes de variação altos (CV= 36-60%). A análise de conglomerados separou quatro grupos: 1) as 53 colheitas de estação úmida, 2) 44 colheitas de estação seca, 3) três colheitas de estação seca silvestres e 4) duas colheitas de estação seca comerciais. As características que apoiaram a separação de grupos foram cromaticidade, matiz, massa, dimensões, conteúdo de sólidos solúveis, carotenoides totais em polpa, acidez titulável em polpa e epicarpo, fenóis em epicarpo e a atividade antioxidante por método de redução dos íons de ferro (FRAP) em polpa.

Becerra, 1994; Pérez *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2008; Alia *et al.*, 2012; Solórzano *et al.*, 2015), sugieren una gran diversidad de ciruela mexicana en esa región. Recientemente, Arce-Romero *et al.* (2017) indican que en México *S. purpurea* se distribuye predominantemente en la vertiente del océano Pacífico, centro de Veracruz y Península de Yucatán. Cabe indicar que en ambas regiones los estudios mencionados se han realizado con ciruelas de estación seca.

En las ciruelas de estación húmeda se han realizado escasos estudios básicos de su calidad y fisiología postcosecha (Bautista *et al.*, 2003; Bautista

*et al.*, 2006; Maldonado *et al.*, 2014), y aún no se han realizado estudios de su fenología, manejo agronómico, aporte nutricional y de metabolitos funcionales.

La fruta de ciruela mexicana posee una amplia diversidad de colores del epicarpio (verde, amarillo, naranja, rojo o púrpura; Alia *et al.*, 2012) y se consume madura o inmadura, aunque con mayor preferencia cuando ha alcanzado sus máximas características de calidad organoléptica, ya que aporta altas cantidades de carbohidratos, vitamina C y minerales como K y Ca (Kozioł y Macía, 1998), además de cantidades importantes de antioxidantes

como fenoles y carotenoides (Solórzano *et al.*, 2015).

Terry y Thompson (2011) mencionan que las frutas son generalmente una buena fuente de antioxidantes o compuestos funcionales tales como vitaminas, compuestos fenólicos y carotenoides, y que estos antioxidantes intervienen de forma importante en la reducción de enfermedades degenerativas, principalmente del tipo cardiovascular, diabetes y algunos tipos de cáncer. La mayoría de los estudios para determinar las moléculas con efectos benéficos en la salud humana se han realizado en frutas o vegetales de gran demanda. Sin embargo, frutos de interés

regional en algunas áreas del mundo no han sido estudiadas y es necesario hacerlo para poder conocer sus beneficios al consumirlos, para extraer los compuestos bioactivos de interés, o para utilizarlos como ingredientes en la elaboración o diseño de alimentos funcionales (Vallejo *et al.*, 2014). Diamanti *et al.* (2011) mostraron que en la actualidad los consumidores de frutas exigen una alta diversidad de productos y consideran aquellos con un mayor aporte nutricional y alto contenido de compuestos funcionales.

El objetivo del presente estudio fue evaluar algunos variables de calidad, contenido de

metabolitos funcionales y la actividad antioxidante en 102 recolectas de ciruela mexicana de épocas seca y húmeda en Morelos, Guerrero y Chiapas, México, que ayuden a seleccionar materiales que cuenten con características organolépticas deseables, cantidades altas de metabolitos funcionales y actividad antioxidante alta, y promuevan el consumo del fruto en fresco o tengan potencial para industrializarlo.

## Materiales y Métodos

Durante 2013 y 2014 se obtuvieron frutos de 102 árboles de traspatio o huertas comerciales en los estados de Morelos, Guerrero y Chiapas, México (Figura 1, Tabla I). Cuarenta y nueve recolectas fueron de época seca, colectadas entre marzo y mayo (X1-X49), y 53 (X50-X102) fueron de época húmeda, cosechadas entre septiembre y octubre (Figura 2, Tabla I). En cada

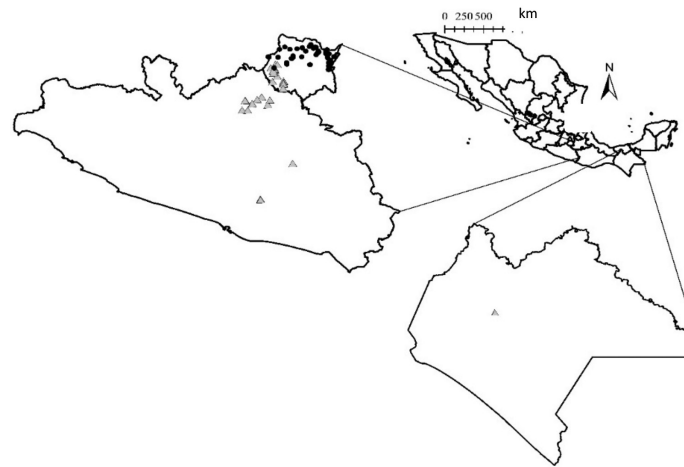


Figura 1. Distribución de 102 colectas de ciruela mexicana de estación húmeda (●, 53) y seca (▲, 49) en Morelos, Guerrero y Chiapas, México.

árbol seleccionado se recolectaron entre 30 y 40 frutos que fueron lavados con agua clorada (2% v/v) y secados al ambiente antes de iniciar las evaluaciones correspondientes. Los frutos evaluados fueron aquellos en madurez de consumo

que no tenían daños mecánicos o por patógenos.

La masa se determinó en una balanza digital (Ohaus®, EEUU) con sensibilidad de 0,01g; los diámetros polar y longitudinal, con un vernier digital (Mitutoyo®, Japón) con

sensibilidad de 0,01mm. El color de la epidermis se midió con un espectrofotómetro (X-rite® mod. 3690, EEUU) en las partes opuestas de la sección ecuatorial de cada fruto y se realizaron tres mediciones para obtener los datos de Luminosidad ( $L^*$ ), cromaticidad ( $C^*=(a^2+b^2)^{1/2}$ ) y matiz ( $h=\tan^{-1} b/a$ ) (McGuire, 1992). Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron a partir del jugo obtenido de la pulpa de cada fruto, con un refractómetro (Atago® PAL-1, Japón) y se reportaron en unidades °Brix. La masa, diámetro polar, ecuatorial, color y sólidos solubles totales se evaluaron en 20 frutos de cada recolecta. La acidez titulable se determinó como lo indican Alia *et al.* (2012) y Solórzano *et al.* (2015), y los resultados se reportaron en porcentaje; esta última variable se evaluó en seis frutos de cada recolecta.

La tasa respiratoria y producción de etileno se evaluó en

TABLA I  
MATERIALES Y LOCALIZACIÓN DE GENOTIPOS EVALUADOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) 2013-2014

Codificación	Estado	Municipio	Coordenadas (N, O)	Altitud (m)	Nombre común
X1, 2	Chiapas	Chiapa de corzo	16°42'45.30", 93° 0'28.77"	410	Chapilla, jocote
X9	Guerrero	Chilapa	17°36'23.46", 99°10'5.77"	1400	Agridulce de Chilapa
X21	Guerrero	Cocula	18°14'1.47", 99°39'17.68"	625	Morada de Cocula
X18	Guerrero	Cuetzalan	18°14'11.90", 99°42'53.80"	931	Chilera amarilla
X26-27, 29	Guerrero	Huitzuc	18°21'14.51", 99°24'54.19"	877-882	Roja, amarilla y conservera de Tlaxmalac
X7, 10, 22, 23	Guerrero	Iguala	18°23'29.04", 99°30'15.02"	703-936	Conservera, Sinaloa, pera, mulata y borracha de Metlapa
X4, 5, 20	Guerrero	J. R. Escudero	18°20'58.80", 99°40'54.60"	337-387	Dulce, costeña, china
X3, 8, 6, 28	Guerrero	Teloloapan	18°20'58.80", 99°40'54.60"	765-827	Melonera, panochera, chilera, china
X25	Guerrero	Tepecoacuilco	18°17'56.03", 99°26'13.62"	884	Amarilla botanera
X19	Morelos	Amacuzac	18°34'20.77", 99°23'9.67"	957	Venado
X50-52	Morelos	Atlatlahucan	18°55'36.35", 98°53'20.66"	1615-1764	Cuernavaqueña
X53-54	Morelos	Ayala	18°46'24.34", 98°58'44.92"	1239	Cuernavaqueña
X55-56	Morelos	Cuaula	18°53'20.33", 98°54'50.88"	1497-1559	Cuernavaqueña
X57-59	Morelos	Cuernavaca	18°58'56.45", 99°15'11.89"	1920-2032	Cuernavaqueña
X60-62	Morelos	Jantetelco	18°43'7.05", 98°46'10.56"	1411-1439	Cuernavaqueña
X11-13, 15-17	Morelos	Jojutla	18°34'24.82", 99°15'49.91"	884-936	Roja dulce, roja agridulce
X35, 36, 40, 45, 49, 65, 66	Morelos	Mazatepec	18°43'39.57", 99°21'52.64"	933-986	Amarilla, frijolera, cuernavaqueña, dulce
X37-39, 67-69	Morelos	Miacatlán	18°46'32.15", 99°21'19.86"	1022-1642	Morada, amarilla, cuernavaqueña
X70-72	Morelos	Ocuituco	18°51'5.05", 98°47'17.06"	1796-2047	Cuernavaqueña
X14, 33, 34	Morelos	Puente de Ixtla	18°29'32.06", 99°16'20.65"	936-996	Roja ácida,
X73, 74	Morelos	Temixco	18°51'30.33", 99°19'37.32"	1478-1497	Cuernavaqueña
X75-77	Morelos	Temoac	18°45'27.80", 98°46'47.25"	1540-1588	Cuernavaqueña
X78, 79	Morelos	Tepoztlán	18°58'17.59", 99° 3'50.58"	1574-1664	Cuernavaqueña
X30-32, 41-44, 46, 48	Morelos	Tetecala	18°42'2.49", 99°22'36.06"	950-996	Conservera, roja dulce, morada, amarilla, jocote, aventurera
X81-83	Morelos	Tetela	18°52'2.58", 98°43'23.33"	1809-2034	Cuernavaqueña
X84,85	Morelos	Tlanepantla	18°59'14.70", 98°59'12.49"	1807-2109	Cuernavaqueña
X86,87	Morelos	Tlayacapan	18°58'40.44", 98°56'22.81"	1848-1891	Cuernavaqueña
X88-90	Morelos	Totolapan	18°58'42.30", 98°54'53.00"	1889-1899	Cuernavaqueña
X91, 92	Morelos	Xochitepec	18°47'39.50", 99°13'52.42"	1143-1164	Cuernavaqueña
X93, 94	Morelos	Yautepec	18°55'57.58", 99° 1'37.08"	1202-1282	Cuernavaqueña
X95-97	Morelos	Yecapixtla	18°55'32.31", 98°48'29.23"	1867-2124	Cuernavaqueña
X98-100	Morelos	Zacualpan	18°47'48.29", 98°46'44.14"	1659-1694	Cuernavaqueña
X101, 102	Morelos	Zapata	18°50'37.78", 99°10'41.40"	1263-1291	Cuernavaqueña

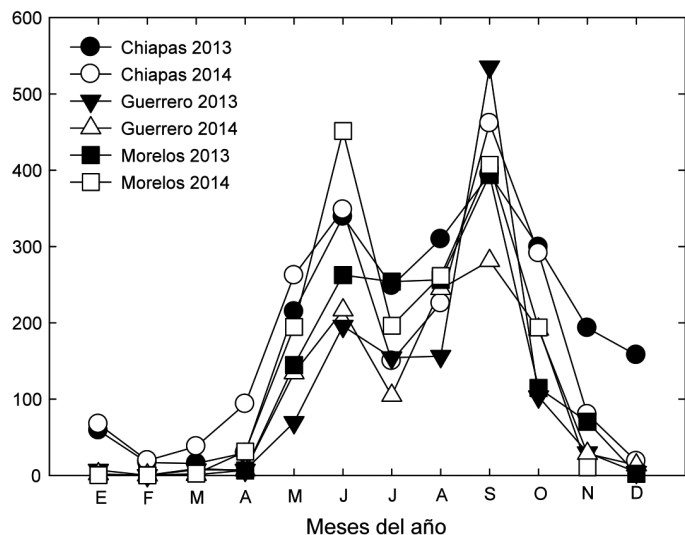


Figura 2. Precipitación mensual durante 2013-2014 en los estados de Chiapas, Guerrero y Morelos. (CONAGUA, 2013, 2014)

un sistema cerrado utilizando 10 frutos, para lo cual se colocaron dos frutos en frascos de vidrio herméticos de 120ml durante 2h. Posteriormente, se tomó 1ml de gas del espacio de cabeza a través de la septa de los frascos, para inyectarlo a un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies® 7890A, EEUU), con columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica conectada simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) a 170°C y otro de conductividad térmica (TCD) a 170°C. Como gas acarreador se utilizó N<sub>2</sub> (2ml·min<sup>-1</sup>). El inyector y el horno del cromatógrafo mantuvieron temperaturas de 150 y 80°C respectivamente durante las mediciones. Para la cuantificación se usaron estándares (Quark INFRA®) de CO<sub>2</sub> (460mg·l<sup>-1</sup>) y etileno (100mg·l<sup>-1</sup>).

El contenido de fenoles totales se midió conforme a la metodología de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100g peso fresco. La unidad experimental para esta variable fueron dos frutos de ciruela mexicana con cinco repeticiones.

Para la extracción y cuantificación de carotenoides totales se utilizó la metodología descrita por Rodríguez y Kimura (2004) con algunas modi-

ficaciones indicadas por Solórzano *et al.* (2015).

La obtención de los extractos para determinar de la actividad antioxidante por los métodos de DPPH (1,1 difenil-2-picrilhidrazil), ABTS (ácido 1.2'-azinobis (3-etilbenzotiazolín-6-sulfónico) y FRAP (capacidad para reducir el hierro férrico) se realizó utilizando un lg de epicarpio y/o pulpa por separado, el cual fue homogenizado con 12ml de agua destilada. Una dilución de la muestra (1:10) se utilizó para realizar las determinaciones de actividad antioxidante correspondiente.

Para la determinación de la actividad antioxidante por DPPH, se utilizó la metodología propuesta por Brand *et al.* (1995) con mínimas modifica-

ciones. Se colocaron 3ml de una solución metanólica de DPPH 6,1×10<sup>-5</sup>M y se hicieron reaccionar con 100μl de la muestra. La mezcla se incubó en oscuridad durante 30min a temperatura ambiente y posteriormente se midió la absorbancia a 517nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA)/100g.

La determinación de actividad antioxidante por el método de ABTS se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Re *et al.* (1999). Se prepararon soluciones de ABTS 7mM y persulfato de potasio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) 2,45mM, las cuales fueron mezcladas (1:1 v/v). La mezcla se dejó reposar durante 16h. Alicuotas de la solución se diluyeron con etanol al 20% hasta obtener una absorbancia de 0,7 ±0,02 a 734nm. La mezcla de reacción para la determinación de la actividad antioxidante contenía 3ml de la solución ABTS y 50μl de muestra, se dejó reaccionar durante 15min y se midió la absorbancia a 734nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA)/100g peso fresco.

Para la actividad antioxidante por el método de FRAP se empleó la metodología de Benzie y Strain (1996). Se preparó el reactivo FRAP (TPTZ (Tripiridil-s-triazina), FeCl<sub>3</sub> y amortiguador de acetato), se mezcló 1,8ml de la solución FRAP con 140μl de agua destilada y 60μl de muestra y se dejó reaccionar durante 30min a 37°C. Transcurrido el tiempo

de reacción se leyó la absorbancia a 593 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA)/100g peso fresco. La unidad experimental para todas las determinaciones de actividad antioxidante fue la mezcla homogénea de dos frutos con seis repeticiones.

Con los datos obtenidos se realizó estadística descriptiva de todas las variables utilizando el procedimiento Univariate de SAS® V. 8.0 (Castillo, 2011). Posteriormente los datos se estudiaron con un análisis clúster utilizando distancias euclidianas y el método de varianzas mínimas de Ward (1963) de acuerdo con Núñez-Colín y Escobedo-López (2014), donde los grupos resultantes se sometieron a un análisis discriminante canónico, un análisis de varianza multivariado (MANOVA) de las raíces canónicas y prueba de distancia de Mahalanobis (Johnson, 1998; Núñez-Colín y Escobedo-López, 2014). Todas estas pruebas fueron realizadas con el programa SAS V. 8.0 (SAS, 1999).

## Resultados y Discusión

La masa de la población estudiada fluctuó entre 6,0 y 33,5g (Tabla II). La colecta 'Vena' de la estación seca mostró la masa menor y 'Tepa3' de la estación húmeda presentó la masa mayor. Alía *et al.* (2012) y Solórzano *et al.* (2015) determinaron masas entre 4,0 y 43,2g y entre 11,1 y 35,0g en frutos de 67 y 11 colectas,

TABLA II  
VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MORFOLOGÍAS DE 102 COLECTAS DE CIRUELA MEXICANA EN MORELOS, GUERRERO Y CHIAPAS

Variable	Media	S <sup>2</sup>	r	Mínimo	Máximo	CV (%)
Masa (g)	20,66	7,76	27,5	6,03	33,53	37,53
Diámetro polar (mm)	35,95	6,95	23,37	21,24	44,61	19,33
Diámetro ecuatorial (mm)	29,37	4,39	17,61	18,52	36,13	14,95
Luminosidad (L*)	43,93	7,65	37,53	28,69	66,22	17,41
Cromaticidad (C*)	36,77	14,71	57,54	4,76	62,3	40,01
Matiz (h)	43,55	23,51	147,79	5,82	153,61	53,98
Sólidos solubles totales (°Brix)	16,87	4,16	14,6	8,26	22,86	24,69
Acidez titulable en pulpa (%)	0,23	0,10	0,63	0,11	0,74	42,31
Acidez titulable en epicarpio (%)	0,23	0,10	0,71	0,10	0,81	42,56
Respiración (ml kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	0,56	0,60	2,64	0,08	2,72	107,06
Etileno (μl·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	43,55	35,63	131,82	2,06	133,88	81,83

S<sup>2</sup>: varianza, r: rango.

respectivamente, de ciruela mexicana provenientes de los estados de Morelos, Guerrero y Chiapas de estación seca. Avitia *et al.* (2003) mostraron que los frutos de ciruela mexicana con masa entre 4 y 7g son de árboles silvestres, los frutos de masa entre 8 y 14g son de árboles de estación seca y los de masa entre 20 y 25g son de árboles de estación húmeda. Cruz *et al.* (2012) al estudiar 87 colectas de frutos de ciruela mexicana en los meses de mayo y junio, determinaron que las ciruelas silvestres tenían una masa promedio de 6,9g mientras para las cultivadas era de 10,5g.

El diámetro polar y ecuatorial, varió entre 21,2 y 44,6mm y entre 18,5 y 36,1mm, respectivamente (Tabla II). Los frutos de dimensiones menores fueron de estación seca y los de tamaño mayor fueron de estación húmeda. Cruz *et al.* (2012) reportaron diámetros polar y ecuatorial de 20,5 y 25,0mm y de 25,8 y 30,5mm, en frutos silvestres y cultivados, respectivamente, de ciruela mexicana de estación seca. Los resultados sugieren que los materiales evaluados se consideran cultivados.

La cromaticidad y matiz fueron los componentes del color con mayor coeficiente de variación (CV >40%; Tabla II). Se observaron frutos de color cercanos al verde ( $h=153,6$ ) hasta rojo púrpura ( $h=5,8$ ), con una cromaticidad cercana al gris ( $C^*=4,7$ ) o vívido ( $C^*=66,2$ ). Cerca de 19,6% de las colectas evaluadas fueron de color rojo púrpura ( $h= 5,81-16,1$ ), 30,4% de color rojo ( $h= 17,2-49,8$ ), 41,1% de color naranja ( $h= 50-70$ ), 80% amarillo ( $h= 70-90$ ) y 0,9% de color verde ( $h= 153,4$ ). Los resultados obtenidos mostraron una amplitud mayor del intervalo en los valores de los parámetros de color, en comparación con trabajos anteriores, donde se obtuvo una amplitud del matiz desde  $h=15,4$  hasta  $h=105,4$  y una cromaticidad de entre  $C^*=13,0$  y  $60,3$  (Alia-Tejacal *et al.*, 2012). Cruz *et al.* (2012) en 87 colectas de ciruela mexicana reportaron que el color tuvo un gradiente

de frecuencia rojo >naranja >amarillo >púrpura, con ausencia de este último color en poblaciones silvestres. En el presente trabajo el gradiente de frecuencia fue naranja >rojo >púrpura >amarillo >verde, sugiriendo que los árboles con frutos de color naranja y rojo son los más aceptados por quienes lo cultivan.

Con respecto al contenido de sólidos solubles totales (SST) se observó una amplitud entre 8,2 y 22,8°Brix (Tabla II). La colecta 'Vena' de la estación seca mostró los valores menores. Mientras que 'Maz1' de la estación húmeda mostró los valores mayores. Ambas colectas se obtuvieron de Mazatepec, Morelos (Tabla II). Alia *et al.* (2012) y Solórzano *et al.* (2015) reportaron valores máximos de SST en colectas de la estación seca entre 17,3 y 18,2°Brix, en tanto que Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) indicaron valores máximos entre 17 y 18°Brix en una colecta de la estación húmeda. En el presente trabajo las colectas de estación húmeda mostraron hasta 19,2°Brix.

La acidez titulable menor, tanto en epidermis (ATE) como en pulpa (ATP) se observó en la colecta 'Joctet' de estación seca, mientras que las mayores ATE y ATP se encontraron en la colecta 'Mial' de la estación seca y 'Morcuca' de estación húmeda (Tabla II), los valores observados entre estas colectas fueron similares, de 0,11 a 0,74% y de 0,10 a 0,81%, respectivamente. Alia *et al.* (2012) obtuvieron valores entre 0,2 y 2,0% en colectas de estación seca, en tanto que Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) reportaron entre 0,3 y 0,5% en ciruelas de estación húmeda. Los coeficientes de variación en acidez titulable de epidermis y pulpa fueron >42%, lo que sugiere que estas variables pueden ser útiles para la selección de variedades.

La tasa respiratoria y la producción de etileno, fueron las variables con los mayores coeficientes de variación, de 107 y 81% (Tabla II). Se determinó una diferencia entre 34 y 65 veces, entre los frutos de las

colectas que produjeron menor y mayor cantidad de gases, lo que sugiere una amplia variación en estas variables. La tasa respiratoria y la producción de etileno en ciruela mexicana podrían clasificarse como muy alta y alta, respectivamente (Kader, 2002). Estas variables guardan una alta correlación con la vida postcosecha del fruto, ya que a mayor velocidad en la tasa respiratoria y producción de etileno menor vida de anaquel. En el caso de la ciruela mexicana, esta está clasificada como un producto altamente perecedero, es decir que el potencial de almacenamiento postcosecha es <2 semanas (Kader, 2002). A través de la respiración los carbohidratos, proteínas y aceites almacenados en el fruto se degradan a productos más simples para liberar energía que se utilizará en el metabolismo del fruto. La pérdida de estas reservas en los frutos durante la respiración acelera la senescencia, ya que proveen la energía para mantener el producto vivo hasta que se agotan. Lo anterior disminuye la calidad sensorial del producto, especialmente su dulzura, y causa la pérdida de materia seca. La energía liberada en forma de calor, conocida como calor vital, debe considerarse en diferentes tecnologías postcosecha para estimar las necesidades de refrigeración o ventilación (Kader y Yahia, 2011). El etileno, por otra parte, puede incrementar el decaimiento de algunos frutos al acelerar su senescencia y ablandamiento (Kader y Yahia, 2011).

La concentración de fenoles totales en la epidermis (FTE) fue entre 2,1 y 2,7 veces más que en la pulpa (FTP) (Tabla III). La colecta 'Rodul' fue la que menor contenido de fenoles presentó y la de mayor contenido fue la colecta 'Joco', ambas de la estación seca. Solórzano *et al.* (2015) reportaron valores de FTE entre 0,9 y 5,5 y entre 0,5 y 30mg·g<sup>-1</sup> de peso fresco de FTP en 11 ecotipos de ciruela mexicana de estación seca. En el presente trabajo la concentración de fenoles totales fue menor. Se han

reportado en otros países contenidos de fenoles totales en ciruela mexicana desde 0,31 hasta 6,7mg·g<sup>-1</sup> de peso fresco (Zielinski *et al.*, 2014; Vasco *et al.*, 2008).

El contenido de carotenoides totales fue entre 2,5 y 3,7 veces mayor en la epidermis que en la pulpa, con valores entre 0,058 y 0,53mg·g<sup>-1</sup> en pulpa y entre 0,14 y 1,99mg·g<sup>-1</sup> en la epidermis (Tabla III). Solórzano *et al.* (2015) registraron en ciruela mexicana de estación seca concentraciones entre 0,5 y 2,9mg·g<sup>-1</sup> de peso fresco en pulpa, mientras que en la epidermis consignaron concentraciones entre 6,1 y 26,3mg·g<sup>-1</sup> de peso fresco. Maldonado *et al.* (2014) encontraron entre 0,08 y 0,24mg·g<sup>-1</sup> de peso fresco en la epidermis de ciruela mexicana de estación húmeda y 0,01mg·g<sup>-1</sup> de peso seco en la pulpa. El coeficiente de variación en esta variable fue de 40-60%. Los carotenoides son pigmentos que contribuyen a la coloración de la epidermis y la pulpa de los frutos con variaciones del color amarillo al naranja. A estos compuestos diversos autores les atribuyen propiedades antioxidantes en sistemas biológicos; en la ciruela mexicana hay pocos estudios del perfil de carotenoides. Ayala *et al.* (2011) al revisar el contenido de fenoles y carotenoides en la epidermis, pulpa y semilla de siete frutos tropicales (aguacate, banano, guayaba, jaca, longan y granada) determinaron que es la epidermis la estructura donde hubo mayor concentración de estos compuestos. Esto fue similar en la ciruela mexicana, pero aún más significativo es que en esta especie la epidermis es consumida junto con la pulpa, lo que favorece un mayor consumo de estas moléculas funcionales.

En cuanto a la actividad antioxidante en epidermis y pulpa se encontró una alta variación (CV= 31,6 y 43,7%) cuando se evaluó por los métodos DPPH, ABTS y FRAP, a excepción de la actividad antioxidante determinada en epidermis por el método de ABTS (CV= 24,9%) (Tabla III). En el presente

TABLA III  
VARIABLES QUÍMICAS DE 102 COLECTAS DE CIRUELA MEXICANA  
EN MORELOS, GUERRERO Y CHIAPAS

Variable	Media	S <sup>2</sup>	r	Mínimo	Máximo	CV (%)
Fenoles en pulpa (µg·g <sup>-1</sup> de p.f.)	420,73	155,31	882,63	145,07	1027,7	36,91
Fenoles en epicarpio (µg·g <sup>-1</sup> de p.f.)	956,85	341,70	1814,92	401,87	2216,79	35,71
Carotenoides pulpa (µg·g <sup>-1</sup> de p.f.)	197,84	79,64	480,13	58,18	538,31	40,26
Carotenoides epicarpio (µg g <sup>-1</sup> de p.f.)	674,37	408,19	1844,91	148,21	1993,12	60,53
DPPHC (mg EAA/100g)	99,28	43,38	332,69	27,63	360,32	43,70
DPPHP (mg EAA/100g)	54,80	20,91	122,75	25,28	148,03	38,16
ABTSC (mg EAA/100g)	187,08	46,60	214,66	59,76	274,42	24,91
ABTSP (mg EAA/100g)	127,90	44,61	210,4	48,42	258,82	34,88
FRAPC (mg EAA/100)	154,31	48,89	189,33	26,57	215,9	31,68
FRAPP (mg EAA/100)	91,28	40,89	187	5,32	192,32	40,89

S<sup>2</sup>: varianza, r: rango. DPPHC y DPPHP: actividad antioxidante método DPPH en cáscara y pulpa, ABTSC y ABTSP: actividad antioxidante método ABTS en cáscara y pulpa, FRAPC Y FRAPC: actividad antioxidante método FRAP en cáscara y pulpa.

trabajo, la colecta 'Cons' mostró la mayor actividad en pulpa por el método de ABTS y FRAP, y el ecotipo 'Gorch' mostró la mayor actividad en epidermis y pulpa por DPPH y en epidermis por ABTS. Finalmente 'Cue3', una colecta de la estación húmeda mostró la mayor actividad antioxidante por FRAP. Beserra *et al.* (2011) reportaron que el fruto de *S. purpurea* entero mostró una actividad antioxidante por los métodos de DPPH y ABTS de 93,78 ±0,6 y 47,2 ±5,95mg EAA/100g de peso fresco, respectivamente. Todas las colectas evaluadas mostraron mayor actividad de ABTS que la reportada por Beserra *et al.* (2011), mientras que solo 50 colectas tuvieron mayor actividad de la reportada por el método de DPPH por los mismos autores (datos no mostrados). Yahia *et al.* (2011) determinaron actividad antioxidante en 12 frutos tropicales en una amplitud que varió de 11,5 a 270mg de EAA/100g de peso fresco por el método de DPPH. Los resultados obtenidos en este trabajo con las colectas de ciruela mexicana evaluadas superan estos valores (Tabla III), por lo que los frutos de *S. purpurea* son una fuente importante de antioxidantes.

El dendograma obtenido del análisis cluster efectuado fue dividido en cuatro grupos de acuerdo a la prueba de partición con el pseudoestadístico t<sup>2</sup> de Hotelling, ya que es el primer punto de baja variabilidad (Figura 3). El dendograma se

dividió en un valor R<sup>2</sup> semiparcial de ~0,075.

El grupo I estuvo conformado por los 53 genotipos de ciruelas de estación húmeda (Figura 3) de color rojo opaco, de mayor masa y dimensiones del fruto, alto contenido de sólidos solubles totales y baja acidez en epicarpio y pulpa, bajo contenido de fenoles en epicarpio y baja actividad de FRAP, pero el mayor contenido de carotenoides en pulpa

(Tabla IV). El grupo II se integró de 44 genotipos de ciruelas de clima seco (Figura 3) de masa baja, dimensiones intermedias, bajo contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable en pulpa y epicarpio, fenoles en epicarpio, carotenoides y actividad antioxidante por FRAP en la pulpa (Tabla IV). El tercer grupo se integró por tres ciruelas de la región suroeste del estado de Morelos de color rojo, de masa

y dimensiones, bajo contenido de sólidos solubles totales y gran acidez titulable de pulpa y epidermis (hasta tres veces más que el resto de los materiales evaluados), alto contenido de fenoles en epicarpio, pero baja actividad antioxidante en pulpa por FRAP y bajo contenido de carotenoides en epicarpio (Tabla IV). Finalmente, el grupo IV se integró por los materiales provenientes de Chiapas, que son los que se cultivan de forma comercial en el país: 'Jocote' y 'Chapilla'; estos materiales mostraron un color naranja a amarillo, con masa y dimensiones mayores, contenido promedio de sólidos solubles totales, baja acidez titulable, alto contenido de fenoles en epicarpio y actividad antioxidante por FRAP en pulpa, pero bajo contenido de carotenoides en pulpa (Tabla IV).

La varianza total quedó expresada en las tres primeras raíces canónicas (Tabla V). La primera raíz canónica (Can1) ayudó a explicar 80,9%, la segunda (Can2) explicó 10,3% y la tercera (Can3) 8,8%. La

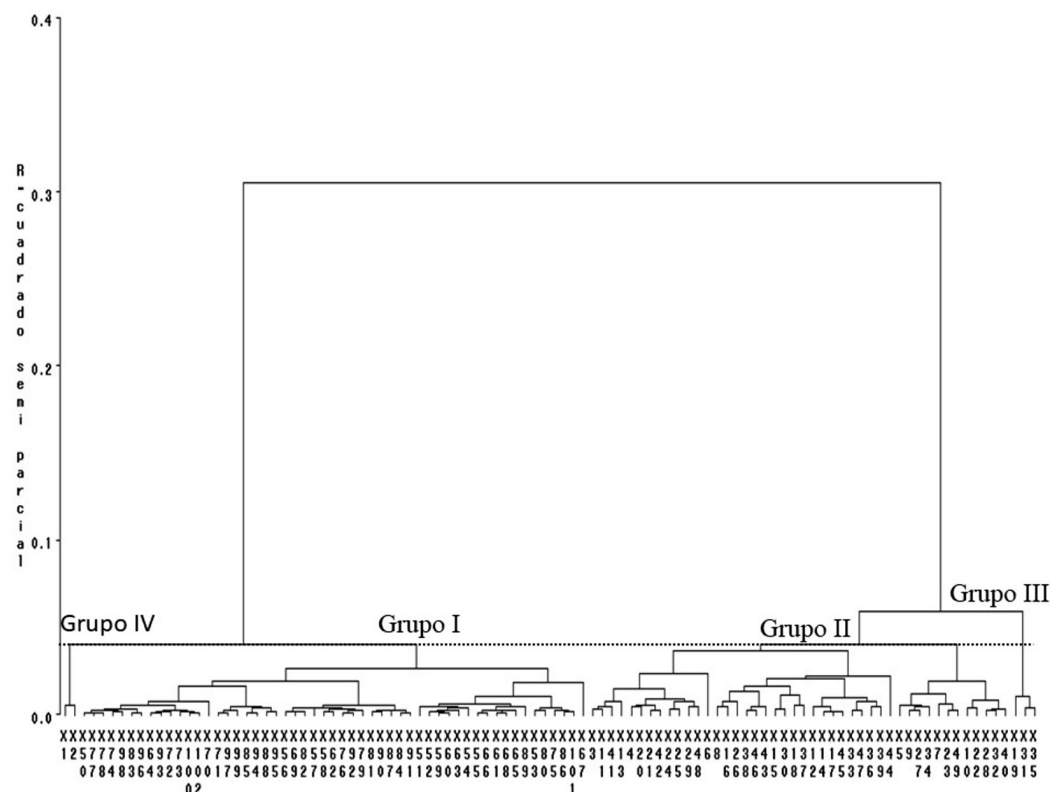


Figura 3. Dendograma de 102 árboles de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) construido por el método de Ward a partir de 21 variables del fruto.

TABLA IV  
PROMEDIOS DE 21 VARIABLES DE LOS GRUPOS FORMADOS  
EN EL ANÁLISIS CLÚSTER DE 102 GENOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA

Variable	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
Luminosidad (L*)	46,00	40,70	40,22	65,62
Cromaticidad (C*)	48,71	21,94	27,43	60,42
Matiz (h)	58,29	25,33	31,06	72,30
Masa (g)	26,72	14,13	7,62	23,39
Diámetro polar (mm)	41,85	29,71	23,96	34,53
Diámetro ecuatorial (mm)	32,50	25,98	21,23	32,72
Sólidos solubles totales (°Brix)	20,39	13,15	11,50	13,4
Acidez titulable en pulpa (%)	0,21	0,20	0,67	0,29
Acidez titulable en epicarpio (%)	0,21	0,22	0,56	0,29
Respiración (mL kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0,48	0,60	1,50	0,13
Etileno (μL kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	22,50	63,83	124,68	33,32
Fenoles en pulpa (μg g <sup>-1</sup> de p, f.)	472,07	340,85	462,90	754,03
Fenoles en epicarpio (μg g <sup>-1</sup> de p, f.)	874,21	996,32	1029,97	2168,49
Carotenoides pulpa (μg g <sup>-1</sup> de p, f.)	253,80	136,47	163,00	116,95
Carotenoides epicarpio (μg g <sup>-1</sup> de p, f.)	902,26	434,32	348,79	404,47
DPPHC (mg EAA 100 g <sup>-1</sup> )	78,54	120,57	135,55	125,80
DPPHP (mg EAA 100 g <sup>-1</sup> )	46,29	63,07	73,02	70,53
ABTSC (mg EAA 100 g <sup>-1</sup> )	193,37	177,02	195,65	228,45
ABTSP (mg EAA 100 g <sup>-1</sup> )	130,93	125,64	123,05	104,07
FRAPC (mg EAA 100 g <sup>-1</sup> )	175,79	129,29	117,67	190,06
FRAPP (mg EAA 100 g <sup>-1</sup> )	88,11	91,01	96,84	172,81

AADPPH: actividad antioxidante por DPPH, AAABTS: actividad antioxidante por ABTS, AAFRAP: actividad antioxidante por FRAP.

TABLA V  
VALORES PROPIOS Y PROPORCIÓN DE LA VARIANZA TOTAL EXPLICADA POR  
LOS COMPONENTES PRINCIPALES, CON BASE A LA MATRIZ DE CORRELACIÓN  
APLICADA A 21 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE 102 GENOTIPOS  
SELECCIONES DE CIRUELA MEXICANA

Autovalor	Proporción de la varianza	Varianza acumulada	F aproximado	P
25,22	0,8099	0,8099	24,11	<0,0001
3,22	0,1035	0,9135	11,6654	<0,0001
2,69	0,0865	1,0000	11,35	<0,0001

TABLA VI  
VECTORES PROPIOS DE 21 VARIABLES EN LAS TRES  
PRIMERAS RAÍCES CANÓNICAS DE 102 SELECCIONES  
DE CIRUELA MEXICANA

Variable	Can1	Can2	Can3
Luminosidad (L*)	0,3685	0,1496	-0,4995
Cromaticidad (C*)	0,9166	0,1557	-0,1824
Matiz (h)	0,7079	0,1113	-0,1411
Masa	0,8522	-0,1324	-0,0727
Diámetro polar	0,9113	-0,1621	0,0172
Diámetro ecuatorial	0,7924	-0,1519	-0,1568
Sólidos solubles totales	0,8880	-0,1207	0,1441
Acidez titulable de pulpa	-0,1552	0,9158	0,2242
Acidez titulable de epicarpio	-0,1711	0,6357	0,1266
Respiración	-0,1608	0,2299	0,2062
Etileno	-0,6469	0,2906	0,1217
Fenoles de pulpa	0,4125	0,2617	-0,2616
Fenoles de epicarpio	-0,1642	0,2205	-0,5539
Carotenoides de pulpa	0,7282	-0,0005	0,2151
Carotenoides de epicarpio	0,5834	-0,0768	0,1159
DPPH en epicarpio	-0,4985	0,0980	-0,0948
DPPH en pulpa	-0,4180	0,1292	-0,1042
ABTS en epicarpio	0,1688	0,1216	-0,1031
ABTS en pulpa	0,0590	-0,0410	0,0820
FRAP en epicarpio	0,4934	-0,0021	-0,1074
FRAP en pulpa	-0,0324	0,1527	-0,3314

AADPPH: actividad antioxidante por DPPH, AAABTS: actividad antioxidante por ABTS, AAFRAP: actividad antioxidante por FRAP.

Can1 estuvo relacionada (Tabla VI) a variables de color (cromaticidad y matiz), masa y dimensiones del fruto (diámetro polar y ecuatorial) y calidad (sólidos solubles totales y carotenoides totales en pulpa), la Can2 se asoció a la acidez titulable de pulpa y epicarpio, y la Can3 con aspectos de la luminosidad del exocarpo, fenoles de epicarpio y actividad antioxidante en la pulpa (FRAP).

Los grupos fueron estadísticamente diferentes con base a la prueba de la distancia de Mahalanobis ( $P \leq 0,0001$ , Tabla VII). En el MANOVA se encontraron diferencias en las tres raíces canónicas (Tabla VIII); la Can1, Can 2 y Can 3 no encontró diferencias en los grupos 1 y 2, pero si entre 1 y 2 vs 3, 1 y 2 vs 4, 3 vs 4.

Los resultados obtenidos pueden apoyar la selección de materiales para formar un banco de germoplasma e iniciar trabajos de selección de materiales sobresalientes que puedan en el futuro ser liberados como materiales comerciales. Se determinó que los mejores genotipos para consumo en fresco son los de clima húmedo y los dos materiales comerciales de clima seco 'Jocote' y 'Chapilla'. En el grupo donde

TABLA VII  
DISTANCIA DE MAHALANOBIS ENTRE LOS GRUPOS  
OBTENIDOS DEL ANÁLISIS CLÚSTER DE 102  
GENOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA

Clúster	1	2	3	4
1	0,0000			
2	90,15***	0,0000		
3	201,69***	110,37***	0,0000	
4	150,02***	181,58***	267,48***	0,0000

\*\*\* $P \leq 0,0001$ .

TABLA VIII  
PRUEBA HSD DE TUKEY DE LAS DOS PRIMERAS  
RAÍCES CANÓNICAS DE LOS TRES GRUPOS DE  
CIRUELA MEXICANA OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS  
CLÚSTER

Grupo	Can 1	Can 2	Can 3
1	4,65 a	-0,09 c	0,27 b
2	-5,28 a	-0,71 c	-0,07 b
3	-5,63 c	9,21 a	3,32 a
4	1,35 b	4,36 b	-10,64 c
HSD	1,72	1,72	1,72

Letras diferentes en la misma columna significa diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre los grupos.

se agruparon la mayoría de los materiales de clima seco (44) se pueden seleccionar algunos que pueden competir con los materiales comerciales.

## Conclusiones

La masa, dimensiones del fruto, el contenido de sólidos solubles totales, carotenoides totales, fenoles totales, acidez titulable, la producción de etileno y actividad antioxidante por ABTS y DPPH son las variables que apoyarían a seleccionar materiales sobresalientes de ciruela mexicana. El estudio realizado mostró que existe clara separación entre las ciruelas de estación seca y húmeda.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a CONACyT por el apoyo económico para realizar estudios de Posgrado. Se agradece el apoyo de SEP-PROMEP a la Red "Ciencia y Tecnología Pre y Postcosecha" para la publicación del presente trabajo, así como a Alyn Mariana Palacios Sosa, por el apoyo en la medición de las variables en el laboratorio.

## REFERENCIAS

Alia TI, Astudillo MYI, Núñez CCA, Valdez ALA, Bautista BS, García VE, Ariza FR, Rivera CF (2012) Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Fitotec. Mex.* 35(Núm. Esp. 5): 21-26.

Arce-Romero AR, Monterroso-Rivas AI, Gómez-Díaz JD, Cruz-León A (2017) Mexican plums (*Spondias* spp.): their current distribution and potential distribution under climate change scenarios for Mexico. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 23: 5-19.

Avitia EG, Castillo GAM, Pimienta BE (2003) *Ciruela Mexicana y otras Especies del Género Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo. México. 60 pp.

Ayala ZJF, Vega VV, Rosas D C, Palafox CH, Villa RJA, Wassim SMd, Dávila AJE, González AGA (2011) Agro industrial potential of exotic fruit by products as a source of food additives. *Food Res. Int.* 44: 1866-1874.

Bautista BS, Díaz PJC, Barrera NLL, Bravo LL (2003) Estudio poscosecha de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) durante almacenamiento. *Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha* 5: 82-85.

Bautista BS, Hernández LM, Guillén SD, Alia TI (2006) Influencia del recubrimiento con quitosano y la temperatura en la calidad postcosecha y niveles de infección en la ciruela mexicana. *Rev. Iberoam. 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. *Anal. Biochem.* 239: 70-76.

Beserra AMM, Machado de SPE, Campos A AM, Matias do PG, de Carvalho-MCE, Arraes MG, Gomes de LTL (2011) Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brasil. *Food Res. Internat.* 44: 2155-2159.

Brand WW, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Sci. Technol.* 28: 25-30.

Castillo MLE (2011) *Introducción al SAS® para Windows*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 295 pp.

CONAGUA (2013) *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2013*. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. México. Comisión Nacional del Agua. 23 pp.

CONAGUA (2014) *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2014*. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua México. 27 pp.

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 DA, 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.

Diamanti J, Battino M, Mezzetti B (2011) Breeding for fruit nutritional and nutraceutical quality. En Jenks MA, Bebeli PJ (Eds.) *Breeding For Fruit Quality*. Wiley. Singapur. pp. 61-79.

Duarte O, Paull RE (2015) *Exotic Fruits and Nuts of the New World*. CABI. Wallingford, RU. 332 pp.

Johnson E (1998) *Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos*. Thomson International. México. 566 pp.

Kader AA (2002) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3ª ed. University of California Agriculture and Natural Resources Publication 3311. 535 pp.

Kader AA, Yahia EM (2011) Postharvest biology of tropical and subtropical fruits. En Yahia EM (Ed.) *Postharvest Biology and Technology of Tropical and subtropical Fruits*. Woodhead. RU. pp. 79-111.

Kozlowski MJ, Macía MJ (1998) Chemical composition, nutritional evaluation, and economic prospects of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Econ. Bot.* 52: 373-380.

Maldonado AYI, Alia TI, Núñez CCA, Jiménez HJ, Pelayo ZC, López MV, Andrade RM, Bautista BS, Valle GS (2014) Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* and *S. mombin*. *Scientia Horticulturae* 174: 193-206.

McGuire RG (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.

Nava KG, Uscanga BM (1979) Estudio físico y químico de doce ecotipos de ciruela (*Spondias* sp.) en el estado de Veracruz. *Proc. Trop. Region ASHS* 23: 132-136.

Núñez-Colín A, Escobedo-López D (2014) Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agríc. Pec.* 1: 1-6.

Pérez LA, Saucedo VC, Arévalo GML, Muratalla LA (2004) Efecto del grado de madurez en la calidad y vida poscosecha de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). *Fitotec. Mex.* 27: 133-139.

Ramírez HBC, Pimienta BE, Castellanos RJZ, Muñoz UA, Palomino HG (2008) Sistemas de producción de *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae) en el centro-occidente de México. *Biol. Trop.* 56: 675-687.

Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice EC (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Rad. Biol. Med.* 26: 1231-1337.

Rodríguez ADB, Kimura M (2004) *Harvest Plus Handbook for Carotenoid Analysis*. Harvest Plus Technical Monograph 2. International Food Policy Research Institute and International Center For Tropical Agriculture. Washington, DC, EEUU y Cali, Colombia. pp. 35-36.

Ruenes MM de R, Casas A, Jiménez OJJ, Caballero J (2010) Etnobotánica de *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae) en la península de Yucatán. *Interciencia* 35: 247-254.

SAS (1999) *SAS OnlineDoc. Version 8*. SAS Institute. Cary, NC, EEUU.

Salazar GS, Becerra BE (1994) Fenología y dinámica nutricional en hojas de ciruela mexicana. *Fitotec. Mex.* 17: 86-93.

Singleton VL, Orthofer R, Lamuela RRM (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Meth. Enzymol.* 299: 152-178.

Solórzano MS, Alia TI, Rivera CF, López MV, Pérez FLJ, Pelayo ZC, Guillén SD, Díaz de LSF, Maldonado AYI (2015) Quality attributes and functional compounds of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits* 70(5): 261-270.

Terry LA, Thompson AK (2011) Introduction. En Terry LA (Ed.) *Health-Promoting Properties of Fruit and Vegetables*. CABI. RU. pp. 1-4.

Vallejo CB, Reyes DR, González AGG, Hernández MA, González CAF (2014) Los alimentos e ingredientes funcionales. En González AGA, González CAF, Vallejo CB, Álvarez PE, García HS (Eds.) *Los Alimentos Funcionales: Un Nuevo Reto para la Industria de Alimentos*. CIAD-AGT. México. pp. 38-64.

Vargas SG, Hernández CR, Moguel OE (2011) Caracterización morfológica de ciruela (*Spondias purpurea* L.) en tres municipios del estado de Tabasco. *Bioagro* 23: 141-149.

Vasco C, Ruales J, Kamal EA (2008) Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chem.* 111: 816-823.

Ward JrJH (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Amer. Statist. Assoc.* 58: 236-244.

Yahia EM, Ornelas PJJ, González AGA (2011) Nutritional and Health-promoting properties of tropical and subtropical fruits. En Yahia E M (ed.) *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead. RU. pp. 21-78.

Zielinski AAF, Ávila S, Nogueira A, Wosiacki G, Haminiuk CWI (2014) The association between chromaticity, phenolics, carotenoids and in vivo activity of frozen fruit pulp in Brazil: an application of chemometrics. *Food Chem.* 79(4): C-510-C516.