



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y POSCOSECHA DE TRES
VARIETADES DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea*
L.) DE ESTACIÓN SECA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS**

P R E S E N T A:

I.H. SAMUEL CANCINO LABRA

COORDIRECTORES DE TESIS:

DR. IRAN ALIA TEJACAL y DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, octubre de 2022

**FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y POSCOSECHA DE TRES VARIEDADES DE
CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE ESTACIÓN SECA**

Tesis realizada por I.H. Samuel Cancino Labra, bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural

Director: Dr. Irán Alía Tejacal

Codirector: Dra. Gloria Alicia Pérez Arias

Revisor: Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes

Revisor: Dr. Porfirio Juárez López

Revisor: Dr. Víctor López Martínez

Revisor: Dr. Benito Terán Erazo

Agradecimientos

A la beca otorgada (772691) por **CONACyT** para la realización de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos incluida en el Padrón Nacional de Posgrado.



Se agradece el apoyo parcial de SEP PRODEP y la “Red de Ciruelas Mexicanas” SADER, para la publicación del presente trabajo.

Agradecimientos

Gracias al **Dr. Iran Alia Tejacal** por permitirme ser parte de su grupo de trabajo, por sus conocimientos y por brindarme su amistad.

A mi comité **Dra. Gloria Alicia Pérez Arias, Dr. Porfirio Juárez López, Dr. Víctor López, Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes, Dr. Benito Terán Erazo** gracias por sus observaciones, conocimientos y el tiempo dedicado en la realización de esta tesis.

A la M.C. Alyn Palacios Sosa por todo su apoyo en el laboratorio.

Al Dr. Juan Emilio Álvarez Vargas, por su apoyo.

A la Sra. Enriqueta por la confianza y facilidades dadas en el proyecto.

A mis amigos: Hannya, Daniela, Jorge, Emiliano y Orlando por su apoyo y sobre todo su amistad.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVO GENERAL	3
HIPOTESIS	3
LITERATURA CITADA	4
CAPÍTULO II. Identificación de etapas fenológicas en ciruela mexicana (<i>Spondias purpurea</i> L.) de clima seco con la escala BBCH.	6
2.1 RESUMEN	6
2.2 INTRODUCCIÓN	7
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
2.5 CONCLUSIONES	20
2.6 LITERATURA CITADA	21
CAPÍTULO III. Crecimiento de frutos en tres variedades de ciruela mexicana (<i>Spondias purpurea</i> L.) de clima seco.	32
3.1 RESUMEN	32

3.2 INTRODUCCION	33
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.5 CONCLUSIONES	39
3.6 LITERATURA CITADA	40
CAPÍTULO IV. Postcosecha de tres variedades de ciruela mexicana (<i>Spondias purpurea</i> L.) de clima seco.	45
4.1 RESUMEN	45
4.2 INTRODUCCIÓN	46
4.3 MATERIALES Y MÉTODOS	47
4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.5 CONCLUSIONES	67
4.6 LITERATURA CITADA	68

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Descripción de las etapas fenológicas en ciruela mexicana.	26
Cuadro 2. Días y unidades calor necesarios para completar cada etapa fenológica en ciruela mexicana durante un ciclo agrícola.	30
Cuadro 3. Días en que la apariencia de las variedades de ciruela mexicanas evaluadas es comercial.	55
Cuadro 4. Correlaciones entre fenoles, flavonoides y actividad antioxidante en tres variedades de ciruela mexicana cosechadas con madurez $\frac{1}{2}$ y de $\frac{3}{4}$.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Descripción de etapas fenológicas en ciruela mexicana.	28
Figura 2. Continuación descripción de etapas fenológicas en ciruela mexicana.	29
Figura 3. Etapas fenológicas de ciruela mexicana y su relación con la temperatura y precipitación.	30
Figura 4. PAR y humedad relativa en el área de estudio de ciruela mexicana.	31
Figura 5. Cambios fisiológicos, químicos y físicos en tres variedades de ciruela mexicana desarrollados en Tepalcingo, Morelos.	43
Figura 6. Cambios físicos en tres variedades de ciruela mexicana desarrollados en Tepalcingo, Morelos.	44
Figura 7. Cambios fisiológicos y químicos en frutos de tres ecotipos de ciruela mexicana cosechados en dos etapas de maduración.	52
Figura 8. Apariencia de frutos de ciruela ‘Morada’ cosechados en dos etapas de maduración.	56
Figura 9. Apariencia de frutos de ciruela ‘Roja’ cosechados en dos etapas de maduración.	57
Figura 10. Apariencia de frutos de ciruela ‘Amarilla’ cosechados en dos etapas de maduración.	58
Figura 11. Cambios físicos en la epidermis de tres ecotipos de ciruela mexicana de clima seco.	61
Figura 12. Cambios de parámetros de color en la pulpa de tres variedades de ciruela mexicana de clima seco.	62

Figura 13. Cambios en fenoles y flavonoides en durante la maduración de tres variedades de ciruela mexicana cosechados en dos etapas de maduración. 64

Figura 14. Cambios en actividad antioxidante durante la maduración de tres variedades de ciruela mexicana cosechado en dos diferentes etapas. 65

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) también conocida como jocote (del náhuatl xocotl o fruto ácido) (Duarte y Paull, 2015), pertenecen al género *Spondias*, el cual pertenece a la familia Anacardiaceae (Ramírez, 2004). Es un frutal tropical originario de Mesoamérica, crece desde los 10 hasta los 2000 m sobre el nivel del mar (Vargas-Simón, 2018), existen dos centros de origen conocidos en Mesoamérica para esta especie, uno se encuentra en la parte occidental del centro de México y el segundo, que abarca la región sur de México y Centroamérica (Miller *et al.*, 2006; Neto *et al.*, 2013). Se encuentran distribuido en las selvas bajas caducifolias y subcaducifolias, que va desde la costa de Sonora, la vertiente del Pacífico, la Depresión Central de Chiapas, Quintana Roo, el norte de Yucatán, así como el norte de Veracruz y el este de San Luis Potosí (Pennington y Sarukhán, 2005), además de Morelos y Guerrero (Alia-Tejacal *et al.*, 2012; Cruz *et al.*, 2012). Con amplia distribución en las regiones de clima seco (Olmedo-Vázquez, 1992).

En México se han reportado cerca de 30 ecotipos de ciruela mexicana (Avitia *et al.*, 2003), esta se clasifica en dos tipos, de acuerdo al momento de la producción de la fruta, estas son: 1) las de estación seca (fructifican de abril a mayo); 2) las de estación húmeda (fructifican de septiembre a diciembre) (Avitia *et al.*, 2003), pero también se ha considerado un tercer tipo, que tiene características morfológicas intermedias entre los de estación seca y húmeda, que fructifica a inicios de la época de lluvia, pero no hay estudios específicos al respecto (Avitia *et al.*, 2003; Ruenes-Morales *et al.*, 2010).

En México, la ciruela de estación seca es prometedora, ya que se considera un cultivo de alto potencial, debido a su costo de producción sumamente bajo, por tratarse de una especie con alta resistencia a la sequía y por producir en suelos pobres y delgados (Cuevas, 1992). En el estado

de Morelos se encuentran áreas donde la ciruela mexicana crece de forma silvestre, fomentada o de manera comercial (Alia-Tejacal *et al.*, 2012). En la zona sur de la entidad se han reportado gran diversidad de las ciruelas de época seca, que muestran características físicas, químicas y fisiológicas, que se pueden considerar con potencial para su desarrollo comercial (Alia-Tejacal *et al.*, 2012, Maldonado-Astudillo *et al.*, 2012).

En México en el año 2018 se produjeron 56,584 toneladas de ciruela mexicana, a nivel nacional el estado de Morelos se posicionó en séptimo lugar con 2,754 toneladas (SIAP, 2020).

La documentación y descripción de las etapas fenológicas en los cultivos, son muy importantes, ya que se logra tener una mayor productividad y calidad en el fruto, esto se debe a que las practicas que se aplican en un cultivo, se basan en el tiempo que ocurren sus fenofases (Kishore, 2016). Estos aspectos son básicos, pero muy importantes para desarrollar estrategias de planeación y ejecución de las prácticas de manejo de los huertos, como podas, fertilización, riegos, aplicación de reguladores de crecimiento, entre otras actividades que estén enfocadas a optimizar el crecimiento del fruto y su calidad (Opara, 2000). La fenología de la ciruela mexicana ha sido poco estudiada, particularmente las de estación seca. En ciclos de producción de países como México, Costa Rica y Brasil, se han realizado observaciones en la fenología del cultivo, pero estas no se han cuantificado utilizando alguna escala fenológica. Actualmente, se recomienda utilizar la escala BBCH, ya que es ampliamente adoptada en todo el mundo para la descripción de sus etapas de desarrollo de crecimiento del cultivo, con la finalidad de homogenizar las observaciones y que se puedan utilizar en otras áreas de producción (Hack *et al.*, 1992). La escala BBCH es un sistema de codificación uniforme de identificación fenológica de estadios de crecimiento para todas las especies de plantas mono y dicotiledóneas (Meier, 2001). La escala BBCH básica, se basa en un código decimal que identifica el desarrollo de las plantas en estadios principales (0-9), este primer

digito de la escala BBCH corresponde a la etapa principal de crecimiento, el segundo digito (0-9) refleja el porcentaje de crecimiento de las yemas, hojas, brotes, yemas florales, desarrollo del fruto, madurez del fruto y senescencia (Meier, 2001; Liu *et al.*, 2015).

Considerando los aspectos antes mencionados, en Morelos se tienen genotipos de ciruela mexicana sobresalientes que aún no se ha estudiado su fenología y su propagación, que pueda en el futuro facilitar su manejo agronómico.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la fenología y algunos cambios físicos, químicos y fisiológicos durante el desarrollo y poscosecha del fruto de ciruela mexicana de clima seco para generar información útil en el desarrollo de tecnologías para incrementar la vida útil en esta especie.

HIPÓTESIS

La fenología de la ciruela mexicana de estación seca se puede describir adecuadamente con la escala BBCH.

Los cambios físicos, químicos y fisiológicos de las variedades de ciruela mexicana indican un comportamiento del tipo climatérico.

LITERATURA CITADA

- Alia-Tejacal, I., Maldonado-Astudillo, Y. I., Núñez-Colín, C. A., Valdez-Aguilar, L. A., Bautista-Baños, S., García-Vázquez, E., Ariza-Flores, R., y Rivera-Cabrera, F. (2012). Caracterización de frutos de Ciruela Mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 21-26.
- Avitia, G. E., Castillo G. A. M., y Pimienta B. E. (2003). Ciruela mexicana y otras especies del género *Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 60 p.
- Cruz-León, A., Pita-Duque, Á., y Rodríguez-Haros, B. (2012). *Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicanas*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Cuevas, J. (1992). Jocote, ciruelo (*Spondias purpurea*). En Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Ed.), *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación* (pp. 109-113). Santiago, Chile: FAO.
- Duarte, O., y Paull, R. E. (2015). *Exotic Fruits and Nuts of the New World*. Wallingford, RU: Cabi.
- Hack, H., Bleiholder, H., Buhr, L., Meier, U., Schnock-Fricke, U., Weber E., y Witzemberger, A. (1992). Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen –Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein-. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd*, 44(12), 265-270.
- Kishore, K. (2016). Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 213, 294-302.
- Liu, K., Li, H., Yuan, C., Huang, Y., Chen, Y., y Liu, J. (2015). Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH-scale. *Sci. Hortic*, 187, 76–80.
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, A.C., Jiménez, H. J., López, V. (2017). Chemical and phenotypic diversity of mexican plums (*Spondias purpurea* L.) from the states of Guerrero and Morelos, Mexico. *Bras. Frutic.*, 39(2), e-610.
- Meier, U. (2001). *BBCH Monografías*. Barcelona, España: Centro Federal de Investigaciones Biológicas para la Agricultura y Silvicultura.
- Miller, A., y Schaal, B. (2006). Domestication of a Mesoamerica cultivated fruit tree, (*Spondias purpurea* L.) *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 2801-2806.

- Neto, L., de Olivera, F., Brito, B., y de Albuquerque, P. (2013). Traditional know ledge, genetic and morphological diversity in populations of (*Spondias tuberosa* Arruda). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(4), 1389-1406.
- Olmedo-Vázquez, V. M. (1992). *Caracterización y distribución del germoplasma de la ciruela mexicana (Spondias spp.) en el estado de Morelos*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Opara, U. L. (2000). Fruit growth measurement and analysis. *Horticultural Reviews*, 24, 373-431.
- Pennington, D. T., y Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*, CDMX, México: UNAM-FCE.
- Ramírez, B. C. (2004). *Etnobotánica y ecofisiología de la ciruela mexicana (Spondias purpurea L.)*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX, México.
- Ruenes-Morales, M. R., Casas, A., Jiménez-Osornio, J. J. y Caballero, J. (2010). Etnobotánica de (*Spondias purpurea* L.) (Anacardiaceae) en la península de Yucatán. *Interciencia*. 35(4), 247-254.
- SIAP. (2020) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción anual. En línea: <http://www.siao.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>. Consultado el 20 de mayo de 2020.
- Vargas-Simón, G. (2018). Ciruela/Mexican Plum-*Spondias purpurea* L. En: *Exotic Fruits. Reference Guide*. (pp. 141-152). San Diego, CA, USA: Academic Press Elsevier.

CAPÍTULO II

Identificación de etapas fenológicas en ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) de clima seco con la escala BBCH.

2.1 RESUMEN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es un frutal de clima tropical, originario de México y que se distribuye en Centro América y Sudamérica, es apreciado por sus características organolépticas y contribuye a la nutrición de los habitantes de la región, además de su importancia etnobotánica y económica para quienes lo cultivan. En el presente estudio se realizó una descripción de las principales etapas fenológica de la ciruela mexicana de clima seco utilizando la escala Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemistie (BBCH). Un total de 8 etapas fenológicas principales fueron descritas: etapa 0: desarrollo de yemas vegetativas 1: desarrollo hojas, 3: desarrollo del brote vegetativo, 5: desarrollo reproductivo, 6: floración, 7: desarrollo del fruto 8: maduración del fruto y 9: senescencia. Cuarenta y cinco etapas secundarias también fueron descritas e ilustradas. La duración de cada fenofase fue descrita en días y en unidades calor, además de realizar un análisis con las condiciones ambientales en el periodo de estudio como son: la temperatura, humedad relativa, la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y precipitación. Los resultados indican que la escala BBCH puede ser utilizada para describir las etapas fenológicas de la ciruela mexicana y en conjunto con las condiciones climáticas es útil para desarrollar tecnológicas en el manejo agronómico de la especie.

Key words: fenología, BBCH, etapas de crecimiento, unidades calor.

2.2 INTRODUCCIÓN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es un frutal nativo de Centroamérica y sureste de México, con poblaciones tanto de estación seca como húmeda (Duarte y Paull, 2015). Se le conoce también como jocote, abal, jobos, entre otros, pertenece a la familia de las Anacardiaceae,

y es apreciado por las características organolépticas de los frutos que produce (Avitia et al., 2003). Fortuny-Fernández et al. (2017) indican que *Spondias purpurea* es originaria de la región oriente de México (Jalisco, Nayarit y Michoacán) y los centros de diversidad genética son la Depresión del Balsas y la Península de Yucatán. Arce-Romero et al. (2017) indican que actualmente en México la ciruela mexicana se distribuye predominantemente en la vertiente del Pacífico, centro de Veracruz y Península de Yucatán. La ciruela mexicana se distribuye desde México hasta Perú y Brasil, y recientemente se reporta su introducción en algunos países de Asia y África (Sollano-Mendieta, 2021). Algunos autores sugieren más de 20 variedades de ciruela mexicana en el área costera del Golfo de México (Avitia et al., 2003), mientras que Cruz y Rodríguez (2012) mencionan 56 variedades de los estados de Morelos, Guerrero, Jalisco, Veracruz y Yucatán, lo anterior indica una gran diversidad de variedades de esta especie en México.

El fruto de la ciruela mexicana es una drupa de 1.3 a 4.2 cm de diámetro y entre 2.0 y 4.6 cm de largo, con peso entre 3 y 43.2 g, el epicarpio del fruto es delgado, liso y semiliso, con colores que van desde el verde, amarilla, roja, naranja, café rojizo, morada y purpura (Alia-Tejacal et al., 2012, Maldonado et al., 2017; Alvarez-Vargas et al., 2017). Koziol y Macia (1998) indican que el fruto que aporta alto nivel calórico (108 Kcal 100 g⁻¹), alta concentración de carbohidratos (19 %), K y Ca (250 y 40 mg 100g⁻¹). Recientemente se ha reportado que contiene fenoles, flavonoides, carotenoides, antocianinas y vitamina C los cuales correlacionan positivamente con la actividad antioxidante (Solorzano et al., 2015; Alvarez-Vargas et al., 2017). Lo cual es importante ya que existen numerosos estudios clínicos y epidemiológicos donde se relaciona de forma inversa el contenido de fitoquímicos con la disminución de enfermedades de tipo neurodegenerativas, cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Yahia et al., 2018).

Hay dos tipos de ciruela, las de clima seco que se cosechan en abril a junio y las de época húmeda que se cosechan de septiembre a diciembre (Avitia et al., 2003). La ciruela mexicana es

una planta dioica, caducifolia y en cultivo solo se encuentran las plantas femeninas (Avitia y Castillo, 2007). Las inflorescencias son racimosas sub-paniculadas y se ubican en las axilas de las hojas, sobre ramillas que crecieron el año anterior. Las flores masculinas son hipóginas, con cuatro a seis sépalos, cuatro a seis pétalos de color rosa, roja o amarilla verdoso; nueve estambres y un ovario subdesarrollado de cuatro a seis carpelos. Las flores femeninas son semejantes a las masculinas, excepto que sus estigmas contienen células papilares y las anteras no contienen polen (Avitia et al., 2007). Los frutos que produce son drupas, con una epidermis delgada, un mesocarpo carnoso y jugoso de sabor agradable y un endocarpio fibroso y sin semillas, de color verde cuando es inmaduro y al avanzar su madurez fisiológica alcanza varias tonalidades, es altamente perecedero una vez cosechado tiene una vida útil entre 4 y 6 d (Vargas-Simón, 2018; Maldonado-Astudillo et al., 2014). Romero-Hinojosa et al., 2021).

La fenología de las plantas es probablemente el indicador más confiable para analizar la respuesta de las especies cultivadas a la variabilidad del clima, además provee de señales de expresión fisiológica en las plantas en respuesta a el cambio climático (Kishore, 2019). Las etapas fenológicas en las plantas pueden ser descritas utilizando la escala Biologische Bundesamt, Bundesrussortnamt, and Chemistie Industrie (BBCH), esta escala generalmente consiste de 10 etapas principales (0-9) las cuales se dividen en 10 etapas secundarias de crecimiento (0-9); y en algunos cultivos se ha extendido hasta tres dígitos (Liu et al., 2015). Recientemente se ha utilizado la escala BBCH extendida en varios frutales tropicales como saramuyo (Liu et al., 2015), chicozapote (Kishore y Mahanti, 2016), rambután (Muhamed y Kurien, 2017), yaca (Kishore, 2018), mangostán (Awachore y Upetri, 2019), marañon (Adiga et al., 2019) zarzamora india (Kishore, 2019) y pitahaya (Chu y Chang, 2022), principalmente para estandarizar la descripción de las etapas fenológicas, además se ha incluido el uso de las unidades calor ya que aumenta la

eficiencia al incrementar su acumulación y alcanzar determinadas etapas de desarrollo (Monteiro et al., 2021).

El desarrollo de tecnologías para una precisa y estandarizada descripción de las etapas fenológicas en ciruela mexicana es esencial para la investigación, programas de mejoramiento, caracterización y conservación de germoplasma, y el manejo del cultivo. Actualmente se han realizado algunas descripciones fenológicas generales de la ciruela mexicana de clima seco (Salazar y Becerra, 1994) y de clima húmedo (Álvarez et al., 2019), sin embargo no se han realizado descripciones detalladas de las etapas fenológicas como desarrollo de brotes vegetativos, floración, desarrollo del fruto, maduración del fruto y senescencia lo cual es esencial para alcanzar un mejor rendimiento y mejor calidad del fruto debido a que el desarrollo de algunas prácticas agronómicas (caída de fruto, riego, nutrición, manejo de plagas, entre otros) se apoyan en el reconocimiento de fases fenológicas específicas. El objetivo del presente trabajo fue aplicar la escala BBCH en tres ecotipos de ciruela mexicana para determinar su utilización para describir la fenología, relacionada con las condiciones ambientales donde se cultiva, para en el futuro poder utilizarla para mejorar su manejo agronómico.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fenológico se realizó en árboles de 40 años de edad, establecidos en la Col. Adolfo López Mateos, Tepalcingo (18° 39'42' LN, 98° 55' 28'' LO) a una altitud de 1160 m, con un clima cálido subhúmedo (García et al., 1987), una temperatura promedio de 22.5 °C y 840 mm de precipitación anual (Díaz et al., 2008). Se realizaron visitas periódicas para observar sus cambios fenológicos.

Se evaluaron los ecotipos de ciruela mexicana seleccionados de trabajos anteriores denominados ‘Morada’, ‘Roja’ y ‘Amarilla’. En tres árboles de cada ecotipo se seleccionaron 5 a 10 ramas de características similares en diámetro y en cada rama se realizaron las evaluaciones. Se utilizó la escala BBCH, con la finalidad de llevar un registro semanal de las etapas fenológicas. En las observaciones fenológicas se utilizaron 8 de las 10 etapas principales propuestas por la BBCH, iniciando con la etapa 0: desarrollo de yemas vegetativas, 1: desarrollo hojas, 3: desarrollo del brote vegetativo, 5: desarrollo reproductivo, 6: floración, 7: desarrollo del fruto 8: maduración del fruto y 9: senescencia. La escala BBCH consiste en un sistema donde se evalúan las etapas principales de crecimiento, las cuales están divididas en etapas secundarias que corresponden a intervalos cortos de desarrollo que están unidos a puntos específicos en el tiempo (Meier et al., 2009). El primer dígito de la escala BBCH corresponde a la etapa principal de crecimiento, y su intervalo es de 0 a 9; el segundo dígito es un valor numérico entre 0 y 9 que refleja el porcentaje de crecimiento de las yemas, hojas, brotes, yemas florales, panícula, desarrollo del fruto, madurez del fruto y senescencia (Meier et al., 2009; Liu *et al.*, 2015). Se tomaron fotografías para ilustrar las principales etapas fenológicas para establecer un muestrario gráfico de la fenología.

Se realizó un registro de la temperatura, humedad relativa (HR) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) en las huertas colocando un data logger (MX2302 y MX2202, Hobo®, EUA) durante el periodo de trabajo. Los datos obtenidos se presentaron mediante descripción de las etapas fenológicas a través del ciclo de producción asociándolo a las condiciones ambientales. Con los datos de temperatura se calculó las unidades calor UCA) acumulados en varias etapas fenológicas, utilizando la siguiente fórmula

$$UCA = \sum_{i=1}^n \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b$$

Donde UCA son las unidades calor, Tmax es la temperatura diaria máxima del aire (°C), Tmin es la temperatura diaria mínima del aire (°C); Tb es la temperatura base (°C) y n es el número específico de crecimiento de la etapa fenológica. La temperatura base de la ciruela no se tiene reportada, pero se tomó la indicada para mango por Monteiro et al. (2019).

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las etapas de BBCH observadas

Los resultados de las observaciones fenológicas en las tres variedades de ciruela mexicana ayudaron a identificar siete etapas de crecimiento principales de las 10 propuestas en la escala BBCH. Además 45 etapas secundarias fueron identificadas en las tres variedades de ciruela mexicana (Cuadro 1, Figuras 1 y 2).

Las etapas principales determinadas fueron: 0 desarrollo de yemas vegetativas, 1: desarrollo de hojas, 3: crecimiento longitudinal de brotes terminales, 5: aparición del órgano floral, 6: floración, 7: formación del fruto, 8: maduración del fruto y 9: senescencia y comienzo del reposo vegetativo (Meier et al., 2009), con cinco a seis etapas secundarias en cada etapa principal. A continuación, se describen las etapas.

Etapas principales de crecimiento 0: etapa desarrollo de yemas vegetativas.

El desarrollo de las yemas vegetativas inicia durante la etapa final del crecimiento del fruto, se observa un hinchamiento de las yemas vegetativas para formar los primordios de hoja las cuales se diferencian en hojas a través de las etapas de desarrollo. La iniciación de la yema ocurre durante abril para los ecotipos ‘Roja’ y ‘Morada’ y en mayo para el ecotipo ‘Amarilla’, justo al finalizar la maduración de los frutos (Figura 3). Se detectó solo un flujo en el año.

010. Las yemas vegetativas se mantienen latentes (Figura 1).

011. Las yemas vegetativas inician a hincharse mostrando unas protuberancias escamosas color café (Figura 1).

013. Las yemas vegetativas finalizan el hinchado observándose tejidos café oscuro sin romper epidermis de rama (Figura 1).

017. Inicia el crecimiento del brote vegetativo color verde rojizo o amarilla (Figura 1).

019. El final de esta etapa se observa las hojas en el brote vegetativo sin expandirse (Figura 1).

Etapa principal de crecimiento 1: desarrollo de hojas

El desarrollo de los primordios de hojas fue visible después de que las escamas de la yema se cayeron, posteriormente las hojas se desarrollaron pasando por varias etapas. El desarrollo de las hojas se realizó en paralelo con el desarrollo del brote vegetativo, esta etapa tuvo una duración de 20 semanas de mayo a agosto.

110. Las primeras hojas se separan y empiezan a crecer (Figura 1).

111. Los primeros folíolos están desplegados y se tornan de un color verde claro (Figura 1).

113. Mas hojas desplegadas: las hojas alcanzan 30 % de su tamaño final (Figura 1).

115. Mas hojas desplegadas: las hojas alcanzan el 50 % de su tamaño final y tienen un color verde intenso (Figura 1).

117. Todas las hojas están desplegadas: las hojas alcanzan el 70 % de su tamaño final (Figura 1).

119. Todas las hojas están maduras, los folíolos están totalmente desplegados y de color verde intenso (Figura 1).

Etapa principal de crecimiento 3: desarrollo del brote

El desarrollo del brote vegetativo ocurre a la par del crecimiento de la hoja, y ocurre al final del crecimiento y maduración del fruto. El crecimiento del brote se realiza de mayo a septiembre, en total tarda 20 semanas en realizarse y se divide en las siguientes fases:

310. El brote conteniendo las hojas con sus folíolos empieza a crecer (Figura 1).

311. El brote conteniendo las hojas alcanza el 10 % de su tamaño final, las hojas son de color verde pálido e inmaduras (Figura 1).

313. El brote vegetativo alcanza el 30 % de su tamaño final y emite nuevas hojas compuestas (Figura 1).

315. El brote vegetativo conteniendo las hojas alcanza el 50 % de su tamaño final y continúa emitiendo hojas compuestas en el ápice del brote (Figura 1).

317. El brote conteniendo las hojas alcanza el 70 % de su tamaño final, las hojas basales empiezan a madurar y la última hoja del ápice comienzan a desarrollarse (Figura 1).

319. El brote conteniendo las hojas alcanza el 90 % de su tamaño final o más, todas las hojas son color verde intenso y maduras (Figura 1).

Etapas principales de crecimiento 5: aparición del órgano floral

En ciruela mexicana, las flores emergen en la base de la cicatriz de las hojas del año en curso. Los primordios de las flores se observan entre diciembre en los ecotipos 'Morada' y 'Roja' y febrero en el ecotipo 'Amarilla'. El desarrollo inicial de la inflorescencia de ciruela mexicana se caracteriza por un crecimiento del pedúnculo y el desarrollo de cinco sépalos coriáceos y cinco pétalos delgados de color rojo o amarillo. Cuatro semanas son necesarias desde la aparición de la yema floral hasta la antesis y comprende las siguientes etapas:

511. La yema reproductiva está hinchada y es visible el color rojo o amarillo de la epidermis de la rama (Figura 1).

512. La yema reproductiva finalizó su crecimiento y se observa la inflorescencia (Figura 1).
513. La inflorescencia comienza a crecer y se empiezan a separar las florecillas que la componen (Figura 1).
515. La inflorescencia 50% extensión final de su tamaño final se observa el pedúnculo color roja o amarilla y los sépalos se mantienen cerrados (Figura 1).
517. La inflorescencia alcanza el 70% extensión se observa tonos verdes del pedúnculo y los sépalos muestran sus bordes (Figura 1).
519. La inflorescencia alcanza el total de su extensión final, el pedúnculo es color verde y definidas los sépalos y su próxima apertura (Figura 1).

Etapa principal de crecimiento 6: floración

La floración de la ciruela mexicana ocurre después de la abscisión de las hojas y el reposo de las yemas vegetativas, generalmente en enero en los ecotipos ‘Roja’ y ‘Morada’ y en febrero en ‘Amarilla’. Las flores de la ciruela de las variedades evaluadas son femeninas, el gineceo se observó con cuatro a cinco estigmas, cinco sépalos color roja o amarilla, cinco pétalos de un tono más ligero roja o amarilla. Avitia et al. (2003) indica que las ciruelas mexicanas son plantas dioicas, pues, aunque las flores son morfológicamente hermafroditas, fisiológicamente son unisexuales. Las flores alcanzan la antesis en 30 días, durante ese período pasan por las siguientes etapas.

610. Inicia la apertura floral, los pétalos de la flor apical inician su apertura (Figura 1).
611. La flor principal tiene una apertura total y se observan los estigmas expuestos (Figura 1).
613. El 30 % de las flores de la inflorescencia se encuentra abiertas (Figura 1).
615. El 50 % de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas (Figura 2).
617. El 70 % de las flores de las inflorescencias se encuentran abiertas (Figura 2).

619. Todas las flores de la inflorescencia están abiertas y se observa caída de los pétalos y sépalos (Figura 2).

Etapas principales de crecimiento 7: formación del fruto

El crecimiento del fruto de ciruela mexicana de clima seco tarda entre 70 y 90 días dependiendo de la variante, condiciones climáticas y manejo agronómico (Salazar y Becerra, 1994; Cancino-Labra et al., 2022a). El tipo de crecimiento es doble sigmoideal (Cancino-Labra et al., 2022), similar a la ciruela de clima húmedo es del tipo doble sigmoideal (Alvarez-Vargas et al., 2019). El diámetro y peso del fruto se incrementa constantemente durante 30 a 45 días y existe un periodo de lento crecimiento para posteriormente acelerar nuevamente su crecimiento hasta los 90 días; la acidez titulable y la respiración alcanzan un máximo a mitad del crecimiento del fruto en tanto que los sólidos solubles totales disminuyen constantemente (Cancino-Labra et al., 2022a). Los ecotipos ‘Morada’ y ‘Roja’ alcanzan el máximo crecimiento en abril y el ecotipo ‘Amarilla’ en junio. Las etapas de desarrollo del fruto se detallan a continuación.

710. El fruto derivado de la flor apical inician el hinchado del ovario el estigma es seco y las anteras ya han caído (Figura 2).

711. Los sépalos y pétalos han caído totalmente y se observan el estilo como una pequeña espina, el frutillo tiene una coloración verde rojiza o verde amarillenta (Figura 2).

713. Los frutos alcanzan el 30 % del tamaño final y predomina el color verde se observan las cicatrices del estigma (Figura 2).

715. Los frutos alcanzan 50 % del tamaño final son de color verde las cicatrices del estigma son menos perceptibles (Figura 2).

717. Los frutos alcanzan 70 % del tamaño final del fruto son de color verde (Figura 2).

719. Los frutos alcanzan el 90 % del tamaño final del fruto y se observa cambio de color verde a tonos rojas, moradas o amarilla (Figura 2).

Etapa principal de crecimiento 8: maduración del fruto

La madurez fisiológica de la ciruela mexicana de los ecotipos ‘Roja’, ‘Morada’ y ‘Amarilla’ se alcanzó aproximadamente a los 90 días después del cuajado del fruto (Figura 2). Esta fenofase es 2.6 veces más corta en las ciruelas mexicanas que las ciruelas de clima húmedo. La madurez fisiológica se alcanza en los meses de abril a junio, en dependencia del ecotipo, en esta etapa se alcanza las mejores características de color, sabor y aroma del fruto. El fruto de ciruela mexicana llega a madurez de consumo en el árbol (en 14 días aproximadamente) y cuando se cosecha alcanza su madurez de consumo en 5-7 días (Cancino-Labra et al., 2022b). Las fases de maduración en el árbol se describen a continuación.

811. El fruto de ciruela mexicana alcanza su máximas dimensiones y se observa cambio de color en la epidermis del fruto, rojizo o amarilla (Figura 2).

813. El fruto muestra un 30 % de desarrollo del color final del fruto (Figura 2).

815. El fruto alcanza el 50 % del color final del fruto (Figura 2).

817. El fruto alcanza el 70 % del color final del fruto (Figura 2).

819. El fruto alcanzo el 90 % del color del fruto y está completamente maduro (Figura 2).

Etapa principal de crecimiento 9: senescencia y comienzo del reposo vegetativo

Las ciruelas mexicanas después de que alcanzan el desarrollo total del brote vegetativo, las hojas que crecieron inicialmente empiezan un periodo de senescencia y entran en reposo. El reposo es de 30 días y ocurre en noviembre. El periodo de senescencia de las hojas presenta las siguientes etapas

911. Las hojas basales del brote vegetativo comenzaron a tornarse amarillas (Figura 1).
913. El 30 % de las hojas se tornaron amarillas y a caer (Figura 2).
915. El 50 % de las hojas se tornaron amarillas y existió mayor abscisión (Figura 2).
917. El 70 % de las hojas se tornaron amarillas y cayeron (Figura 2).
919. Casi todas las hojas del brote vegetativo cayeron y se alcanza el reposo (Figura 2).

Duración de las etapas y condiciones climáticas

Las unidades calor es una de las herramientas más comunes para investigar la relación entre temperatura y el crecimiento y desarrollo de las plantas, son generalmente utilizadas para predecir la presencia de las etapas de crecimiento en diferentes condiciones agroclimáticas además de predecir la producción, planear la cosecha y en programas de mejoramiento genético (Awacharem y Upetri, 2019).

En ciruela mexicana las principales etapas de crecimiento requirieron entre 222.8 (6: floración) y 1583 (9: senescencia) (Cuadro 2). Esta herramienta es importante para relacionar la temperatura con la maduración y predecir la etapas de maduración, así en el presente trabajo el crecimiento del fruto necesito 1129.8 y la maduración 884 UCA (Cuadro 2). Las ciruelas mexicanas de clima seco se distribuyen desde el nivel del mar hasta los 1500 m, por lo que existirán la variabilidad de las condiciones climáticas en dichas regiones, hace necesario utilizar las UCA como una herramienta para predecir las etapas en que ocurrirán la fenofases.

La ciruela mexicana de clima seco crece en temperaturas extremas desde -2 a 19 °C en la noche hasta 34 a 42 °C en el día (Pimienta-Barrios y Ramírez-Hernández, 2003) y se ha reportado que se cosecha en condiciones de temperaturas diurnas entre 25.7 y 43 °C y una humedad relativa entre 20 y 80 % (Maldonado et al., 2017). En el presente trabajo las temperaturas promedio estuvieron entre 14 y 36 °C en el periodo de evaluación (Figura 3), aunque se alcanzaron

temperaturas mínimas de 8 °C y máximas de 40 °C durante los meses de enero y abril, respectivamente, (datos no mostrados).

El inicio de la floración (510-519) y floración (610-610) ocurrió después del reposo, en los meses de enero y febrero, donde la precipitación es escasa, se tienen las temperaturas menores en promedio de todo el año (entre 20 y 22 °C), y las temperaturas mínimas son de entre 6 y 10 °C, por lo que este factor puede ser el responsable de la brotación y que exista diferentes requerimientos de estas bajas temperaturas entre ecotipos (Figura 3 y 4). En ese periodo la precipitación es escasa, la humedad relativa se mantiene entre 36 y 46 % y la PAR se incrementa entre 5200 y 6000 mmol m²s⁻¹ (Figura 3 y 4). Hernández-Martínez et al. (1999) en ciruelos silvestres indican que la iniciación floral ocurre en octubre y noviembre y dos meses después, la floración.

Después de la floración ocurrió el crecimiento (710-719) y maduración del fruto (810-819), en los meses de febrero a mayo en un periodo de 90 días (Figura 3). En ese periodo la precipitación es escasa aproximadamente entre 9 y 36 mm, solo en el mes de mayo se incrementa a 77 mm y es el ecotipo ‘Amarilla’ quien alcanza al final de su desarrollo la presencia de algunas lluvias. La PAR es la más alta del año entre 5661 y 7600 mmol m² s⁻¹ en los meses de marzo a mayo, y la humedad relativa se mantiene entre 32 y 50 % (Figura 3 y 4). Algo característico de la ciruela mexicana cultivada en climas cálidos, es el hecho de que los procesos de floración y fructificación (hasta madurez fisiológica) ocurren en ausencia completa de hojas (Salazar y Becerra, 1994).

El desarrollo vegetativo (010 – 019) y de hojas es paralelo (310 y 319), son las fenofases con mayor duración, 12 semanas aproximadamente en los meses de junio a septiembre, en ese periodo se presenta el periodo de lluvias en la región acumulándose entre 500 mm, la PAR es la menor durante el año, entre 1110 y 1256 mmol m² s⁻¹ y entre 80 y 90 % de HR (Figura 3 y 4). Salazar y Becerra (1994) reportan que el crecimiento de las hojas de ciruela mexicana es rápido

tienen un tipo de crecimiento doble sigmoideal (expresado en el peso seco y longitud), sugiriendo que es aquí cuando se presenta el periodo de diferenciación y crecimiento del sistema radical. En el presente estudio el periodo antes indicado puede presentarse en julio donde hay una disminución de la precipitación en la región (Figura 3; Díaz et al., 2008). Las diferencias en el tiempo entre las etapas reproductivas o vegetativas en la selva baja caducifolia se asocian con la humedad del suelo y los patrones de la precipitación (Pimienta-Barríos y Ramírez-Hernández, 2003).

Finalmente, la caída de hojas o etapa de senescencia (910-919) se presentó en octubre en la época donde la precipitación disminuye drásticamente (<100 mm), la humedad relativa empieza a disminuir 75 % y la PAR es de $2000 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Figura 3 y 4). El periodo de reposo (010) se observó en noviembre y parte de diciembre donde la precipitación es nula, la humedad relativa en promedio es de 50 % y la PAR es menor de $2300 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Figura 3 y 4). No se conocen las causas que ocasionan la defoliación y entrada en reposo de la ciruela mexicana, lo cual es común en especies de clima templado y es interpretada como un mecanismo de escape a las bajas temperaturas, la escasez de humedad, disminución de la temperatura y/o reducción de la longitud del día (Salazar y Becerra, 1994). Aún falta dilucidar esta parte en ciruela mexicana por que se han observado lluvias invernales y no se observan cambios morfológicos y fenológicos en los árboles, la dilucidación del efecto de los factores ya mencionados ayudaría a manejar la fenología de la ciruela en la optimización de las prácticas de manejo de los huertos (Salazar y Becerra, 1994).

Un buen entendimiento de la fenología de los cultivos es fundamental para el manejo más eficiente de los cultivos y la determinación de los eventos críticos en el ciclo de vida de un cultivo (Awacharem y Upetri 2019). La escala extendida BBCH descrita en este artículo provee de una comprensiva y detallada revisión de las etapas de desarrollo vegetativas y reproductivas de la ciruela mexicana y puede ser utilizada en el futuro para el manejo de las prácticas agronómicas con la finalidad de mejorar el rendimiento y calidad. Por ejemplo, se recomienda la realización de la poda

al finalizar la cosecha en la etapa 819, eliminando ramas inapropiadamente distribuidas, con crecimiento demasiado vigoroso y erecto, hacia abajo, ramas improductivas. También la fertilización se puede realizar en durante el desarrollo del brote (110-119) y hoja (310-319) que es cuando se realiza el mayor metabolismo de acumulación de reservas y probablemente de raíces, sin embargo, es necesario realizar más estudios para validar recomendaciones tecnológicas en esta especie.

2.5 CONCLUSIONES

La escala BBCH extendida se puede utilizar en ciruela mexicana de clima seco para describir las etapas fenológicas durante el año, lo que ayudara a los productores en el rendimiento, calidad y uso eficiente de plaguicidas y fertilizantes, ofreciendo beneficios económicos y ecológicos en el futuro.

2.6 LITERATURA CITADA

- Alia-Tejacal, I., Maldonado-Astudillo, Y.I., Núñez-Colín, C.A., Valdez-Aguilar, L.A., Bautista-Baños, S., García-Vázquez, E., Ariza-Flores, R., Rivera-Cabrera, F. 2012. Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. Revista Fitotecnia Mexicana 35: 21–26.
- Álvarez, J.E.V., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S.H., Colinas-León, M.T., Nieto-Ángel, I., Rivera-Cabrera, F., Aguilar-Pérez, L.A. 2017. Ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea* L.)

de clima húmedo y seco: calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante. *Interciencia*, 42 (19): 653-660.

Alvarez-Vargas, J.E., Alia-Tejacal, I., Chavez-Franco, S.H., Colinas-León, M.T., Rivera-Cabrera, D., Nieto-Ángel, A., Cruz L., Aguilar Pérez L.A., Pelayo, C.Z. 2019. Phenological stages and fruit development in the mexican plum ecotype 'Cuernavaqueña' (*Spondias purpurea* L.). *Fruits*, 74(4): 194-200.

Adiga, J.D., Muralidhara, B.M., Preethi, P., Savadi, S. 2019. Phenological growth stages of the cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 175: 246-252.

Arce-Romero, A.R., Monterroso-Rivas, A.I., Gómez-Díaz, J.D., Cruz-León, A. 2017. Mexican plums (*Spondias* spp.): their current distribution and potential distribution under climate change scenarios. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23: 5-19.

Avitia G.E., Castillo G.A.M., Pimienta B.E. 2003. Ciruela mexicana y otras especies del genero *Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 75 p.

Avitia, C.E., Castillo, G.A.M. 2007. Desarrollo floral en frutales. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, 142 p.

Awachare, C.M., Upetri, K.K. 2019. Phenological growth stages in mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology* 176: 16-25.

Cancino-Labra, S., Alia-Tejacal, I., Pérez-Arias, G.A., Villarreal-Fuenes, J.M., Juárez-López, P., Terán-Erazo, B. 2022 a. Cambios físicos, químicos y fisiológicos durante el crecimiento de tres ecotipos de ciruela Mexicana (*Spondias purpurea* L.). *Agrociencia*.

- Cancino-Labra, S., Alia-Tejagal, I. Pérez-Arias. G.A., Villarreal-Fuenes, J.M., Juárez-López, P., Terán-Erazo, B. 2022 b. Poscosecha de tres ecotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) cosechados en dos etapas de maduración. Revista Chapingo Serie Horticultura.
- Chu, Y.C., Chang, J.C. 2022. Codification and description of the phenological growth stages of red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) using the extended BBCH scale- with special reference to spines, areole, and flesh color development under field conditions. Scientia Horticulturae 293: 110752.
- Cruz, L.A., Rodríguez, H.B. 2012. Cultivo. In: Jocotes, jobos, abales o ciruelas Mexicana, Cruz, L.A., Pita, D.Á., Rodríguez, H.B. (eds.) Universidad Autónoma Chapingo, pp: 77-101.
- Díaz, P.G., Serrano, A.V., Ruíz, C. J.U., Ambriz, C.R., Cano, G.M.G. (2008). Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Morelos (período 1961-2003). Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental, Zacatepec. INIFAP. Libro Técnico Núm. 3. 155 p.
- Duarte, O., Paull, E.R. 2015. Exotic fruits and nuts of the new world. CABI. 332 p.
- Fortuny-Fernández, N. M., Monserrat, M. F., Ruenes-Morales, M. del R. 2017. Centro de origen, domesticación y diversidad genética de la ciruela mexicana, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). Acta Botánica Mexicana 121: 7.38.
- García, E. 1987. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM.
- Hernández-Martínez, A., Avitia-García, E., Castillo-González, A.M. 1999. Desarrollo floral en ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 5(1): 45-49.

- Kozioł, M.J., Macía, M.J., 1987. Chemical composition, nutritional evaluation, and economic prospects of *Spondias purpurea* (ANACARDIACEAE). *Economic Botany* 52(4): 373-380.
- Kishore, K., Mahanti, K.K. 2016. Codification and description of phenological growth stages of sapota (*Manilkara zapota*) according to the extended BBCH scale. *Scientia Horticulturae* 211: 431-439.
- Kishore, K. 2019. Phenological growth stages and heat unit requirement of Indian blackberry (*Syzygium cumino* L., Skeels). *Scientia Horticulturae* 249: 455-460.
- Kishore, K. 2018. Phenological growth stages of jackfruit (*Artocarpus heterphyllus*) according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology* 173(3): 366-374.
- Liu, K., Li, H., Yuan, C., Huang, Y., Chen, Y., Liu, J. 2015. Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH scale. *Scientia Horticulturae* 181: 76-80
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, C. A., Jiménez-Hernández, J., Pelayo-Zaldívar, C., López-Martínez, V., Andrade-Rodríguez, M., Bautista-Baños, S., Valle-Guadarrama, S. (2014). Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae*, 174: 193-206.
- Maldonado, A.Y.I., Alia, T.I., Núñez-Colín, C.A., Jiménez, H.J., López, M.V. 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.
- Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., HeB, M., Lancashire, P.D., Schnock, U., StauB, R., van der Boom, T., Weber, E., Zwerger, P. 2009. The BBCH system to coding

- the phenological growth stages of plants-history and publications. *Journal Für Kulturpflanzen* 61(2): S.41-52.
- Monteiro, V.F.C., Goncalves, E.D., Moura, P.H.A., Silva, L.V., Martins, F.B., Norberto, P.M. 2021. Phenological stages of the ‘Paluma’ guava tree in a region of subtropical climate according to the BBCH scale. *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias* 16(3): e177.
- Muhamed, S, Kurien, S. 2017. Phenophases of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) base don extended BBCH-scale for Kerala, India. *Current Plant Biology* <http://dx.doi.org/10.1016/j.cpb.2017.10.001>
- Pimienta-Barrios, E., Ramírez-Hernández, B. (2003). Phenology, growth and response to light of ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L., Anacardiaceae). *Economic Botany* 57(4): 481-490.
- Romero-Hinojosa, B.M., Arzate-Bolaños, J.J., Alia-Tejacal, I., Alvarez-Vargas, J.E., Pérez-Arias, G.A., Galindo-García, D.V., Guillén-Sánchez, D. 2021. Postharvest of four ecotypes of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) grown in Morelos, Mexico. *Current Topics in Agronomic Science* 1(1): 21-29.
- Salazar, S. G., Becerra, E. B. (1994). Fenología y dinámica nutrimental en hojas de ciruela mexicana. *Rev. Fitotec. Mex.* 17: 86-93.
- Sollano-Mendieta, X.C., Meza-Márquez, O.G., Osorio-Revilla, G., Téllez-Medina, D.I. (2021). Effect of In vitro digestion on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of 12 plum (*Spondias purpurea* L.) ecotypes. *Foods*, 10 1995. <https://doi.org/10.3390/foods10091995>
- Solorzano, M.S., Alia-Tejacal, I., Rivera-Cabrera, F., López-Martínez, V., Pérez-Flores, L. J., Pelayo-Zaldívar, C., Guillén-Sánchez, D., León-Sánchez. D. de L., Maldonado-Astudillo,

- Y. I. (2015). Quality attributes and functional compounds of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits* 70(5): 261-270.
- Vargas-Simón, G. 2018. Ciruela/Mexican Plum – *Spondias purpurea* L. In: Exotic Fruits. Reference Guide. Rodrigues, S., Silva, E.O., Brito, E.S. (Eds.) pp: 141-152. Academic Press
- Yahia, E.M., Maldonado, C.M.E., Svendsen, M. 2018. The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. In: Yahia, E.M. (ed.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, pp: 3-52. Wiley Blackwell.

Cuadro 1. Descripción de las etapas fenológicas en ciruela mexicana.

Escala BBCH	Descripción
<i>Estadio principal de crecimiento 0: desarrollo de yemas vegetativas</i>	
010	Brotos vegetativos latentes
011	Comienzo del hinchado de yemas foliares
013	Fin del hinchado de yemas foliares
017	Comienzo de la brotación
019	Fin de la brotación
<i>Estadio principal de crecimiento 1: desarrollo de hojas</i>	
110	Primeras hojas separadas
111	Primeras desplegadas
113	Mas hojas desplegadas: foliolos al 30% de su tamaño final
115	Mas hojas desplegadas: foliolos al 50% de su tamaño final
117	Mas hojas desplegadas: foliolos al 70% de su tamaño final
119	Todas las hojas desplegadas: foliolos totalmente desplegados
<i>Estadio principal de crecimiento 3: crecimiento longitudinal de los brotes terminales</i>	

310	Comienzo de la extensión del brote
311	10% de la longitud final del brote
313	30% de la longitud final del brote
315	50% de la longitud final del brote
317	70% de la longitud final del brote
319	90% o más de la longitud final del brote
<i>Estadio principal de crecimiento 5: aparición del órgano floral</i>	
511	Comienzo de hinchamiento de yemas reproductivas
512	Fin del crecimiento de la yema reproductiva
513	Comienzo del desarrollo de la inflorescencia
515	50% extensión final de inflorescencia
517	70% extensión final de inflorescencia
519	Fin de la extensión de la inflorescencia
<i>Estadio principal de crecimiento 6: floración</i>	
610	Inicia apertura floral
611	10% flores abiertas
613	30% flores abiertas
615	50% flores abiertas
617	70% flores abiertas
619	Fin de la floración
<i>Estadio principal de crecimiento 7: formación del fruto</i>	
710	Inicia el hinchado del ovario
711	Ovario en crecimiento
713	30% del tamaño final del fruto
715	50% del tamaño final del fruto
717	70% del tamaño final del fruto
719	90% del tamaño final del fruto
<i>Estadio principal de crecimiento 8: maduración del fruto</i>	
811	Comienzo de la maduración del fruto
813	Desarrollo del color avanzado
815	Madurez avanzada
817	Maduración avanzada
819	Fruta completamente madura
<i>Estadio principal de crecimiento 9: senescencia y comienzo del reposo vegetativo</i>	
911	Inicio de decoloración y caída de hojas
913	30% de las hojas decoloradas o caídas
915	50% de las hojas decoloradas o caídas
917	70% de las hojas decoloradas o caídas
919	Todas las hojas caídas



Figura 1. Descripción de etapas fenológicas en ciruela mexicana.



Figura 2. Continuación descripción de etapas fenológicas en ciruela mexicana.

Cuadro 2. Días y unidades calor necesarios para completar cada etapa fenológica en ciruela mexicana durante un ciclo agrícola.

Etapa fenológica	Días	UCA
Desarrollo de yemas vegetativas (010-019)	36	560.1
Desarrollo de hojas (110-119)	84	1181.55
Crecimiento longitudinal de los brotes terminales (310-319)	84	1181.55
Aparición del órgano floral (510-519)	29	334.4
Floración (610-619)	22	222.8
Desarrollo del fruto (710-719)	92	1129.8
Maduración del fruto (810-819)	36	583.58
Senescencia y comienzo del reposo vegetativo (910-919)	133	1583.9

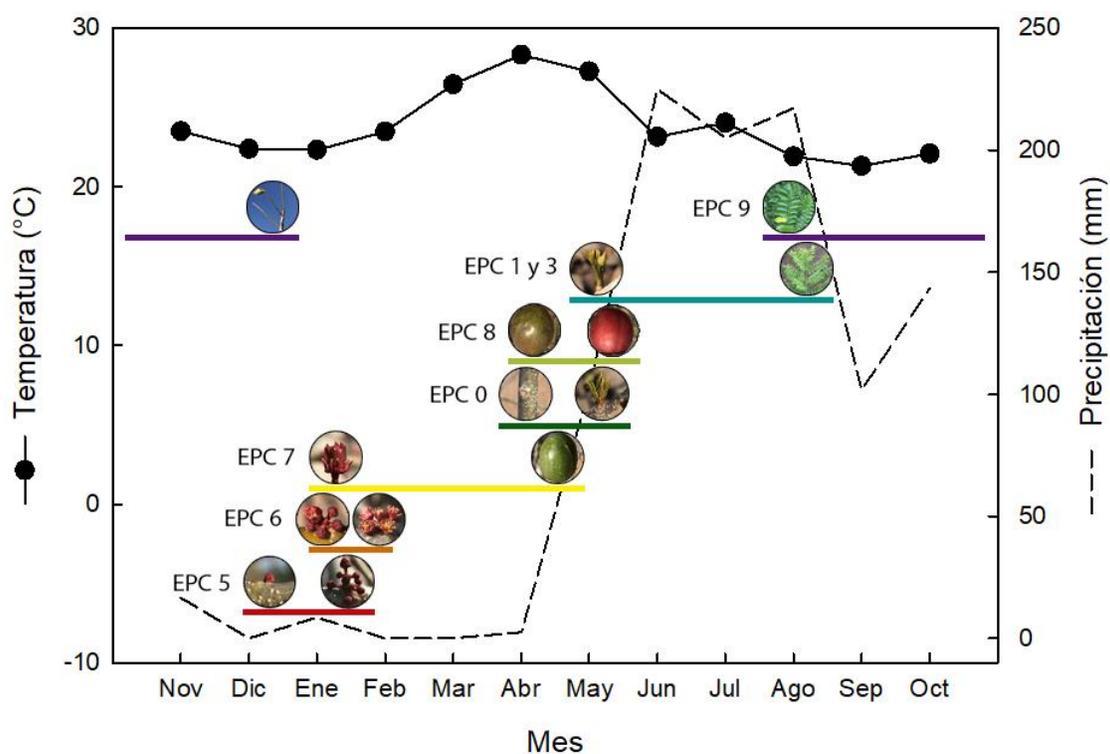


Figura 3. Etapas fenológicas de ciruela mexicana y su relación con la temperatura y precipitación.

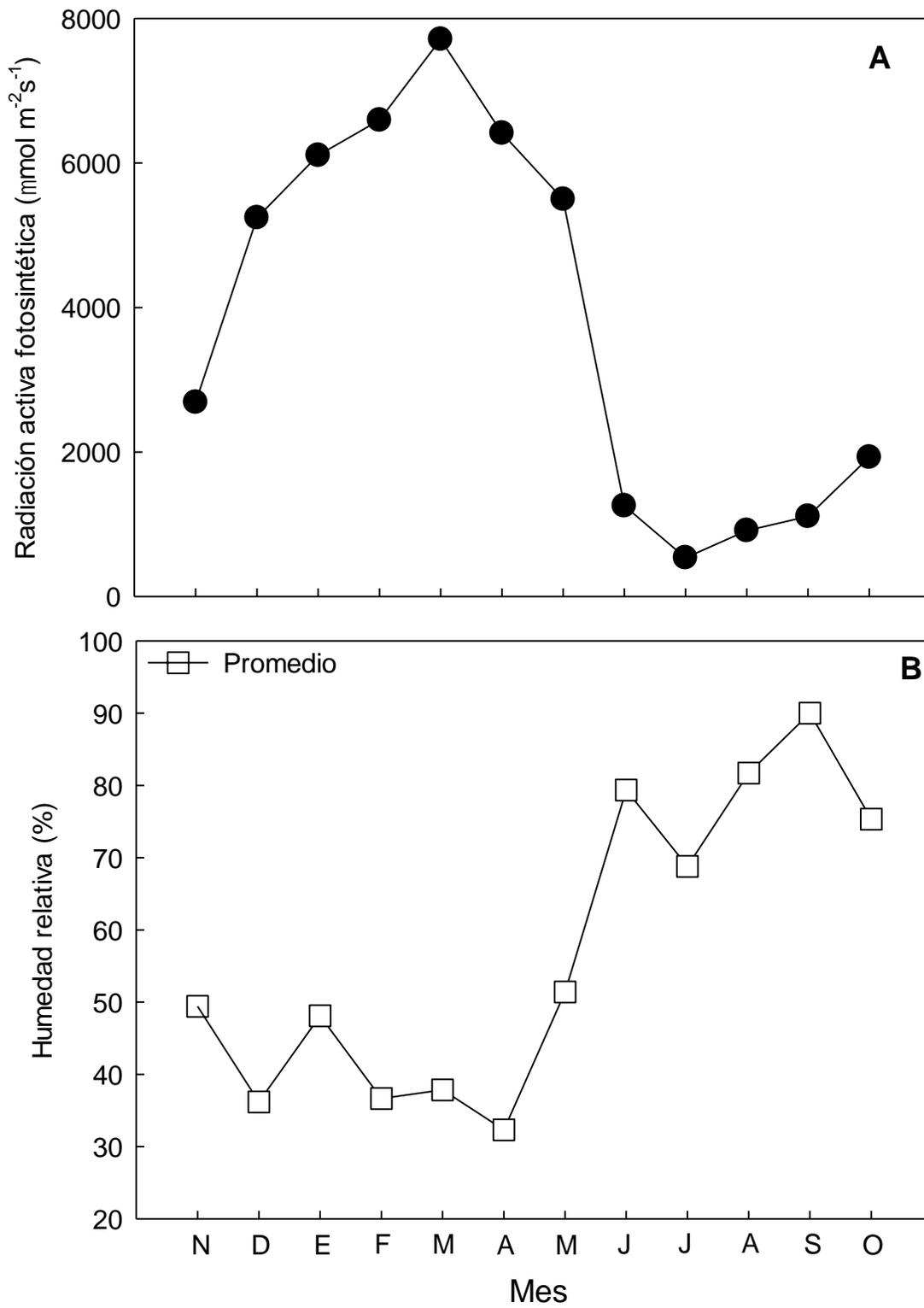


Figura 4. PAR y humedad relativa en el área de estudio de ciruela mexicana.

CAPÍTULO III

Crecimiento de frutos en tres variedades de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) de clima seco.

3.1 RESUMEN

La ciruela mexicana es un árbol frutal ampliamente distribuido y apreciado por los habitantes del trópico seco y húmedo en México, el fruto es consumido principalmente en fresco en la temporada de producción debido a sus características organolépticas. En Morelos, se tiene amplia diversidad de ciruelas mexicanas de las cuales se desconoce los cambios que ocurren durante el crecimiento del fruto, por lo que en el presente trabajo se determinaron algunos cambios físicos, químicos y fisiológicos en esta etapa del árbol. Durante 2020 se seleccionaron árboles de tres variedades de ciruela mexicana: ‘Morada’, ‘Roja’ y ‘Amarilla’, y durante el cuajado de fruto se iniciaron colectas de frutos, las cuales fueron cada 15 días, hasta que alcanzaron la madurez fisiológica. Los resultados indican que la respiración es alta en el cuajado ($15 - 36.2 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), posteriormente disminuye ($2.1-4.2 \text{ mLkg}^{-1}\text{h}^{-1}$), observándose un máximo entre los 30 y 60 días de crecimiento del fruto ($9.3-17.5 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) y en madurez fisiológica fue baja ($1.5-3.7 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$). Los sólidos solubles disminuyeron constantemente en las tres variedades de $10.7 - 14.0$ °Brix en el cuajado a $6-7.3$ °Brix en madurez fisiológica. La acidez titulable mostró un máximo entre los 30 y 60 días ($2.1-2.7$ %) y en madurez fisiológica disminuyó significativamente ($0.46-1.0$ %). El índice de sabor fue mayor en ‘Amarilla’ (12.2) que en ‘Morada’ y ‘Roja’ (7-8). La mayores dimensiones y masa fueron en ‘Morada’ y ‘Roja’ comparada con ‘Amarilla’. En tanto que ‘Amarilla’ mostró mayor luminosidad y cromaticidad. Los resultados indican que el crecimiento en las tres variedades de ciruela mexicana tiene un periodo de aproximadamente 90 días, de tipo

doble sigmoidal, y la acidez titulable, el índice de sabor, el diámetro polar, la luminosidad y la cromaticidad ayudan a diferenciar las variedades.

Palabras clave: Fruto, crecimiento, glucosa, respiración, índice de sabor.

3.2 INTRODUCCIÓN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea*) es un árbol frutal que se distribuye en la selva baja caducifolia, desde México hasta Brasil y actualmente se reporta en países de Asia y África (Sollano, 2021). Se considera que su centro de origen es México, teniendo como áreas de dispersión el Balsas en la región oriente del país (Jalisco y Michoacán) y la Península de Yucatán (Fontuny-Hernández et al., 2017). En México, actualmente se distribuye en las regiones del Golfo, el Pacífico y la Península de Yucatán, pero es amenazado por las condiciones de cambio climático (Arce-Romero et al., 2017).

En México la ciruela mexicana se encuentra como cultivo en huertas formales de producción y como integrante importante de los huertos familiares o de manera silvestre. Existen dos tipos de ciruela mexicana: a) las que florecen a finales de diciembre a mediados de febrero y se cosechan de finales de marzo a inicios de junio y se conocen como de “estación seca”, b) las ciruelas de “estación húmeda”, las cuales florecen de febrero a marzo y se cosechan de septiembre a octubre (Avitia et al., 2003; Alvarez-Vargas et al., 2019). En México durante 2019 se reportaban establecidas 9, 828.95 ha con un valor de producción de 355, 187.5 miles de pesos y un rendimiento promedio de 5.6 t ha⁻¹, donde los principales estados productores son Chiapas (24.1 %), Jalisco (13.4 %), Puebla (12.6), Veracruz (8 %) y Guerrero (3.5 %) quienes en conjunto representan 62 % de la producción del país, y el resto se produce en otros 17 estados de la República (SIAP, 2021). Esta información estadística coincide con lo reportado por Avitia et al (2003) y Arce-Romero et al. (2017), quienes indican las principales zonas de cultivo y distribución de la especie en México.

Se indica una gran diversidad de variedades de ciruela, Avitia et al. (2003) mencionan que en el Golfo de México se encuentran hasta 20 variedades; pero estudios realizados por otros investigadores indican también una gran diversidad en la vertiente del Pacífico, por ejemplo, Cruz y Rodríguez (2012) al realizar colectas en cinco regiones biogeográficas, reporta al menos 12 variedades en cada zona.

El fruto de la ciruela mexicana es apreciado por sus características organolépticas, por el aporte de vitaminas, carbohidratos, pigmentos y antioxidantes (Maldonado-Astudillo et al., 2014). Durante el crecimiento y desarrollo de los frutos se observan cambios físicos, químicos y fisiológicos los cuales son gobernados por factores externos como la luz, temperatura, hidratación, además de reguladores hormonales y genéticos (López-Hernández et al., 2020). En ciruelas mexicanas de estación húmeda el periodo de crecimiento del fruto a partir del cuajado de fruto, es de 240 d, mostrando un crecimiento doble sigmoideal, existiendo disminución de fenoles totales, incremento de azúcares totales y carotenoides totales, además de modificaciones en la proporciones de las estructuras del fruto (Alvarez et al., 2019). En las ciruelas de estación seca se ha reportado en Brasil que la duración desde la antesis hasta la madurez fisiológica es de 124 días (Martins et al., 2003). En Nayarit, México se reporta que el periodo de crecimiento de la ciruela mexicana ‘Amarilla’ es de 70 d (Salazar y Becerra, 1994), pero escasos reportes han informado de los cambios en respiración, sólidos solubles totales, acidez titulable y el perfil de azúcares solubles durante esta etapa de crecimiento.

Los cambios físicos, químicos y fisiológicos son importantes conocerlos ya que son fundamentales para determinar aspectos de manejo agronómico que ayuden a mejorar la calidad pre y poscosecha de los frutos. Considerando lo anterior en el presente trabajo se evaluaron algunas variables que definen el desarrollo de frutos de tres variedades de ciruela mexicana cultivadas en

Morelos, México, con la finalidad de obtener información básica para el desarrollo de paquetes tecnológicos en la especie.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Tres árboles de ciruela mexicana de 40 años de tres variedades: ‘Roja’, ‘Morada’ y ‘Amarilla’, fueron seleccionados en la Col. Adolfo López Mateos en Tepalcingo, Morelos (18° 39’42’ LN, 98° 55’ 28” LO) a una altitud de 1160 msnm, con un clima cálido subhúmedo (García et al., 1987), una temperatura promedio de 22.5 °C y 840 mm de precipitación anual (Díaz et al., 2008).

En cada árbol se seleccionaron cinco ramas a partir del mes de noviembre y diciembre de 2020, cuando se observó el desarrollo de la yema reproductiva y posteriormente en enero y febrero de 2021 las flores y la etapa de antesis. En febrero y marzo se registraron y cosecharon frutos cuajados y se trasladaron al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, donde se realizaron las evaluaciones de algunas variables físicas, químicas y fisiológicas. Durante el periodo de febrero a abril se realizaron colectas de entre 6 a 20 frutos por árbol. Los frutos se colocaban inmediatamente en bolsas de plástico y sobre hielo seco en una hielera, para posteriormente trasladarse vía terrestre al laboratorio. Las colectas de fruto se realizaron cada 15 días, desde el cuajado del fruto hasta la madurez fisiológica.

Una vez en el laboratorio, los frutos se colocaban en charolas de plástico y se dejaban 2 h a temperatura del laboratorio y se dejaba que perdieran el calor del campo. Posteriormente en los frutos se evaluó la respiración, las dimensiones y peso de fruto, el contenido de sólidos solubles

totales, la acidez titulable y parámetros de color, con las metodologías que a continuación se describen.

La respiración se determinó por el método estático (Salveit, 2016), para esto en recipientes de vidrio de 120 mL de capacidad fueron colocados de 2 a 5 frutos y se sellaban herméticamente durante 3 h, posteriormente se tomaba 1 mL del espacio de cabeza y se inyectaba en un cromatógrafo de gases Agilent® (Mod. 7890A, EUA) y se cuantificó la concentración de CO₂ y etileno. Las condiciones de la temperatura del inyector, horno y detectores fueron 150, 80 y 170 °C. Se utilizó nitrógeno como gas de arrastre. Para la cuantificación de los gases, se utilizó el método de calibración absoluta utilizando estándares de CO₂ (460 mg L⁻¹) y etileno (100 mg L⁻¹) de la empresa Praxair®. Los resultados se reportaron en mL kg⁻¹h⁻¹. con un detector de ionización de flama y otro de conductividad térmica.

En cada fruto se determinó el diámetro polar y el diámetro ecuatorial con la ayuda de un vernier (Thomas Scientific®, EUA) de 0.001 mm de sensibilidad. A cada fruto se le determinó su peso en una balanza digital (OHAUS®, EUA) de 0.01 g de sensibilidad. Posteriormente a cada fruto se le determinaron los parámetros de color Luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y matiz (h) en tres ocasiones con un espectrofotómetro portátil (X-rite® SP64, EUA) siguiendo la metodología de Neguerula (2012).

El contenido de sólidos solubles totales se determinó al tomar 1 g de tejido del fruto y homogenizarlo con 12 mL de agua destilada con un Ultraturrax T25 (IKA®, EUA) durante 40 s, posteriormente el homogenizado se filtró y centrifugó, posteriormente se tomaron tres gotas y se colocaron en un refractómetro (PAL-1®, ATAGO, Japón) y se registraron los datos en °Brix. A partir del filtrado se colocaron 5 mL en un vaso de precipitados y se le adicionaron 2 gotas de

fenolftaleína 1 % y se tituló hasta el vire de color con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N (Helrich, 1990). Con los resultados de sólidos solubles totales y acidez titulable se calculó el índice de sabor (Erkan y Dogan, 2020).

Los datos obtenidos del experimento fueron analizados por un análisis de varianza y comparación de medias, utilizando el software SigmaPlot V.14.0 (Sigma Plot, San Jose, Ca). Se presentan graficas elaboradas con este software y las comparaciones de medias.

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La respiración fue alta en el momento del cuajado en los tres ecotipos con valores de 36.2 mL kg⁻¹h⁻¹ en el ecotipo ‘Morada’ y entre 16.1 y 15.0 mL kg⁻¹h⁻¹ en ‘Roja’ y ‘Amarilla’ (Figura 5 A). Posteriormente, la respiración disminuyó drásticamente a 5.4 mL kg⁻¹h⁻¹ en ‘Amarilla’ y entre 2.1 y 4.2 mL kg⁻¹h⁻¹ en ‘Morada’ y ‘Roja’ (Figura 5 A). Se observó, un máximo en la respiración a los 30, 45 y 60 días en ‘Amarilla’, ‘Roja’ y ‘Morada’ y posteriormente la respiración disminuyó constantemente hasta valores entre 1.5 y 3.7 mL kg⁻¹h⁻¹ a los 90 días después del cuajado es decir la madurez fisiológica (Figura 5 A). La velocidad de respiración cambia a través de la vida de los frutos y es alta durante el desarrollo inicial (Salveit, 2019). Crane (1986) indica que durante el crecimiento de pistache la respiración se incrementa alcanzado un máximo cuando el fruto tiene el máximo desarrollo de la semilla y posteriormente disminuye. En el presente trabajo el máximo de respiración fue diferente en cada variedad y probablemente se asocie con el desarrollo del endocarpio del fruto. Sin embargo, en promedio no se detectaron diferencias significativas en la respiración entre las variedades (Figura 5 A)

Los sólidos solubles totales disminuyeron constantemente desde el cuajado hasta la madurez fisiológica, sin detectarse diferencias entre las variedades (Figura 5 B). Al inicio de las

evaluaciones la variedad 'Roja' mostró 14.4 °Brix, en tanto que 'Amarilla' y 'Morada' tenían entre 10.7 y 11.4 °Brix (Figura 5 B). Durante el desarrollo del fruto los sólidos disminuyeron constantemente hasta la madurez fisiológica alcanzando entre 6.0-6.2 °Brix en 'Roja' y 'Morada' y 7.3 en 'Amarilla' (Figura 5 B).

La acidez titulable en el cuajado fue de 2.0 %, 1.53 % y 1.12 % en 'Roja', 'Morada' y 'Amarilla', y se incrementó hasta 2.4 %, 2.13% y 2.72 %, respectivamente, a los 45, 60 y 30 días del crecimiento, posteriormente disminuye constantemente hasta valores de 1,0 %, 0.73 % y 0.46 % (Figura 5 C). La variedad 'Roja' mostró la mayor acidez en promedio (Figura 5 C). Lavee y Nir (1986) observaron el mismo comportamiento durante el crecimiento de la baya de uva y sugieren que la disminución en la acidez se puede atribuir a varios aspectos, como es el incremento en la permeabilidad de la membrana ocasionando un metabolismo mayor de ácidos, disminución de los ácidos traslocados de las hojas, la formación de sales de potasio, disminución en la síntesis o un efecto de dilución debido a un rápido incremento en el crecimiento del fruto.

El índice de sabor representa el cociente de los sólidos solubles totales y la acidez titulable, donde valores mayores del índice sugieren un sabor con mayor palatabilidad (Ladaniya, 2008). Las variedades de ciruela mexicanas evaluadas, inicialmente mostraron valores entre 6.7 y 9.5, posteriormente los valores disminuyeron hasta 3, para nuevamente incrementarse hasta 12.28 en 'Amarilla' y entre 7.0 y 8.1 en 'Roja' y 'Morada'. La variedad 'Amarilla' mostró un mayor índice de sabor, sugiriendo un mejor sabor al consumo.

Se determinaron diferencias en el diámetro polar de los frutos de ciruela mexicana, donde las variedades 'Roja' y 'Morada' tuvieron mayores valores que 'Amarilla' al final del crecimiento (Figura 5 E). En el diámetro polar no se determinaron diferencias entre las variedades (Figura 5 E). Las dimensiones mostraron un aumento constante desde el cuajado hasta los 30 a 60 días donde se observó una disminución en la velocidad de crecimiento y posteriormente un crecimiento

nuevamente exponencial (Figura 5 E). Este comportamiento sugiere un crecimiento doble sigmoideal. Similar al crecimiento reportado para ciruela mexicana de clima húmedo (Alvarez et al., 2019). Martíns et al. (2003) menciona que el crecimiento de *Spondias purpurea* en Brasil es del tipo lineal en el peso fresco y seco del fruto, en tanto que el diámetro y ecuatorial tiene un comportamiento cuadrático, y el período de crecimiento es de 124 días después de la floración. En México, Salazar y Becerra (1994) reportan que una variedad ‘Amarilla’ en Nayarit alcanza la madurez fisiológica en 70 días después de la floración. Alvarez et al. (2019) reporta que en crecimiento de ciruela mexicana de clima templado tiene un desarrollo doble sigmoideal y con una duración de 240 días. En las tres variedades evaluadas en el presente experimento se observó un desarrollo del fruto de 90 días, desde la floración a la madurez fisiológica, aunque ‘Roja’ y ‘Morada’ florecen en enero y se cosechan en abril y amarilla florece en febrero y se cosecha en mayo.

El peso del fruto aumento constantemente durante el periodo de evaluación, las variedades ‘Morada y ‘Roja’ tuvieron los valores mayores alcanzado entre 9.5 y 10.5 g, mientras que la variedad mostró un peso menor 7.9 g (Figura 6 A). Sin embargo, el análisis de varianza no determino diferencias entre las variedades (Figura 6 A).

En los parámetros de color de epidermis se detectaron diferencias significativas entre las variedades, la luminosidad y cromaticidad en promedio fue mayor en ‘Amarilla’ comprado con las otras variedades (Figura 6 B y C).

3.5 CONCLUSIONES

El crecimiento de los frutos de ciruela mexicana muestra un comportamiento doble sigmoideal, pero con una velocidad de crecimiento muy alto. El crecimiento del fruto es de 90 días después de la floración, los cambios físicos, químicos y fisiológicos diferencias a las variedades.

3.6 LITERATURA CITADA

- Alvarez-Vargas, J.E., Alia-Tejacal, I., Chavez-Franco, S.H., Colinas-León, M.T., Rivera-Cabrera, D. Nieto-Ángel, A. Cruz L., Aguilar Pérez L.A., Pelayo, C.Z. 2019. Phenological stages and fruit development in the mexican plum ecotype 'Cuernavaqueña' (*Spondias purpurea* L.). *Fruits*, 74(4): 194-200.
- Arce-Romero, A.R., Monterroso-Rivas, A.I., Gómez-Díaz, J.D., Cruz-León, A. 2017. Mexican plums (*Spondias* spp.): their current distribution and potential distribution under climate change scenarios. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23: 5-19.
- Avitia G.E., Castillo G.A.M., Pimienta B.E. 2003. Ciruela mexicana y otras especies del genero *Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 75 p.
- Crane, J.C. 1986. Pistachio. In: *Handbook of Fruit Set and Development*. Monselise, S.P. (Ed.). pp: 389-399. CRC Press.
- Cruz, L.A., Rodríguez, H.B. 2012. Cultivo. In: *Jocotes, jobos, abales o ciruelas Mexicana*, Cruz, L.A., Pita, D.Á., Rodríguez, H.B. (eds.) Universidad Autónoma Chapingo, pp: 77-101.
- Díaz, P.G., Serrano, A.V., Ruíz, C. J.U., Ambriz, C.R., Cano, G.M.G. (2008). Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Morelos (período 1961-2003). Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental, Zacatepec. INIFAP. Libro Técnico Núm. 3. 155 p.
- Erkan, M., Dogan A. 2020. Harvestig of Horticultural Commodities. In: *Postharvest Technology of Perishable Horticultlural Commodities*. Yahia, E.M. (Ed.). Elsevier-Woodhead Publishing. pp:120-159.

- Fortuny-Fernández, N. M., Monserrat, M. F., Ruenes-Morales, M. del R. 2017. Centro de origen, domesticación y diversidad genética de la ciruela mexicana, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Acta Botánica Mexicana* 121: 7.38.
- García, E. 1987. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM.
- Helrich, K. (1990). *Official Methods and Analysis*. (Arlington: Association of Official Analytical Chemists).
- Lavee, S., Nir, G. 1986. Grape. In: *Handbook of Fruit Set and Development*. Monselise, S.P. (Ed.). pp: 167-191. CRC Press.
- López-Hernández, M.P., Criollo-Núñez, J., Jaramillo-Barrios, C.I., Lozano-Tovar, M.D. 2021. Growth, respiration and physicochemical changes during the maturation of cacao fruits. *Journal of Science Food Agriculture wileyonlinelibrary.com*) DOI 10.1002/jsfa.11188
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, C. A., Jiménez-Hernández, J., Pelayo-Zaldívar, C., López-Martínez, V., Andrade-Rodríguez, M., Bautista-Baños, S., Valle-Guadarrama, S. (2014). Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae*, 174: 193-206.
- Martins, L.P., Silva, S.M., Alves, R.E., Filgueiras, H.A.C. 2003. Desenvolvimento de frutos de cirigueleira (*Spondias purpurea* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura* 25(1): 11-14.
- Negueruela, Á.I. 2012. Is the color measured in food the color that we see?. In: *Color in food. Technological and Psychophysical aspects*. Caivano, J.L., Buera, M.P. (Eds.) CRC Press. 99: 81-91.
- Salazar, S. G., Becerra, E. B. (1994). Fenología y dinámica nutrimental en hojas de ciruela mexicana. *Rev. Fitotec. Mex.* 17: 86-93.
- Salveit, M.E. 2016. Respiratory metabolism. In: *Postharvest Ripening Physiology of Crops*. Pareek, S. (Ed.). CRC Press. pp:139-156.

Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP) 2021. Cierre de la Producción Agrícola (1980-2020). En línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Sollano-Mendieta, X.C., Meza-Márquez, O.G., Osorio-Revilla, G., Téllez-Medina, D.I. (2021). Effect of In vitro digestion on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of 12 plum (*Spondias purpurea* L.) ecotypes. *Foods*, 10 1995. <https://doi.org/10.3390/foods10091995>

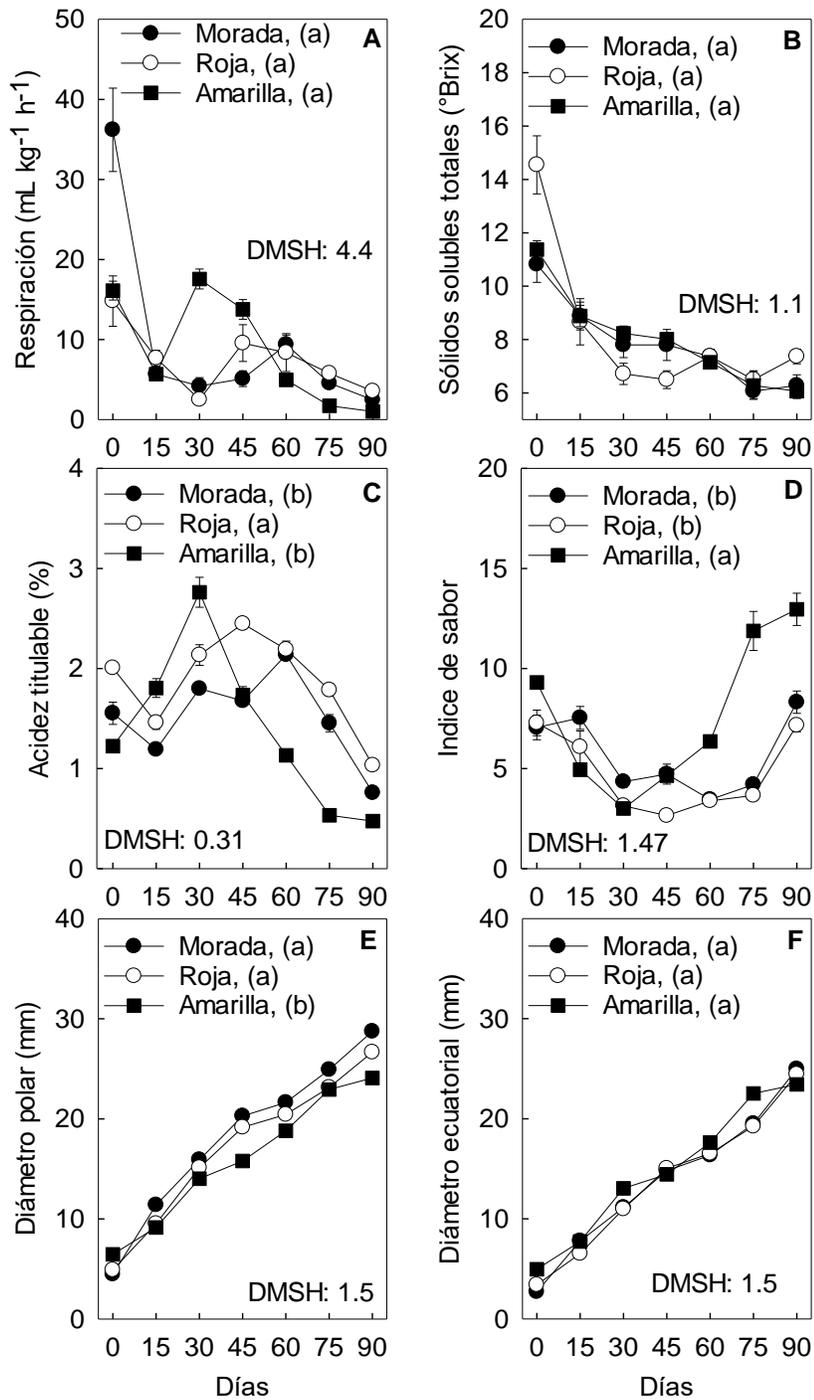


Figura 5. Cambios fisiológicos, químicos y físicos en tres variedades de ciruela mexicana desarrollados en Tepalcingo, Morelos. Cada Punto representa la media de 6 a 10 observaciones y su error estándar.

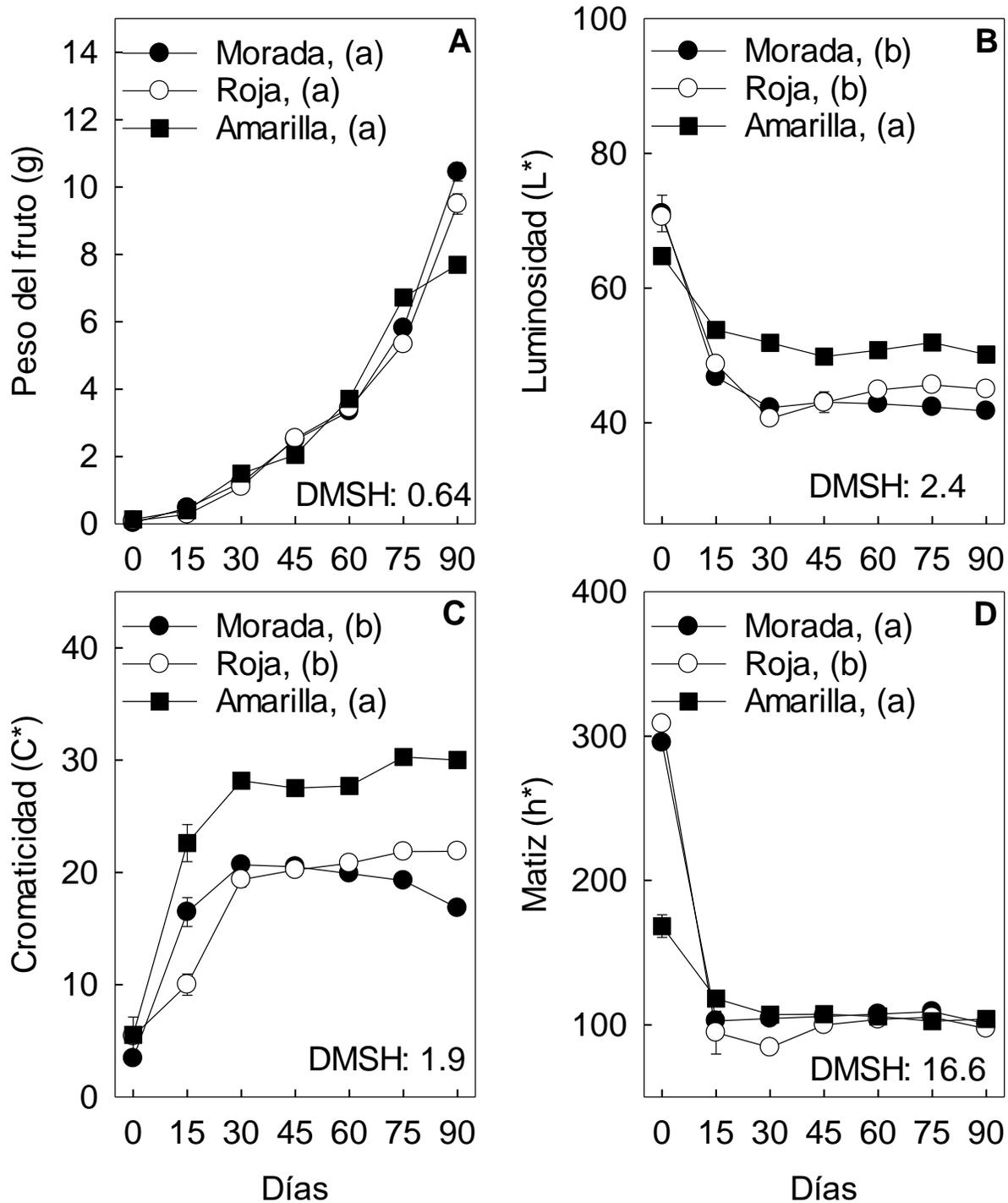


Figura 6. Cambios físicos en tres variedades de ciruela mexicana desarrollados en Tepalcingo, Morelos. Cada Punto representa la media de 6 a 10 observaciones y su error estándar.

CAPÍTULO IV

Postcosecha de tres variedades de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) de clima seco.

4.1 RESUMEN

La ciruela mexicana es un frutal ampliamente distribuido en México, existe una gran diversidad de ciruelas de estación seca y húmeda, sin embargo, debido a los escasos estudios realizados en las variedades, aun se sigue manteniendo como un producto de consumo regional. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento postcosecha de tres variedades de ciruela mexicana: ‘Morada’, ‘Roja’ y ‘Amarilla’ para posteriormente proponer su manejo en poscosecha. Se cosecharon frutos de cada variedad en dos etapas de madurez: madurez $\frac{1}{2}$ y madurez $\frac{3}{4}$ y se almacenaron a temperatura ambiente para determinar algunas variables respuesta. Los resultados indican que las variedades tuvieron un comportamiento climatérico, debido a un incremento en respiración y producción de etileno después de siete o 10 d después de la cosecha. ‘Morada’ y ‘Roja’ tuvieron la mayor producción de CO₂ y etileno. Los sólidos solubles totales, acidez titulable, pérdida de peso fueron significativamente mayores en ‘Morada’ y ‘Roja’ comparado con ‘Amarilla’, y el índice de sabor mostró una relación inversa. La firmeza determinó un gradiente de resistencia al corte ‘Morada’>‘Roja’>‘Amarilla’. Se detectaron diferencias en los parámetros de color entre ‘Morada’ y ‘Roja’ en relación con ‘Amarilla’ en la epidermis y pulpa. Los fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante fue mayor en ‘Morada’ y ‘Roja’, sin embargo, se determinaron cambios en las variables durante la maduración de todas las variedades. Los resultados obtenidos sugieren que la alta percibibilidad de la ciruela mexicana se atribuye a la excesiva pérdida de agua, y es necesario evaluar tecnologías poscosecha para incrementar su vida útil.

Palabras clave: respiración, etileno, fenoles, flavonoides, ABTS.

4.2 INTRODUCCIÓN

El fruto de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es una drupa de tamaño entre 3 y 6 g y de color de la epidermis desde verde, amarilla, naranja, roja hasta púrpura (Maldonado-Astudillo et al., 2014). El fruto es apreciado como alimento en fresco o procesado. En fresco, debido a que los azúcares y ácidos orgánicos muestran variación durante su desarrollo y maduración, ofrece sabores desde ácidos hasta dulce intenso (Cancino-Labra et al., 2022). Además, su consumo aporta minerales, vitaminas y antioxidantes que son importantes en la nutrición y salud de quienes lo consumen.

En México se tiene gran diversidad de ciruelas mexicanas, en la región del Golfo se indica la presencia de más de 20 variedades y en la vertiente del Pacífico se indican más de 12 variedades por región de producción (Avitia et al., 2003, Cruz y Rodríguez et al., 2012). Sin embargo, la mayoría de las variedades son de consumo local en la época de producción, debido a los escasos estudios de su fisiológica y bioquímica en poscosecha, ya que esta información es necesaria para sugerir diferentes estrategias para incrementar su vida útil y favorecer una mayor distribución a otras regiones distintas de las de producción.

Por otra parte, se reconocen que hay dos tipos de ciruela mexicana, las de estación seca y las de estación húmeda, algunas de las características que las diferencian son la época de cosecha, el tiempo de crecimiento del fruto y la vida útil del fruto en poscosecha (Avitia et al., 2003; Alvarez-Vargas et al., 2019; Cancino-Labra et al., 2022). En las ciruelas de clima húmedo se han realizado algunas caracterizaciones básicas de la maduración determinando que es un fruto que tiene entre 7 a 8 días de vida útil después de cosechadas y en dependencia de la madurez se dan cambios en el color de la epidermis, incrementa el contenido de sólidos solubles totales, disminuye la acidez titulable, y la firmeza del fruto disminuye, además que se incrementan los carotenoides en la epidermis, existiendo una disminución de fenoles, flavonoides e incremento de la actividad

antioxidante (Bautista-Baños et al., 2003; Maldonado-Astudillo et al., 2014; Alvarez-Vargas et al., 2019).

En las ciruelas de estación seca, se estima una mayor cantidad de variedades, por lo que la caracterización de la maduración en cada una de ellas implica gran inversión de tiempo. Aunque se han reportado algunos trabajos en Brasil (Martins et al., 2003), en México donde se tiene esta gran diversidad se han realizado algunos esfuerzos que es necesario incrementar. Así, se han reportado algunas evaluaciones en ciruela amarilla de Oaxaca (Pérez et al., 2004), amarilla de Nayarit (Osuna et al., 2011), y algunas variedades de Morelos (Romero-Hinojosa et al., 2021), pero aún son escasos los reportes. En las ciruelas mexicanas de estación seca su vida poscosecha es corta, no más de 5 días, aunque depende también de la etapa de cosecha, hay incrementos en sólidos solubles totales, disminución de acidez titulable, incremento en pigmentos de epidermis, no es clara el comportamiento de la velocidad de respiración y producción de etileno (Osuna et al., 2011; Romero-Hinojosa et al., 2021). No se ha reportado en comportamiento del perfil de azúcares, los cambios en moléculas como fenoles, flavonoides y actividad antioxidante, aspectos que son indicados en el presente trabajo en tres variedades: ‘Morada’, ‘Roja’ y ‘Amarilla’, materiales adaptados a la región y que no se han determinado sus diferencias o similitudes y que apoyen en la distinción de estos.

4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

En la temporada de producción de 2021 se seleccionaron tres árboles de tres variedades de ciruela mexicana con más de 40 años de edad, localizados en la Col. Adolfo López mateos de Tepalcingo, Morelos (18° 39’42’ LN, 98° 55’ 28” LO) a una altitud de 1160 m, con un clima cálido

subhúmedo (García et al., 1987), una temperatura promedio de 22.5 °C y 840 mm de precipitación anual (Díaz et al., 2008).

Los frutos fueron colectados en abril ('Morada' y 'Roja') y junio ('Amarilla') mismos que fueron cosechados en dos etapas de maduración: madurez media (50 % de coloración verde y 50 % de coloración característica de la variedad) y madurez en $\frac{3}{4}$ (25 % de color verde y 75 % de coloración característica de la variedad). Los frutos fueron transportados vía terrestre al Laboratorio de Producción Agrícola en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del estado de Morelos.

Los frutos fueron lavados con una solución al 1 % de cloro y secados al ambiente para posteriormente formar grupos de seis frutos para realizar análisis destructivos conforme pasaron los días. Un grupo de cada variedad fue utilizado para evaluar variables no destructivas.

Las variables no destructivas fueron: pérdida de peso, producción de etileno y respiración, parámetros de color de la epidermis y apariencia del fruto, para estas variables se tuvo un fruto como unidad experimental y 10 repeticiones. En el caso de las variables destructivas estas fueron evaluadas cada dos días y fueron: parámetros de color de la pulpa del fruto, sólidos solubles totales, acidez titulable, fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante utilizando tres moléculas antioxidantes: DPPH, ABTS y FRAP, en esta variable la unidad experimental fue el fruto y se tuvieron seis repeticiones.

La respiración y producción de etileno se determinó por el método estático (Salveit, 2016), para esto en recipientes de vidrio de 120 mL de capacidad fueron colocados de 2 a 5 frutos y se sellaban herméticamente durante 3 h, posteriormente se tomaba 1 mL del espacio de cabeza y se inyectaba en un cromatógrafo de gases Agilent® (Mod. 7890A, EUA) y se cuantificó la concentración de CO₂ y etileno. Las condiciones de la temperatura del inyector, horno y detectores

fueron 150, 80 y 170 °C. Se utilizó nitrógeno como gas de arrastre. Para la cuantificación de los gases, se utilizó el método de calibración absoluta utilizando estándares de CO₂ (460 mg L⁻¹) y etileno (100 mg L⁻¹) de la empresa Praxair®. Los resultados se reportaron en mL kg⁻¹h⁻¹. con un detector de ionización de flama y otro de conductividad térmica.

A cada fruto se le determino su peso en una balanza digital (OHAUS®, EUA) de 0.01 g de sensibilidad. Posteriormente a cada fruto se le determinaron los parámetros de color: luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y matiz (h) en tres ocasiones con un espectrofotómetro portátil (X-rite® SP64, EUA) siguiendo la metodología de Neguerula (2012).

El contenido de sólidos solubles totales se determinó al tomar 1 g de tejido del fruto y homogenizarlo con 12 mL de agua destilada con un Ultraturrax T25 (IKA®, EUA) durante 40 s, posteriormente el homogenizado se filtró y centrifugó, posteriormente se tomaron tres gotas y se colocaron en un refractómetro (PAL-1®, ATAGO, Japón) y se registraron los datos en °Brix. A partir del filtrado se colocaron 5 mL en un vaso de precipitados y se le adicionaron 2 gotas de fenoltaleína 1 % y se tituló hasta el vire de color con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N (Helrich, 1990). Con los resultados de sólidos solubles totales y acidez titulable se calculó el índice de sabor (Erkan y Dogan, 2020).

Los fenoles, flavonoides, fenoles y actividad antioxidante se evaluaron en extractos realizados con agua destilada o metanol utilizando metodologías colorimétricas ampliamente utilizadas (Singleton et al., 1999; Benzie y Strain, 1996; Brand et al., 1995; Arvuet-Grand et al., 199) y validadas en ciruela mexicana de estación húmeda (Suárez et al., 2017). Los resultados se expresan como mg de equivalentes de ácido ascórbico, ácido gálico o quercetina, respectivamente.

Los datos obtenidos del experimento fueron analizados por análisis de varianza y comparación de medias, utilizando el software SigmaPlot V.14.0 (Sigma Plot, San Jose, Ca). Se presentan graficas elaboradas con este software y las comparaciones de medias.

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La velocidad de respiración inicial en las tres variedades de ciruela mexicana fue entre 2.48 y 5.22 mL kg⁻¹h⁻¹, posteriormente disminuyó ligeramente y volvió a incrementarse constantemente durante el periodo de evaluación, los máximos de respiración se determinaron a los 7 d en ‘Amarilla’ (6.4 – 7.2 mL kg⁻¹h⁻¹) y a los 10 días en ‘Morada’ (5.3-5.6 mL kg⁻¹h⁻¹) y ‘Roja’ (13.2 – 13.3 mL kg⁻¹h⁻¹) (Figura 7 A). Osuna et al. (2011) y Montalvo-González et al. (2011) indicaron que la velocidad de respiración en ciruela mexicana variedad ‘Amarilla’ proveniente de Nayarit, México mostraron incremento de respiración y el máximo fue a los 3 y 9 días después de cosecha, lo que sugiere un comportamiento climatérico. Sin embargo, Pérez et al. (2004) indican que en una variedad ‘Amarilla’ del estado de Oaxaca, no se determinaron incrementos en la velocidad de respiración sugiriendo que es un fruto no climatérico. Los resultados obtenidos muestran que las tres variedades de ciruela mexicana evaluadas tienen un comportamiento climatérico.

La variedad ‘Roja’ tuvo entre 49 y 59 % mayor velocidad de respiración que ‘Amarilla’ y ‘Morada’ ($P \leq 0.05$) (Figura 7 A). La velocidad de respiración es un excelente indicador de la actividad metabólica del tejido por lo tanto es una guía útil de potencial de almacenamiento del producto (Wills et al., 2016). Se ha reportado que la intensa velocidad de respiración en ciruela mexicana disminuye la vida útil del producto a 33 h comparada con ciruelas del norte de Brasil de 140 h, lo cual se atribuye a la variedad y condiciones climáticas de producción (Sampaio et al., 2008). No se detectaron diferencias entre las etapas de maduración ($P \leq 0.05$), esto es contrario a lo reportado por Pérez et al. (2004) quienes en una variedad ‘Amarilla’ de Oaxaca la velocidad de

respiración inicial fue mayor en la etapa de madurez $\frac{3}{4}$ y comparada con frutos en madurez $\frac{1}{2}$ o verde, lo que se relaciona con una vida poscosecha menor de los frutos con madurez avanzada.

El etileno se incrementó a partir del día 3 - 4 en todas las variedades evaluadas, el máximo de producción se detectó a los 9, 7 y 7 d después de la cosecha en 'Morada', 'Roja' y 'Amarilla', respectivamente (Figura 7 B). Montalvo et al. (2011) reportan que la producción de etileno en una variedad de ciruela 'Amarilla' de Nayarit determinaron el máximo a los cinco días después de la cosecha. El máximo de etileno fue significativamente mayor en 'Morada' ($439 - 601 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) que en 'Roja' ($820 - 866 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), y 'Amarilla' ($196.7 - 228.5 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) mostró significativamente los valores menores (Figura 7 B). Álvarez et al. (2017) indican una gran variabilidad en la producción de etileno en 102 colectas de ciruelas mexicanas en madurez de consumo, de estación seca y humedad, lo que sugiere un manejo diferenciado en cada variedad. No se detectaron diferencias significativas entre las etapas de maduración, a excepción de la variedad 'Roja' donde los frutos cosechados en madurez $\frac{1}{2}$ mostraron 27 % mayor respiración que los frutos cosechados en madurez de $\frac{3}{4}$ (Figura 7 B). Pérez et al. (2004) no detectaron diferencias en la producción de etileno en frutos cosechados en madurez verde, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$, lo cual concuerda con nuestros resultados.

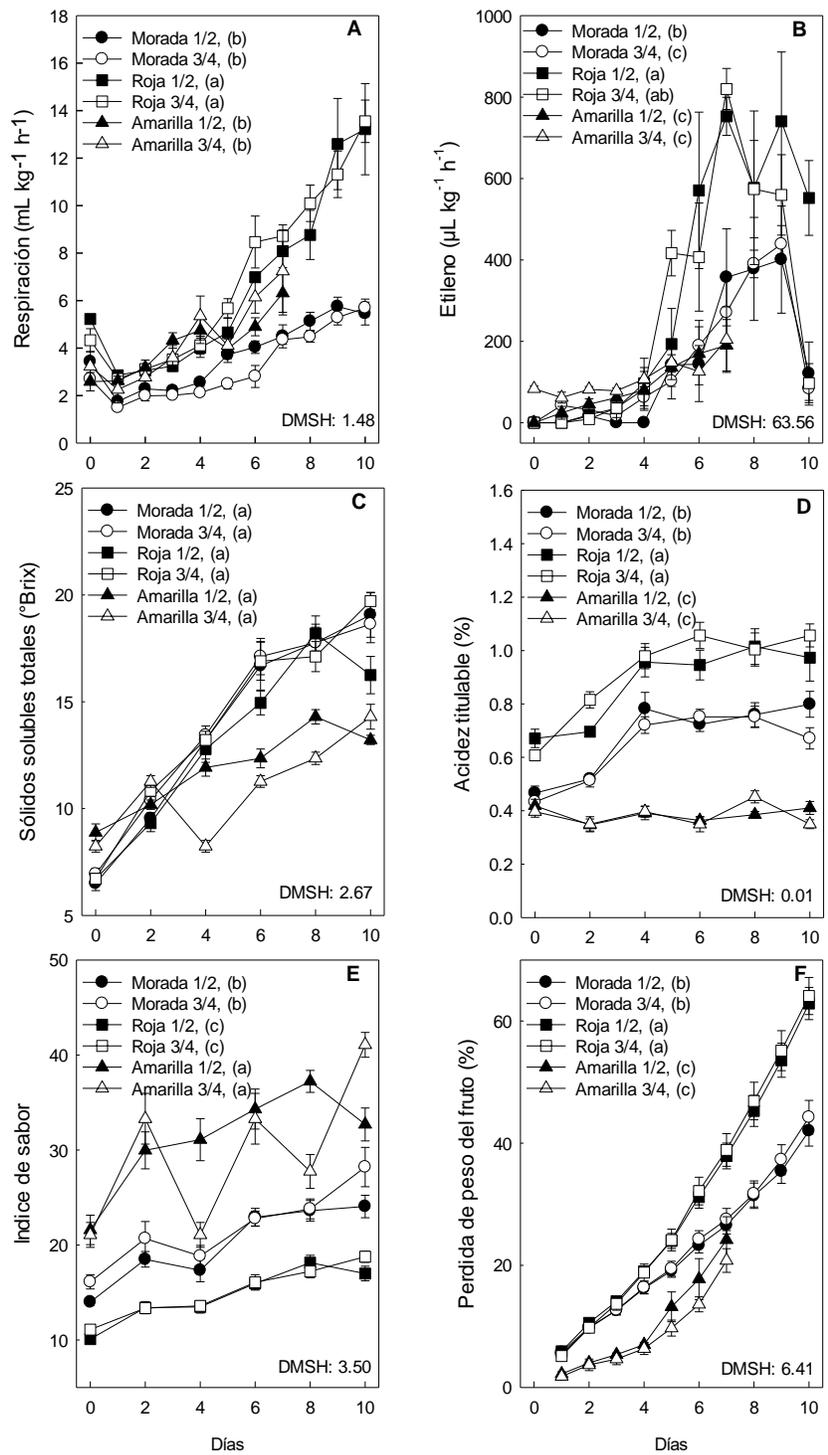


Figura 7. Cambios fisiológicos y químicos en frutos de tres ecotipos de ciruela mexicana cosechados en dos etapas de maduración. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

No se detectaron diferencias en el contenido de sólidos solubles totales (sst) entre las variedades evaluadas ($P \leq 0.05$), en la cosecha los sst estuvieron entre 6.3 y 8.9 °Brix y después de 10 días de evaluación las variedades ‘Morada’ y ‘Roja’ alcanzaron entre 16.2 °Brix y la variedad ‘Amarilla’ obtuvo entre 13.2 y 14.3 °Brix (Figura 7 C). Sampaio et al. (2008) reportan que *Spondias purpurea* variedad ‘Roja’ inicialmente mostró valores entre 7.7 °Brix y después de 6 -8 días los sst se incrementaron hasta 15 – 15.7 °Brix. No se detectaron diferencias entre las etapas de maduración evaluadas (Figura 7 C). Osuna et al. (2011) reportaron diferencias entre etapas de maduración en ciruela mexicana ‘amarilla de Nayarit, donde frutos cosechados en etapa sazona alcanzaron entre 13 y 14.4 °Brix después de 6 – 9 días, mientras que frutos cosechados en $\frac{3}{4}$ de madurez alcanzaron entre 12.5 y 13.8 °Brix después de 4 – 7 días.

La acidez titulable fue significativamente diferente entre las variedades evaluadas ($P \leq 0.05$). En la cosecha la variedad ‘Roja’ registró una acidez titulable inicial entre 0.60 y 0.66 %, alcanzando 1.0 % a los ocho días de evaluación (Figura 7 D). En la variedad ‘Morada’ la acidez inicial fue entre 0.43 y 0.46 % y se incrementó hasta 0.70 – 0.78 % a los cuatro días y se mantuvo en los mismos niveles hasta el final de las evaluaciones (Figura 7 D). Finalmente ‘Amarilla’ inicio con una acidez titulable de entre 0.39 y 0.43 %, manteniéndose entre 0.34 y 0.44 % durante el periodo de evaluación (Figura 7 D). No se detectaron diferencias entre etapas de maduración (Figura 7 D). Sampaio et al. (2008) en *Spondias purpurea* variedad ‘Roja’ en Brasil indican que en madurez fisiológica tienen entre 1.13 % y después de 6 – 8 días la acidez disminuye ligeramente a 1 %. Montalvo et al. (2011) reportan en una variedad ‘amarilla’ la acidez titulable se incrementa en poscosecha, lo cual es similar en la variedad ‘Roja’ y ‘Morada’ del presente trabajo, y lo atribuyen a dos causas: a) a la síntesis de ácidos orgánicos que ocurre siempre que el O₂ esté disponible y b) la consiguiente síntesis de ácidos debidos a la fermentación. Por otra parte, las diferencias en acidez titulable entre variedades se consideran son inherentes, y Álvarez et al. (2017) reporta entre 0.1 y

0.74 % en 102 colectas de ciruelas mexicanas de estación seca y húmeda, lo que sugiere una gran diversidad de sabores en esta especie.

El índice de sabor (IS) se incrementó en las tres variedades durante el período de evaluación (Figura 7 E). Se detectaron diferencias en el IS atribuidas a la variedad, así, ‘Amarilla’ mostró los valores mayores, ya que inicio con 21 y al final del experimento llegó hasta entre 32 y 40.1 (Figura 7 E). La variedad ‘Morada’ el IS inicio entre 13.8 y 15.9 y al final de las evaluaciones cambio hasta 24-28 (Figura 7 E). Finalmente, en ‘Roja’ el IS inicio entre 9.8 y 10.9 y en 10 días alcanzó entre 16.8 y 18.2 (Figura 7 E). No se detectaron diferencias entre etapas de maduración (Figura 7 E). Sampaio et al. (2008) en una variedad ‘Roja’ de *Spondias purpurea* cultivada en Brasil indican que en madurez fisiológica el IS cambia de 6.7 a entre 15 – 15.7 en madurez de consumo y senescencia. El IS entre valores mayores tenga sugiere mayor dulzura, por lo que los materiales evaluados incrementan su acidez, con mayor proporción en los frutos amarillos.

La pérdida de peso fue significativamente mayor en ‘Roja’ independientemente de la etapa en que se cosecharon, la pérdida de peso después de cinco días fue de 24 % y después del sexto día se incrementó a más de 30 % (Figura 7 F). En ‘Morada’ la pérdida de peso fue significativamente menor ($P \leq 0.05$) comparada con ‘Roja’, ya que cinco días después de la cosecha la pérdida de peso no superaba 20 % y al finalizar de las evaluaciones no alcanzo más allá de 44 % (Figura 7 F). En la variedad ‘Amarilla’ la pérdida de peso fue de 6.1 % a los cuatro días después de cosecha y posteriormente la pérdida de peso fue exponencial alcanzando entre 20 y 24 % después de siete días (Figura 7 F). Mohamed et al. (2019) indican que la transpiración en *Spondias purpurea* depende de la etapa de maduración, temperatura de almacenamiento y duración del almacenamiento. En el presente trabajo no se detectaron diferencias entre etapas de maduración (Figura 7 F), Mohamed et al. (2019) indican que se ha demostrado que los frutos con menor grado

de madurez tienen una mayor transpiración, debido a diferencias en el grosor y cambios de la cutícula de la epidermis del fruto.

La apariencia de los frutos se ve afectada significativamente después de una pérdida de 5 % (Wills y Golding, 2016). En el presente trabajo se observó que la apariencia comercial entre 5 y 8 días bajo las condiciones de evaluación (Cuadro 3). La apariencia no comercial mostró disminución de la turgencia y pérdida de color (Figuras, 8, 9 y 10).

Cuadro 3. Días en que la apariencia de las variedades de ciruela mexicanas evaluadas es comercial.

Variedad	Etapa de madurez	
	Madurez 1/2	Madurez 3/4
‘Morada’	7 – 8	6 - 7
‘Roja’	6	5
‘Amarilla’	6 - 7	5 - 6



Figura 8. Apariencia de frutos de ciruela ‘Morada’ cosechados en dos etapas de maduración.



Figura 9. Apariencia de frutos de ciruela ‘Roja’ cosechados en dos etapas de maduración.

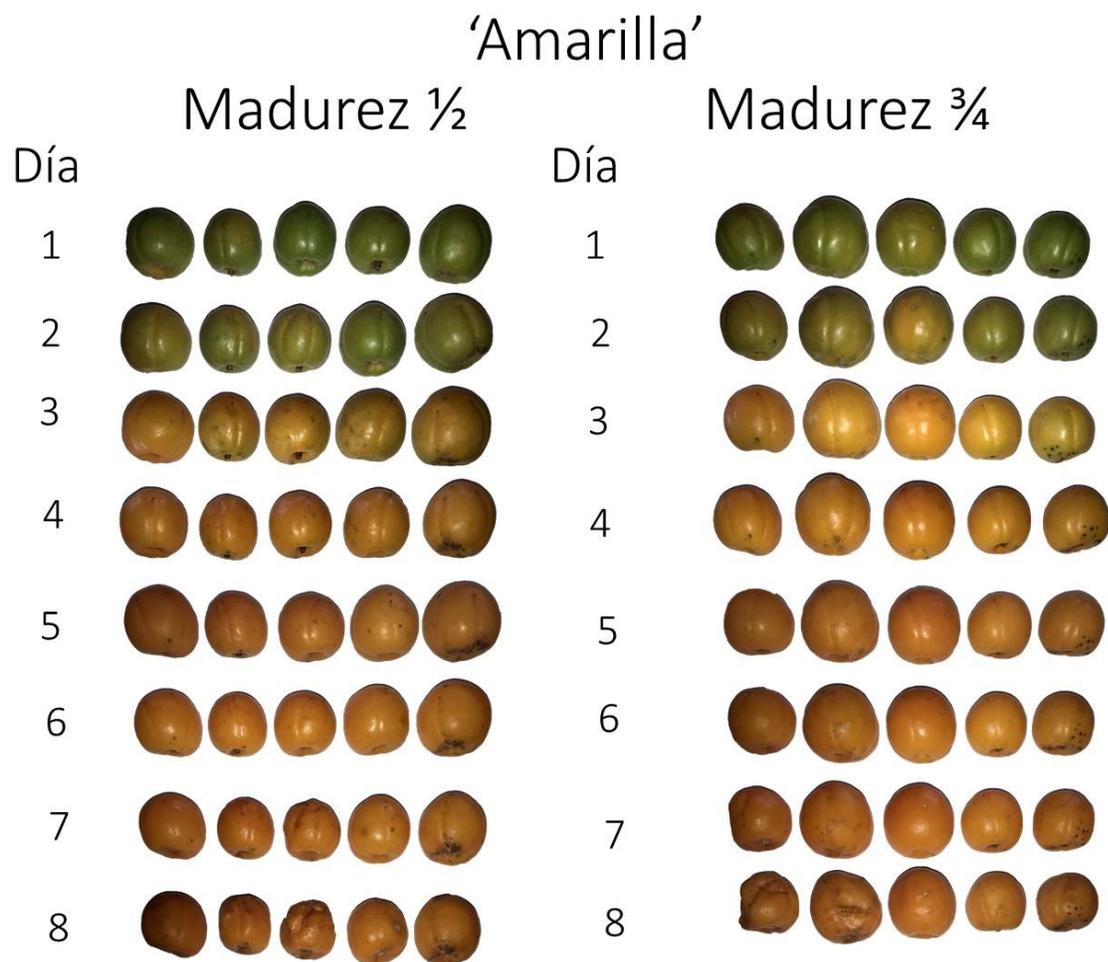


Figura 10. Apariencia de frutos de ciruela ‘Amarilla’ cosechados en dos etapas de maduración.

El análisis de varianza determinó diferencias significativas en la firmeza entre las variedades evaluadas ($P \leq 0.05$), así la variedad ‘Morada’ mostró la mayor firmeza promedio (Figura 11 A), con una firmeza inicial entre 16.9 y 17.6 N misma que disminuyó a 11 y 12 N después de cuatro días y posteriormente se observó un incremento de la firmeza que alcanzó entre 16 y 19 N a los 10 días de evaluación (Figura 11 A). Similar comportamiento se observó en la variedad ‘Roja’, quien comenzó con una firmeza inicial entre 12.5 y 13.1 N y disminuyó hasta entre 8.3 y 9.3 N después de cuatro días, posteriormente se observó un incremento considerable ya que alcanzó hasta entre 12.2 y 14.9 N a los 10 días de evaluación (Figura 11 A). La variedad

‘Amarilla’, mostró la menor firmeza, ya que inicio entre 11.5 y 13.6 N y disminuyó constantemente hasta entre 6.2 y 6.5 N después de 10 días (Figura 11 A). En las variedades ‘Morada’ y ‘Roja’ la disminución inicial de la firmeza durante los cuatro primeros días se debe a la excesiva pérdida de agua que se ha indicado anteriormente ($> 20 \%$) y al incremento en la actividad de pectinmetilesterasa y constante actividad de poligalacturonasa (Maldonado-Astudillo et al., 2014), el incremento posterior en firmeza se atribuye a que la excesiva pérdida de agua de los frutos, que hace que la epidermis del fruto adquiera una consistencia con mayor resistencia a la penetración del texturometro (Figura 8, 9 y 11 A).

Se determinaron diferencias significativas en los parámetros de color de la epidermis en las tres variedades evaluadas ($P \leq 0.05$). La luminosidad fue significativamente mayor en la variedad ‘Amarilla’ y se incrementó durante los primeros cuatro días y posteriormente disminuye; en las variedades ‘Morada’ y ‘Roja’ la luminosidad disminuyó constantemente durante el periodo de evaluación poscosecha (Figura 11 B). No se detectaron diferencias entre las etapas de cosecha ($P \leq 0.05$).

Se determinaron diferencias significativas en la cromaticidad de las tres variedades de ciruela mexicana, la variedad ‘Amarilla’ mostró mayor pureza del color que la variedad ‘Morada’ y ‘Roja’. En las variedades ‘Morada’ y ‘Roja’ se observaron diferencias en la cromaticidad durante los primeros cuatro días, donde ‘Roja’ mostró mayor pureza que ‘Morada’; posteriormente la cromaticidad se mantuvo similar y sin cambios significativos entre ambas variedades (Figura 11 C). No se detectaron diferencias en la cromaticidad entre estados de maduración ($P \leq 0.05$).

Finalmente, el matiz fue diferente entre las variedades evaluadas, ya que la variedad ‘Amarilla’ inicio con valores entre $h = 91-93$ que indican un color amarilla y disminuyó hacia un color naranja después de 10 días, $h = 65$ (Figura 11 D). La variedad ‘Morada’ cosechada en madurez $\frac{1}{2}$ mostró valores cercanos a $h = 91$ y después de cuatro días alcanzó color cercano al roja purpura, en tanto

que la ciruela ‘Morada’ cosechada en $\frac{3}{4}$ y ‘Roja’ cosechada en ambas etapas de madurez iniciaron con colores cercanos a naranja $h= 58 - 79$, y después de cuatro días alcanzaron colores cercanos al roja purpura $h= 24 - 30$ (Figura 11 D). Pérez-Arias et al. (2008) indican que las ciruelas amarillas presentan valores de matiz entre $h= 73$ y 76 , mientras que las rojas entre $h = 32$ y 59 y las moradas entre $h= 22$ y 25 , todas en madurez de consumo. Romero-Hinojosa et al. (2021) reportan similar comportamiento y valores en el cambio del matiz, ya que la variedad ‘Amarilla’ cambio de un color amarilla-verdoso ($h=83$) a tendiente al naranja ($h= 68$) en frutos cosechados con madurez media y cuando se cosecharon con madurez $\frac{3}{4}$ la variedad alcanzaba un color con mayor tendencia al naranja ($h=54$), detectado pocas diferencias entre las dos etapas de madurez. Otras variedades de color roja como ‘Castilla’ o ‘Roja’ muestran valores iniciales entre $h=67$ y 86 en dependencia de la etapa de madurez y en la madurez de consumo alcanzan valores de matiz entre $h= 27$ y 34 (Romero-Hinojosa et al., 2021), los autores sugieren cambios al inicio de las evaluaciones, pero que no son claros al final de la maduración, lo cual es similar en el presente trabajo. Silva et al. (2001) reporta una variedad ‘Roja’ cultivada en Brasil, la cual al cosecharse en etapa rompiente (cuando inicia a desarrollarse el color en madurez fisiológica) o en pigmentación inicial de amarillamiento en la epidermis los frutos no alcanzan el color característico de la variedad, indicando que se deben cosechar en una etapa donde esté completamente desarrollado el color amarilla para alcanzar el color característico de la variedad. En el presente trabajo no se determinaron diferencias entre etapa de maduración en cada variedad ($P\leq 0.05$). Montalvo et al. (2011) indican que la pigmentación de los frutos de ciruela mexicana de estación seca fue afectada por el almacenamiento bajo condiciones de luz, así los frutos con constante aplicación de luz (24 h) mostraron mayor acumulación de pigmentos y colores con mayor tendencia al naranja, comparado con frutos almacenados en oscuridad o con un régimen de 12h de oscuridad y 12 h de luz.

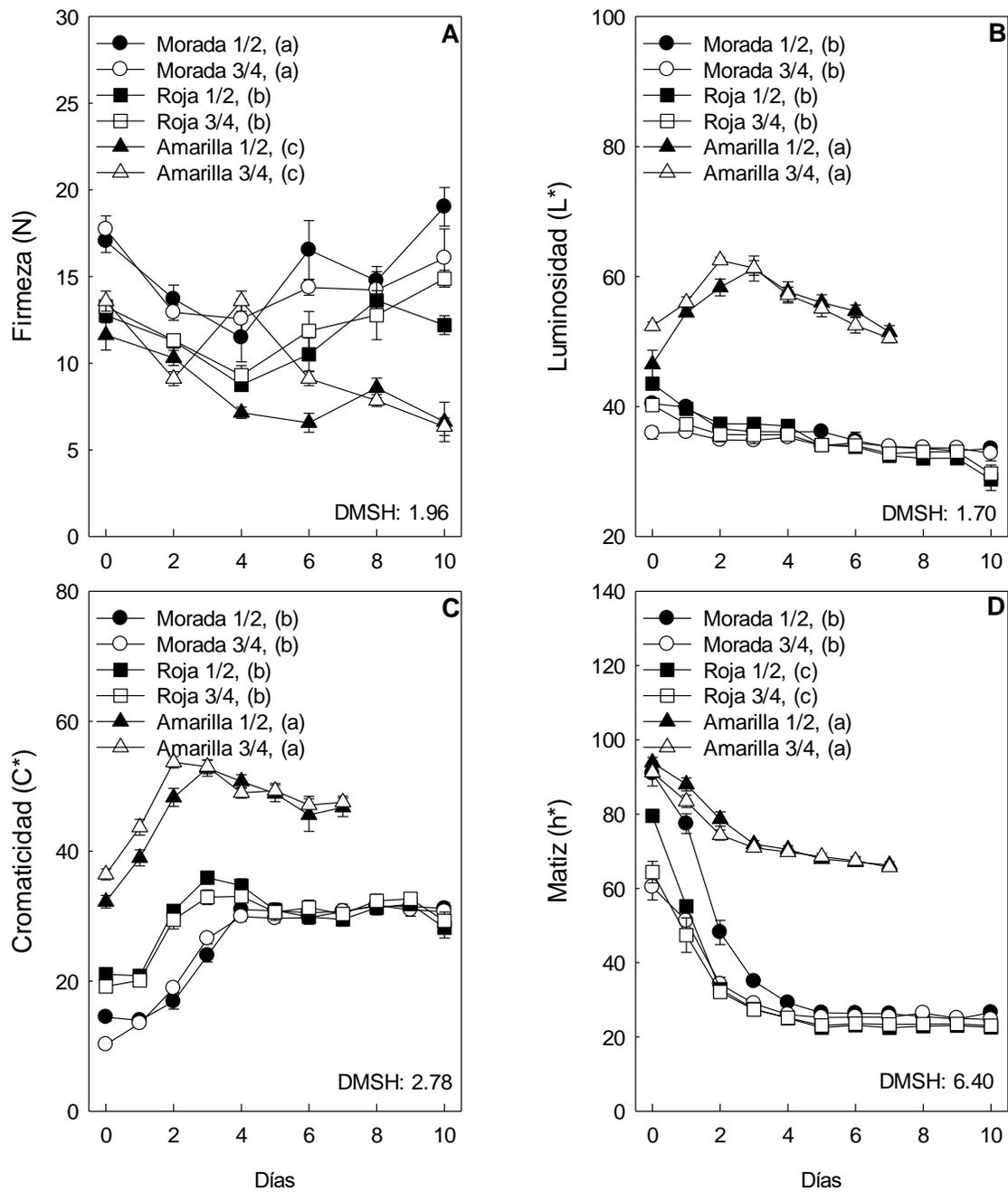


Figura 11. Cambios físicos en la epidermis de tres ecotipos de ciruela mexicana de clima seco.

Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

Los parámetros de color en la pulpa mostraron diferencia en luminosidad, cromaticidad y matiz entre las tres variedades ($P \leq 0.05$). En la variedad ‘Roja’ y ‘Morada’ la pulpa mostró un color cercano al amarilla luminoso y vivido, observándose pocos cambios durante la maduración, sin embargo, los frutos de la variedad ‘Roja’ después de cuatro días disminuyó drásticamente la luminosidad, cromaticidad y matiz (Figura 12 A y B). En la variedad ‘Amarilla’ el color fue amarillo luminoso y vivido en la pulpa y así se mantuvo durante el periodo de evaluación, esta variada fue la de menores cambios en el color de pulpa (Figura 12 C). No se tienen reportes de los cambios en la pulpa de las variedades de ciruela mexicana de estación seca y húmeda, pero los resultados obtenidos indican diferencias entre las variedades y que en la variedad ‘Roja’ es importante verificar si los cambios en el color se atribuyen a la excesiva pérdida de agua o a una oxidación de la pulpa. No se detectaron diferencias en los parámetros de colores entre las etapas de maduración ($P \leq 0.05$).

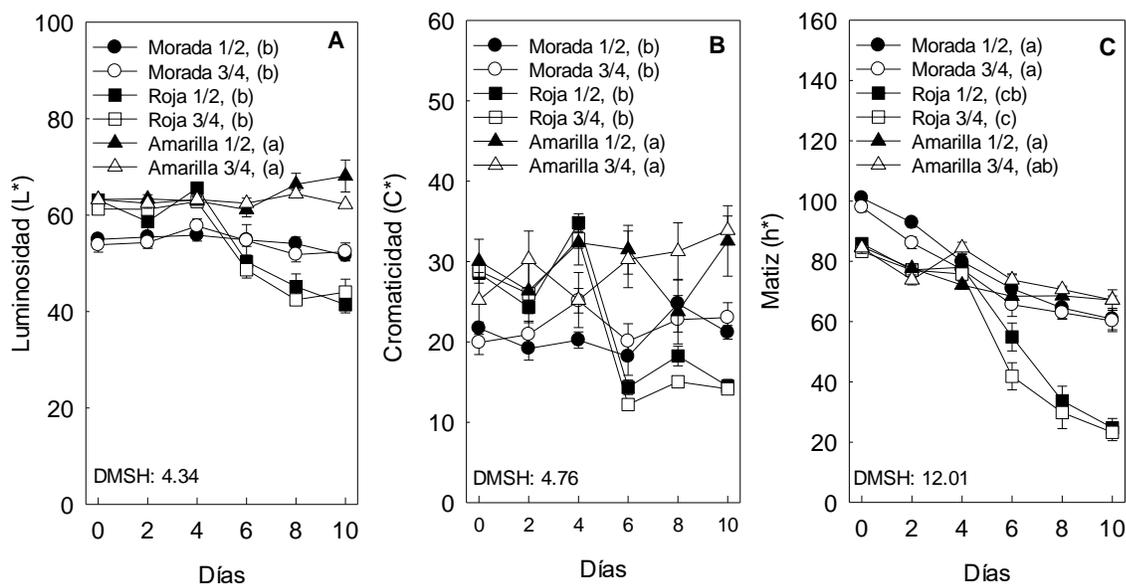


Figura 12. Cambios de parámetros de color en la pulpa de tres variedades de ciruela mexicana de clima seco. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

Se determinaron diferencias entre las variedades en el contenido de fenoles totales (Figura 13 A). Las variedades ‘Morada’ y ‘Roja’ en la cosecha tuvieron concentraciones de fenoles totales entre 63 y 98 mg EAG 100g⁻¹, dos o cuatro días posteriores a la cosecha se incrementaron alcanzado entre 86 y 127 mg EAG 100g⁻¹ y en los días posteriores los fenoles disminuyeron hasta entre 38 y 68 mg EAG 100g⁻¹, la variedad ‘Morada’ mostró los valores menores comparado con ‘Roja’ (Figura 13 A). El incremento en el contenido de fenoles probablemente se atribuya a los pigmentos de origen fenólico que aumentan durante la maduración, Sollano-Mendieta et al. (2021) reporta en 12 variedades de ciruela mexicana la concentración de antocianinas en materiales de color roja o morada, con concentraciones entre 2 y 14 mg equivalentes de cianidina 3-glucosido 100g⁻¹. La variedad ‘Amarilla’ mostró el menor contenido de fenoles totales en las tres variedades, ya que en la cosecha se determinó entre 26 y 45 mg 100g⁻¹ y durante el periodo de evaluación se incrementó hasta entre 53 y 62 mg 100g⁻¹ (Figura 13 A). No se detectaron diferencias entre las etapas de maduración evaluadas dentro de cada variedad ($P \leq 0.05$). Barreiros et al. (2018) reportan ciruela mexicana cultivada en Brasil conteniendo 123 mg 100 g⁻¹ de fenoles totales, en tanto que en México Solorzano-Morán et al. (2015) reportan entre 90 y 570 mg EAG 100g⁻¹ en 12 variedades del estado de Guerrero. Álvarez et al. (2017) en 102 colectas de ciruela mexicana estación seca y húmeda reportan entre 40.1 y 221.6 mg EAG y Suárez et al. (2017) en ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ indica entre 91 y 190 mg EAG 100g⁻¹. Lo anterior sugiere concentraciones moderadas de fenoles totales en el fruto de ciruela mexicana, lo que la hacen importante el consumo de dicho fruto para obtener beneficios a la salud que se ha asociado con otros frutos.

Los flavonoides en cosecha se cuantificaron entre 23 y 38 mg EQ 100g⁻¹, posteriormente se incrementaron significativamente en las variedades ‘Roja’ y ‘Morada’ hasta entre 49 y 66 mg EQ 100g⁻¹ a los seis días de cosechados, manteniéndose en valores similares hasta el último día de evaluación (Figura 13 B). En la variedad ‘Amarilla’ los flavonoides se mantuvieron en valores similares al inicio de la cosecha durante cuatro días, entre 22 y 37 mg EQ 100g⁻¹, posteriormente la concentración se mantuvo entre 22 y 30 mg EQ 100g⁻¹ (Figura 13 B). Sollano-Mendieta et al. (2021) reporta entre 195.5 y 368.78 mg EQ 100g⁻¹ en 12 variedades de ciruela mexicana de estación seca, en tanto que Suárez et al. (2017) reporta entre 109-214.7 mg EQ en ciruela ‘Cuernavaqueña’ en cuatro etapas de maduración. Los datos reportados en son mayores a los obtenidos en el presente trabajo, probablemente debido a que la concentración de dichas moléculas es afectada por las condiciones ambientales y el genotipo.

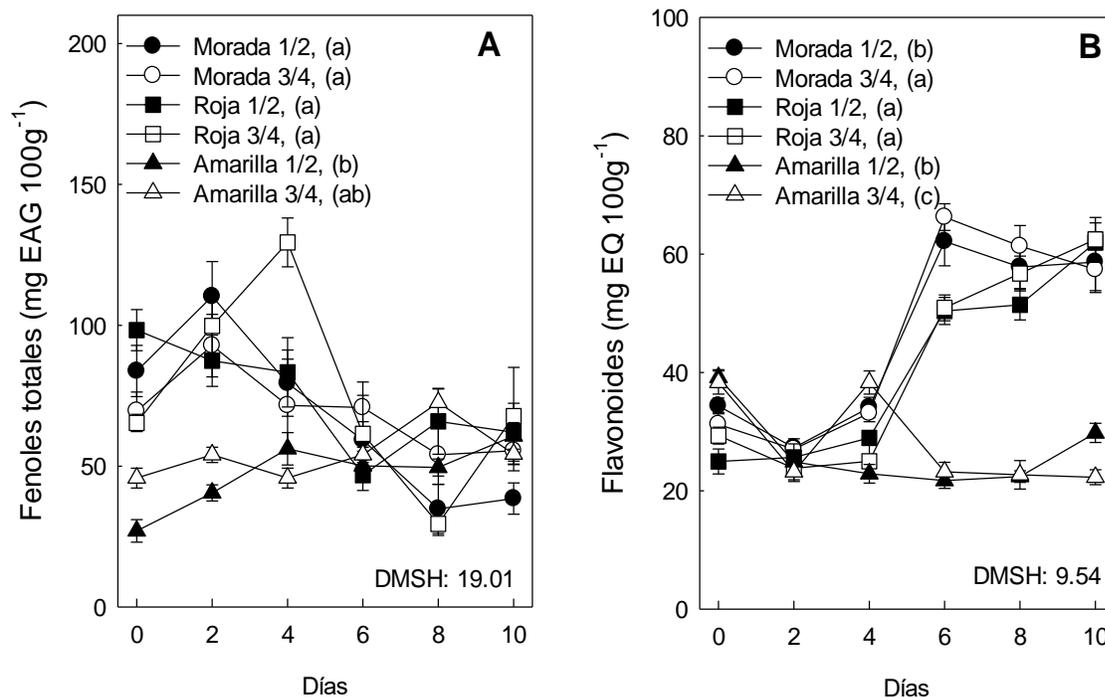


Figura 13. Cambios en fenoles y flavonoides en durante la maduración de tres variedades de ciruela mexicana cosechados en dos etapas de maduración. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

La actividad antioxidante evaluada por DPPH no determinó diferencias entre las variedades evaluadas (Figura 14 A). La actividad inicial fue entre 62 y 113 mg EAG 100g⁻¹, en los días posteriores se incrementó, alcanzado un máximo entre 140 y 168 mg EAG 100g⁻¹ sin un patrón definido (Figura 14 A). La actividad evaluada por ABTS si se detectaron diferencias entre variedades, así ‘Amarilla’ mostró la mayor actividad comparado con ‘Roja’ en etapas ¾ que mostró la menor actividad antioxidante (Figura 14 B). La actividad antioxidante evaluada por ABTS inicialmente fue entre 61 y 100 EAG 100g⁻¹ y posteriormente mostró una mayor actividad al cuarto y sexto día después de la cosecha entre 130 y 192 mg EAG 100g⁻¹ en las variedades ‘Morada’ y ‘Roja’ en ambas etapas de maduración cosechadas, en tanto que ‘Amarilla’ cuando se cosecha en madurez de ¾ la actividad antioxidante se mantiene entre 85 y 107 mg EAG 100g⁻¹, no así cuando

se cosecha en madurez $\frac{3}{4}$ cuya actividad se incrementa hasta 158 mg^{-1} a los 10 días de evaluación (Figura 14 B).

La actividad por el método de FRAP fue mayor en ‘Morada’ y ‘Roja’, inicialmente mostraron actividad entre 50 y $151 \text{ mg EAA } 100\text{g}^{-1}$, incrementándose significativamente hasta entre 483 y $560 \text{ mg EAA } 100\text{g}^{-1}$ mostrando variaciones en los días posteriores, pero manteniéndose entre 232 y $600 \text{ mg EAA } 100\text{g}^{-1}$ (Figura 14 C). En la variedad ‘Amarilla’ se observó menor actividad antioxidante, aunque inicialmente mostró entre 132 y $146 \text{ mg EAA } 100\text{g}^{-1}$ y se mantuvo entre 151 y $190 \text{ mg EAA } 100\text{g}^{-1}$ durante seis y ocho días y posteriormente disminuyó a valores entre 62 y $141 \text{ mg EAA } 100\text{g}^{-1}$ (Figura 14 C). No se detectaron diferencias entre etapas de maduración ($P \leq 0.05$).

Sollano-Mendieta et al. (2011) indicaron que la actividad antioxidante es mayor por ABTS que por DPPH, debido a que en la metodología de ABTS reaccionan moléculas tanto de naturaleza acuosa como lipídica. En el presente trabajo la mayor actividad se determinó en la metodología de FRAP.

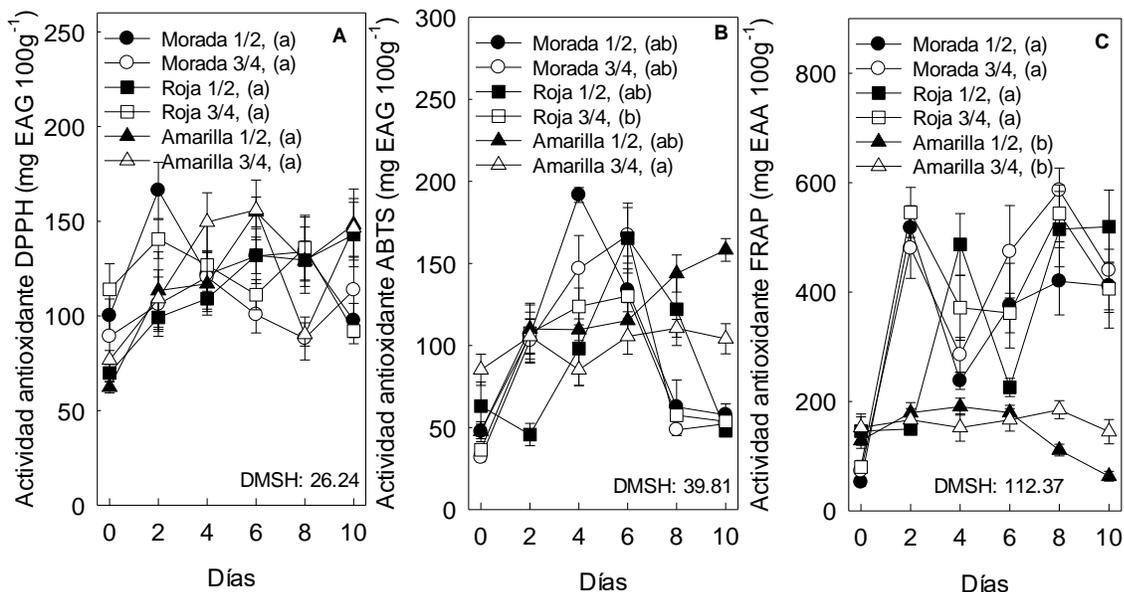


Figura 14. Cambios en actividad antioxidante durante la maduración de tres variedades de ciruela mexicana cosechado en dos diferentes etapas. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

La correlación entre el contenido de fenoles, flavonoides y las tres actividades antioxidante determinaron cierta asociación negativa y significativa entre fenoles totales y flavonoides totales ($r=$ entre -0.40^* y -0.60^{***}) con mayor evidencia en los frutos cosechados en madurez $\frac{1}{2}$ (Cuadro 4). La concentración de flavonoides totales mostró cierta asociación positiva con los métodos de evaluación de la actividad antioxidante cuando se cosecharon en madurez $\frac{1}{2}$ ($r=$ entre 0.48^{**} y 0.62^{**}) en la variedad ‘Roja’ (Cuadro 4). También se observó cierta asociación entre los flavonoides y los métodos de evaluación antioxidante, pero dicha asociación fue negativa ($r=$ -0.36^* y 0.51^*) en ‘Amarilla’ cosechada en madurez $\frac{1}{2}$ (Cuadro4). Suárez et al. (2017) determinó en ciruela mexicana de estación húmeda los fenoles y flavonoides están relacionados con la capacidad antioxidante y que varía en dependencia de la etapa de cosecha, prácticas culturales y de procesamiento. Sollano-Mendieta et al. (2021) determinaron que las ciruelas mexicanas son buena fuente de antioxidantes antes y después de someterlas a pruebas in vitro de digestión.

Cuadro 4. Correlaciones entre fenoles, flavonoides y actividad antioxidante en tres variedades de ciruela mexicana cosechadas con madurez $\frac{1}{2}$ y de $\frac{3}{4}$.

‘Morada’ Madurez Media		‘Morada’ Madurez $\frac{3}{4}$	
<i>Variables</i>	<i>r</i>	<i>Variables</i>	<i>r</i>
Fenoles vs Flavonoides	-0.604***	n.d.	n.d.
‘Roja’ Madurez media		‘Roja’ Madurez $\frac{3}{4}$	
<i>Variables</i>	<i>r</i>	<i>Variables</i>	<i>r</i>
Fenoles vs Flavonoides	-0.55**	Fenoles vs Flavonoides	-0.50**
Fenoles vs DPPH	-0.33**	Fenoles vs ABTS	0.54**
Flavonoides vs FRAP	0.48**		
Flavonoides vs DPPH	0.62**		
‘Amarilla’ Madurez media		‘Amarilla’ Madurez $\frac{3}{4}$	

<i>Variables</i>	<i>r</i>	<i>Variables</i>	<i>r</i>
Fenoles vs Flavonoides	-0.40**	Fenoles vs ABTS	0.45**
Fenoles vs DPPH	0.60**		
Fenoles vs ABTS	0.46**		
Flavonoides vs FRAP	-0.36*		
Flavonoides vs FRAP	-0.40*		
Flavonoides vs ABTS	-0.51*		

r= Coeficiente de correlación de Pearson.

4.5 CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas en los cambios físicos, químicos y fisiológicos entre las tres variedades de ciruela mexicana de estación seca evaluadas, las cuales son importantes para proponer tecnologías poscosecha que ayuden a incrementar su vida poscosecha. La excesiva pérdida de agua es un aspecto que se tiene que considerar para incrementar la vida poscosecha de la ciruela mexicana. No se determinaron diferencias entre etapas de maduración en el comportamiento de la maduración de las variedades de ciruela mexicana evaluadas.

4.6 LITERATURA CITADA

Álvarez, J. E. V., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S. H., Colinas-León, M. T., Nieto-Ángel, I., Rivera-Cabrera, F., Aguilar-Pérez, L. A. 2017. Ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea* L.)

de clima húmedo y seco: calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante. *Interciencia*, 42 (19): 653-660.

Alvarez-Vargas, J.E., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S.H., Colinas-León, M.T., Rivera-Cabrera, D. Nieto-Ángel, A. Cruz L., Aguilar Pérez L.A., Pelayo, C.Z. 2019. Phenological stages and fruit development in the mexican plum ecotype 'Cuernavaqueña' (*Spondias purpurea* L.). *Fruits*, 74(4): 194-200.

Arvouet-Grand, A., B. Vennat, A. Pourrat and P. Legret. 1994. Standardisation dun extrait de propolis et identification des principaus constituants. *J. Pharmacie Belgique* 49: 462-468.

Avitia G.E., Castillo G.A.M., Pimienta B.E. 2003. Ciruela mexicana y otras especies del genero *Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 75 p.

Barreiros, M.L., Jesus, R.A., Barreiros, A.L.B.S., Sandes, T.S., RAmalho, S.A., Narain, N. 2018. Evaluation of the antioxidant activity of eight fruits by DPPH method. *Acta Horticulturae*, 1198: 185-192.

Bautista-Baños, S., Díaz-Pérez, J.C., Barrera-Necha, L.L., Bravo-Luna, L. 2003- Estudio postcosecha de la ciruela Mexicana (*Spondias purpurea* L.) durante el almacenamiento. *Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha* 5(2): 82-85.

Benzie, I. F., J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.*239: 70-76.

Brand, W. W., M. E. Culivier, C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30.

- Cancino-Labra, S., Alia-Tejacal, I. Pérez-Arias. G.A., Villarreal-Fuenes, J.M., Juárez-López, P., Terán-Erazo, B. 2022 a. Cambios físicos, químicos y fisiológicos durante el crecimiento de tres ecotipos de ciruela Mexicana (*Spondias purpurea* L.). Agrociencia.
- Cruz, L.A., Rodríguez, H.B. 2012. Cultivo. In: Jocotes, jobos, abales o ciruelas Mexicana, Cruz, L.A., Pita, D.Á., Rodríguez, H.B. (eds.) Universidad Autónoma Chapingo, pp: 77-101.
- Díaz, P.G., Serrano, A.V., Ruíz, C. J.U., Ambriz, C.R., Cano, G.M.G. (2008). Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Morelos (período 1961-2003). Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental, Zacatepec. INIFAP. Libro Técnico Núm. 3. 155 p.
- Erkan, M., Dogan A. 2020. Harvesting of Horticultural Commodities. In: Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities. Yahia, E.M. (Ed.). Elsevier-Woodhead Publishing. pp:120-159.
- García, E. 1987. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM.
- Helrich, K. (1990). Official Methods and Analysis. (Arlington: Association of Official Analytical Chemists).
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, C. A., Jiménez-Hernández, J., Pelayo-Zaldívar, C., López-Martínez, V., Andrade-Rodríguez, M., Bautista-Baños, S., Valle-Guadarrama, S. (2014). Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. Scientia Horticulturae, 174: 193-206.
- Martins, L.P., Silva, S.M., Alves, R.E., Filgueiras, H.A.C. 2003. Desenvolvimento de frutos de cirigueira (*Spondias purpurea* L.). Revista Brasileira de Fruticultura 25(1): 11-14.
- Mohammed, M., Bridgemohan, P., Graham, O., Wickham, L., Bridgemohan, R.S.H., Mohammed, Z. 2019. Postharvest physiology, biochemistry and quality management of chili plum (*Spondias purpurea* var. Lutea): A review. Journal of Food Research, 8(3): 1-15.

- Montalvo, G.E., García, S.H., Mata, M. de O.M., Tovar, G.B. (2011) Efecto de la luz en ciruela Mexicana manejada en diferentes condiciones de almacenamiento. *CyTA-Journal Food*. 9(1): 65-70.
- Negueruela, Á.I. 2012. Is the color measured in food the color that we see?. In:Color in food. Technological and Psychophysical aspects. Caivano, J.L., Buera, M.P. (Eds.) CRC Press. 99: 81-91.
- Osuna, G. J.A., Pérez, B.M.H., Vázquez, V.V., Gómez, J.R. 2011. Aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y su efecto en ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3): 197-2004.
- Pérez, L.A., Saucedo, V.C., Arévalo, G. M de L., Muratalla, L.A. 2004. Efecto del grado de madurez en la calidad y vida postcosecha de ciruela Mexicana (*Spondias purpurea* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(2): 133-139.
- Pérez-Arias, G.A., Alia-Tejacal, I., Andrade-Rodríguez, M., López-Martínez, V., Pérez-López, A., Ariza-Flores R., Otero-Sánchez, M.A., Villarreal-Fuentes, J.M. 2008. Características físicas y químicas de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) en Guerrero. *Investigación Agropecuaria* 52(2): 141-149.
- Romero-Hinojosa, B.M., Arzate-Bolaños, J.J., Alia-Tejacal, I., Alvarez-Vargas, J.E., Pérez-Arias, G.A., Galindo-García, D.V., Guillén-Sánchez, D. 2021. Postharvest of four ecotypes of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) grown in Morelos, Mexico. *Current Topics in Agronomic Science* 1(1): 21-29.
- Sampaio, A.S., Bora, S.P., Holschuh, J.H. (2008). Postharvest respiration and maturation of some lesser-know exotic fruits from Brazil – ciriguela (*Spondias purpurea* L.). *Revista Ceres* 55(2): 141-145.

- Salveit, M.E. 2016. Respiratory metabolism. In: Postharvest Ripening Physiology of Crops. Pareek, S. (Ed.). CRC Press. pp:139-156.
- Singleton, V.L., R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Method. Enzymol.* 299: 152-178.
- Silva, S. de M., Martins, L.P., Alves, R.E., Filgueiras, H.A.C. 2001. Carbohydrate – related changes in red mombin (*Spondias purpurea*) fruit. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*, 45: 38-41.
- Sollano-Mendieta, X.C., Meza-Márquez, O.G., Osorio-Revilla, G., Téllez-Mendieta, D.I. 2021. Effect of in vitro digestion on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of 12 plum (*Spondias purpurea* L.) ecotypes. *Foods*, 10: 1995.
- Solórzano-Morán, S., Alia-Tejacal, I., Rivera-Cabrera, F., López-Martínez, V., Pérez-Flores, L.J., Pelayo-Zaldívar, C., Guillén-Sánchez, D., León-Sánchez, F. D., Maldonado-Astudillo, Y.I. 2015. Quality attributes and functional compounds of mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits*, 70(5): 261-270.
- Suárez, V.A., Juárez-López, P., López-Martínez, V., Pérez, F.L.J., Guillén, S.D., Alia-Tejacal, I. 2017. Antioxidant activity and physicochemical parameters in ‘cuernavaqueña’ mexican plum (*Spondias purpurea* L.) at different ripening stages. *Revista Brasileira de Fruticultura* 39(4): e- 787.
- Wills, R.B.H., Golding, J.B. 2016. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit vegetables. UNSW Press – CABI. New Zeland. 293 p.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 7 de noviembre de 2022.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y POSCOSECHA DE TRES VARIEDADES DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE ESTACIÓN SECA”** que presenta el: **ING. SAMUEL CANCINO LABRA**, mismo que fué desarrollado bajo mi dirección y la codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. IRAN ALIA TEJACAL
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

IRAN ALIA TEJACAL | Fecha:2022-11-07 08:48:08 | Firmante

ti1MeQ7B9Z3e1K2WOOEu5lyGNZ9kdsaJfT3LxWA8RdyMrPfqOMyBSIJg7lv2IAtMGbh+LUKpbHASxy042+tiK6Xh8N2IUwZYurkVm0jYqKy8MKdspwwU5cEwlb5XsQfCsc0xLx7+SHEQ9tma3LVUfrmSD7eN828HXWetvfz/biDatwW5s3/42tCDB2czu7wasL1bWblZiitbjEg+W/bSHMaS6gcsWTOgOGJ8ZVHIHq1We+e6eH+BOb1FESi/hR7Bc+swT+k/eiEzGjTBpD8JS7kz5sBSylZcynhERhZj7yuDt4j922+1JUXJfux1SmzwzXYiL2VijKvAno0TKBOQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[4qwdzcWQs](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/RpCQFwYNjnw7azyrzJIBGipuJUQCZMb>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 7 de noviembre de 2022.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y POSCOSECHA DE TRES VARIEDADES DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE ESTACIÓN SECA”** que presenta el: **ING. SAMUEL CANCINO LABRA**, mismo que fué desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES | Fecha:2022-11-07 18:37:36 | Firmante

NhT/w1SSiZWkBTjiG+h8AMgmsFaoHOhaolX0FMuz3uGEedV5bxtiABVAAb6tv8nal0nwg8C2V7XxPSes/KWatycoZBYM11j0wHYA/q1026pdK/o3vi80Vo/Hzno5MrPzORtkPRCSb
gRdKlfrTk3r+yR/28xmeh4v8g4wW3AERAMjhDVqrtrtKy5T01vdeuVzhGrJhPBj4/+gY01ZB8oXt2erCxMJl0b4YDPLMBI3aFEWnrGzccHpZGVkr2zRpNqsSXPj7VkvUhuUXftWh7MP
WVyJ2+KlrNmSlg3R3/qb3rSTo8WpUoULVzLkKk31HqMJN9R2luklhWJeWPXf+ZynN+SWQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[TauI93RAD](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/jklGtOsg9GalWosXU06PFLfCX09vbF1a>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 7 de noviembre de 2022.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y POSCOSECHA DE TRES VARIEDADES DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE ESTACIÓN SECA”** que presenta el: **ING. SAMUEL CANCINO LABRA**, mismo que fué desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | Fecha:2022-11-07 09:41:29 | Firmante

2MINAM7kf+8P8B/T4OJlUewbsaevR7KnjUPQ7cbcJ1Zi3O63ibDVYPatB+MOqA1Ercp5gP1znLw8npdyRkLdVoj8SLaKfxYVwBS1duZvIZ0xu4mwHeqL0DRH6wGJLEQIB0eDOG
wecVr2sxc67Mq+kQjymcLvynDntTb3/KY0CENQsJZEtKkAxAhjOBrUcUnx9cbhi9XNbUwZOhnllEbRkeTtfwego7l/6+He6Lf2NNnmhe+HMv9mUz4Za0Yh0rYgTnTp9l2GppiKbXg6Q
Vbc9MnoD1b5kA2jyaglprpm6piOvOcwXBNvjKOMsjlMDQfD6tbuzJaakSq0t+shGJ59g==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[u8p2lI7DQ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/bFm1aX9QL7XEvpRNk3rVzz7lFovdBUa>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 7 de noviembre de 2022.

Asunto: Voto Aprobación de Tesis

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y POSCOSECHA DE TRES VARIEDADES DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE ESTACIÓN SECA”** que presenta el: **ING. SAMUEL CANCINO LABRA**, mismo que fué desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. VÍCTOR LÓPEZ MARTÍNEZ
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VICTOR LOPEZ MARTINEZ | Fecha:2022-11-07 08:51:41 | Firmante

iyB9NMWHec04fGGse5PuS/+QQ328VnM6ykVuuj6sfMKiVos9KQX3x1K3noYm5PPjGrWU3gEud0jNaFC34+KeyCKMFjDWeYTWXJH4hbJ5aBx5C6UJlbdQ9utDnXiOnmuFILhvf+EnRiOKorHnjPMw6GS/RmJGHYU/59/7xHjSuydwDvcVSMRdtJENf66EdJFYg2at7G4nrFKAsywg229coVFrTclej7E7Msm2Ct8lt//Va6LOVREzaTeO+KEcof0F+6+kNHhTyOtFVAX62DBB3hV5HyZAS4MxWuQYdNZDPOc6oZ5Xi3pVUWdFr2y+bfamYCO4rCzTzFmzsKtzN8ovw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[Ns4y2uoSB](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/JTmXOFkvgkgHffc9XZmZ8GhNf0TBA0S>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Morelos, 7 de noviembre de 2022

Asunto: Voto Aprobación de Tesis.

MTRO. JESÚS EDUARDO LICEA RESENDIZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS.
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **“FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y POSCOSECHA DE TRES VARIEDADES DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE ESTACIÓN SECA”** que presenta el: **ING. SAMUEL CANCINO LABRA**, mismo que fué desarrollado bajo la dirección del **DR. IRAN ALIA TEJACAL** y la codirección de la **DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. BENITO TERÁN ERAZO
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 3304. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

BENITO TERAN ERAZO | Fecha:2022-11-07 09:01:21 | Firmante

oEOrZuaWy4BnLYSe2JcU4sCBvo4ygFIZD8YCI88DNvT/CXuQjS6BLEm1dnmumTg+Rp0/GRjS4EvA+P5Be0+fDoXGKniTpdaswZGDmWQ1E2DRTmOM7ZyrxtnKH9jDZD41s2RNFNWx4Wq2rW189fTsf/vtL4WArgxUiDzJtCubQdWjYzd8uX+MnyS1o9YqpavvAXXU2V/Tu35mi6/+cOkz6pL5U56jAVBhA6Eft7/KOX7bCEpY9oUR9LkOcmao79Z6umHQ5CbPDVEnN55c+cjKhwwJeUVJvUdJdqNEV1R0BS+RUgqBixM62xzaQgZQnUkzerSLm9o/EbMs2v71cej+zk+zg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[jXpCxRN0y](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/hIBSTkoB9mBPGkTCm9oHjFS6xbrYC75B>

