



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DAÑO POR COMPRESIÓN EN FRUTOS DE
CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.)**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA: EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL**

P R E S E N T A:

ING. JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ

COORDIRECTORES DE TESIS:

Dr. Irán Alía Tejacal

Dr. Artemio Pérez López

Cuernavaca, Morelos, Diciembre de 2018

DAÑO POR COMPRESIÓN EN FRUTOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.)

Tesis realizada por **Jazmín Selene Salazar Díaz** bajo la dirección del Comité Revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de :

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS EN DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR

Co-Director de tesis:

Dr. Irán Alía Tejacal

Co-Director de tesis:

Dr. Artemio Pérez López

Revisor:

Dr. Víctor López Martínez

Revisor:

Dr. Porfirio Juárez López

Revisor:

Dra. Clara Pelayo Zaldívar

Revisor:

Dra. Gloria Alicia Pérez Arias

Cuernavaca, Mor., Diciembre de 2018.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado mediante la beca de maestría con número 604703.

A la M.C. Alyn Mariana Palacios Sosa, por su apoyo en la implementación de algunas metodologías.

Al Dr. Irán Alía Tejacal, por su gran apoyo y su paciencia para la realización de esta tesis.

A los doctores Artemio Pérez López, Víctor López Martínez, Porfirio Juárez López, Clara Pelayo Zaldívar, Gloria Alicia Pérez Arias, por su comprensión, por su amabilidad, sus valiosas aportaciones e importantes observaciones para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Juan Álvarez por su apoyo y orientación.

A la M.C. Adabella Suarez por su gran apoyo y paciencia.

Al M.C. Vladimir Lezama López por su apoyo en todo lo administrativo y por sus consejos.

'La verdadera investigación sobre los problemas fundamentales requiere una gran cantidad de tiempo'

Hans Adolf Krebs

Agradezco con sinceridad:

A mis padres Juan Salazar Ruiz y Josefina Díaz Villalba por su gran apoyo incondicional, por ser los motores en mi vida, por darme su amor y consejos. A ellos esta tesis esta dedicada.

A mis hermanos Juan Jacobo Salazar Díaz y Viviana Eurídice Salazar Díaz por su amor y apoyo incondicional también a un pequeño ángel llamado kinko.

A mis amigos Ingrid, Francisco, Julio, Gamaliel por estar conmigo en los momentos de risas y compañerismo y por brindarme su amistad.

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.-OBJETIVO	4
3.- HIPÓTESIS	4
4.- MATERIALES Y MÉTODOS	5
4.1.Localización y material vegetal	5
4.2. Diseño de tratamientos	5
4.3. Variables evaluadas	6
4.3.1. Pérdida de peso	6
4.3.2. Parámetro de color	6
4.3.3. Velocidad de respiración y producción de etileno	7
4.3.4. Firmeza	7
4.3.5. Sólidos solubles totales	7
4.3.6. Acidez titulable	8
4.3.7. Azúcares totales	8
4.3.8. Contenido de fenoles	8
4.3.9. Contenido de carotenoides totales	9
4.4. Analisis de datos	10
5. Resultados y discusión	11
5.1. Ecotipo 'amarilla'	11
5.1.1. Pérdida de peso	11
5.1.2. Componentes de color	12
5.1.2.1 Luminosidad	12
5.1.2.2. Cromaticidad	14
5.1.2.3. Matiz	15
5.1.3. Respiración	16
6.1.4. Etileno	18
5.1.5. Firmeza	19
5.1.6. Sólidos solubles totales	20
5.1.7. Acidez titulable	21
5.1.8. Índice de sabor	22

5.1.9. Azúcares	24
5.1.10. Fenoles pulpa	25
5.1.11. Fenoles cascara	26
5.1.12. Carotenoides pulpa	27
5.1.13. Carotenoides cascara	28
5.2. 'Cuernavaqueña'	30
5.2.1. Pérdida de peso	30
5.2.2. Componentes de color	31
5.2.2.1. Luminosidad	31
5.2.2.2. Cromaticidad	32
5.2.2.3. Matiz	33
5.2.3. Respiración	34
5.2.4. Etileno	35
5.2.5. Firmeza	37
5.2.6. Sólidos solubles totales	38
5.2.7. Acidez titulable	39
5.2.8. Índice de sabor	40
5.2.9. Azúcares totales	41
5.2.10. Fenoles pulpa	42
5.2.11. Fenoles cascara	43
5.2.12. Carotenoides pulpa	44
5.2.13. Carotenoides cascara	45
6. Conclusiones	47
7. Literatura citada	48

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1.- Tratamientos de compresión evaluados en frutos de dos ecotipos de ciruela mexicana.	6

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.- Pérdida de peso de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar. 12
- Figura 2.- Luminosidad de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar. 13
- Figura 3.- Cromaticidad de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar. 14
- Figura 4.- Matiz de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar. 16
- Figura 5.- Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar. 17
- Figura 6.- Etileno de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar. 19
- Figura 7.- Firmeza de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar. 20
- Figura 8.- Sólidos solubles totales de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de 21

compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 9.- Acidez titulable de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en 22
diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de
compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada
punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 10.- Índice de sabor de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en 23
diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de
compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada
punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 11.- Azúcares totales en frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en 25
diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de
compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada
punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 12.- Fenoles en pulpa de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en 26
diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de
compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada
punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 13.- Fenoles en cáscara de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ 27
en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de
compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada
punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 14.- Carotenoides en pulpa de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ 28
en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de
compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada
punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 15.- Carotenoides en cáscara de frutos de ciruela mexicana 29
‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes
niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y
testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error
estándar.

Figura 16.- Pérdida de peso de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.	31
Figura 17.- Luminosidad de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.	32
Figura 18.- Cromaticidad de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.	33
Figura 19.- Matiz de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.	34
Figura 20.- Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.	35
Figura 21.-Etileno de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.	36
Figura 22.- Firmeza de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.	37
Figura 23.- Sólidos solubles totales de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a	38

diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 24.- Acidez titulable de frutos de ciruela mexicana 39
'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 25.- Índice de sabor de frutos de ciruela mexicana 40
'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 26.- Azúcares totales en frutos de ciruela mexicana 41
'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 27.- Fenoles en pulpa de frutos de ciruela mexicana 42
'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 28.- Fenoles en cáscara de frutos de ciruela mexicana 43
'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 29.- Carotenoides en pulpa de frutos de ciruela mexicana 45
'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite

elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

Figura 30.- Carotenoides en cáscara de frutos de ciruela mexicana 46
'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

RESUMEN

Se determinó los cambios físicos, químicos y fisiológicos en frutos de dos variantes de ciruela mexicana 'amarilla' y 'Cuernavaqueña' sometida a daño por compresión en diferentes niveles de compresión a) punto de biocedencia (PB) donde la compresión donde puede modificar el metabolismo del fruto sin llegar a la ruptura, b) limite elástico (LE) donde la compresión no le afecta al fruto porque recupera su forma original y un grupo testigo. Se realizaron pruebas de compresión uniaxial en frutos de tres etapas de maduración verde, $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde. El ecotipo 'amarilla' tuvo una pérdida de peso entre 3.24 y 3.37 % en PB y LE. En luminosidad existió poco efecto en las etapas de compresión teniendo un rango de $L = 55.5 - 47.4$ en los tres estados de maduración. En cromaticidad las etapas de maduración tuvieron un máximo de entre $C^* = 46$ y 49. En azúcares los frutos testigo tuvieron incremento de 91.56 mg g^{-1} , esto indica una aceleración del metabolismo de síntesis de azúcares promovida por el daño mecánico. En el ecotipo 'Cuernavaqueña', las cargas aceleraron los cambios de cromaticidad y los niveles de compresión punto de biocedencia y limite elástico no hubo algún efecto significativo en el resto de las variables medidas.

Palabras clave: Punto de biocedencia, límite elástico, compresión, daño mecánico.

ABSTRACT

The physical, chemical and physiological changes were determined in fruits of two variants of 'yellow' and 'Cuernavaqueña' Mexican plum subjected to compression damage at different compression levels a) biocedence point (BP) where the compression where it can modify the metabolism of the without reaching the break, b) elastic limit (EL) where the compression does not affect the fruit because it regains its original shape and a witness group. Uniaxial compression test were performed on fruits of three stages of green, $\frac{1}{2}$ green and $\frac{3}{4}$ green ripening. The 'yellow' ecotype had a weight loss between 3.24 and 3.37% in BP and EL. In luminosity there was little effect in the compression stages having a range of $L = 55.5 - 47.4$ in the three stages of maturation. In chromaticity, the maturation stages had a maximum of between $C^* = 46$ and 49. In sugars the control fruits had an increase of 91.56 mg g^{-1} , this indicates an acceleration of the synthesis metabolism of sugars promoted by mechanical damage. In the ecotype 'Cuernavaqueña', the loads accelerated the chromaticity changes and the levels of compression point of biocedence and elastic limit there was no significant effect in the rest of the variables measured.

Key word: Biocedence point, elastic limit, compression, mechanical damage

1. INTRODUCCIÓN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es una de las especies de fruto pequeño más popular de los trópicos americanos (Morton, 2013; Duarte y Paull, 2015). En México es un frutal muy prometedor, por su aceptación en el mercado, por tratarse de una especie con alta resistencia a la sequía y por producir en suelos pobres y delgados, en donde no se adaptan otros cultivos (Cuevas-Sánchez, 1992). La ciruela mexicana es un componente del estrato dominante de la selva baja caducifolia en una gran variedad de suelos, desde la costa de Sonora hasta Chiapas y la cuenca del Balsas, en la vertiente del Pacífico, y en la depresión central de Chiapas y norte de Yucatán y Quintana Roo, así como en el norte de Veracruz y este de San Luis Potosí en selvas bajas caducifolias y subcaducifolias (Pennington y Sarukhán, 2005).

El principal uso del fruto es para consumo en fresco y se comercializa en los mercados regionales del país y en la Central de Abasto de la Ciudad de México; en algunas regiones se hierven y se conservan o se deshidratan al sol para su consumo posterior (Avitia *et al.*, 2003). El consumo de frutos maduros suministra grandes cantidades de calorías (74 kcal 100 g⁻¹), debido a su alto contenido de carbohidratos (19.1 %), además de vitamina C (49 mg 100 g⁻¹) y moderadas cantidades de minerales tales como potasio (250 mg 100 g⁻¹) y calcio (17 mg 100 g⁻¹) además de compuestos antioxidantes como fenoles y carotenoides (Kozioł y Macia, 1998; Almeida *et al.*, 2011).

La ciruela mexicana es un frutal que a pesar de su distribución nacional en más de 60 % de los estados de nuestro país, su cultivo resulta escaso, ya que se produce poco en plantaciones comerciales y en huertos familiares, así como en bordos y límites de parcelas o potreros. La cosecha de la ciruela mexicana se realiza de modo manual, con la ayuda de ganchos o canastillas de carrizo, atadas a un palo largo (4 a 5 m), para evitar que la fruta se magulle. La recolección se hace cuando los frutos inician su maduración, para evitar pérdidas durante la maduración (Avitia *et al.*, 2003). Los frutos son colocados dentro de rejas hechas de madera cubiertas con papel de estraza y almacenadas a temperatura ambiente (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2014). Las rejas son transportadas a lugares de venta donde son comercializadas a minoristas.

Durante el manejo en cosecha y postcosecha, las lesiones mecánicas en frutos son las responsables de pérdidas significativas durante la distribución y comercialización. Ellas perjudican directamente la apariencia externa, que es primordial atributo de calidad de frutas, porque es el principal factor de rechazo por el consumidor (Sánchez et al., 2007). Un daño mecánico es la falla del producto bajo deformación excesiva que es provocada por la aplicación de una fuerza constante, oscilante o puntual cuyas variaciones se observan a diferentes intervalos (Manesco, 1998).

En general los frutos en fresco son susceptibles al daño mecánico durante la cosecha, empaque y transporte, lo cual puede resultar en una reducción sustancial de su calidad (Li y Thomas, 2014). Martínez-Romero (2004) indican que el daño mecánico de frutos durante postcosecha son debidos a: 1) impacto durante cosecha, selección, manipulación y transporte, 2) compresión por la carga de otros frutos durante empaque o almacenamiento, 3) abrasión entre frutos y materiales externos, 4) impactos con otros frutos o con contenedores, maquinaria, 5) punción y 6) vibración prolongada durante el transporte.

El daño mecánico acelera los procesos fisiológicos que conducen la senescencia y pérdida de valor nutricional del fruto (Opara y Pathare, 2014). El daño por compresión puede ocasionar el rompimiento del fruto, por ejemplo, en jitomate el diámetro del fruto se puede expandir hasta el punto de falla, o bien se puede observar una deformación permanente, como en los cítricos (Kays y Paull, 2004). El impacto es el daño mecánico más común, durante el impacto la energía es liberada rápidamente hacia la superficie del fruto y la carga elástica es más importante que la deformación plástica hasta el punto de ruptura o falla del tejido (Knee y Miller, 2004). Finalmente, el daño por vibración ocurre durante el movimiento de un cuerpo contra otro conduciendo a la remoción de capas superiores, la vibración requiere que la energía sea absorbida para remover material superficial pero no cause una falla del tejido (Li y Thomas, 2014). Se ha reportado que el daño mecánico de 1 a 4 cm² en plátano afecta su respiración y producción de etileno, lo cual reduce su calidad final (Li y Thomas, 2014). Es por lo tanto importante identificar la magnitud de las cargas y esfuerzos para mejorar las

técnicas de empaque, transporte manejo y control de daño mecánico, y así conservar su calidad (Ciro *et al.*, 2005).

Es importante también conocer como el daño mecánico por compresión afecta aspectos físicos, químicos y fisiológicos de los frutos para ofrecer alternativas de manejo de los frutos y evitar pérdidas durante la postcosecha. El fruto de ciruela mexicana es cosechado en diferentes etapas de maduración, por lo que existen diferencias en respuesta al daño mecánico. Considerando lo anterior se evaluaron en dos genotipos cargas de compresión en tres etapas de maduración para conocer los cambios durante la maduración de los frutos.

2. OBJETIVO

Determinar los cambios físicos, químicos y fisiológicos en frutos de dos variantes de ciruela mexicana sometida a daño mecánico por compresión en diferentes etapas de maduración para proponer mejoras en su manejo postcosecha.

3. HIPÓTESIS

Los frutos con madurez más avanzada mostrarán un deterioro mayor tras la aplicación de diversas cargas de compresión.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización y material vegetal

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias ubicado en el Campus Chamilpa de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Se colectaron frutos de dos ecotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea*) ubicados en los estados de Guerrero y Morelos en tres etapas de madurez de consumo. Los ecotipos fueron amarilla dulce y cuernavaqueña.

Los frutos se trasladaron al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Donde se ambientaron a la temperatura del laboratorio y posteriormente se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % y se seleccionaron por desarrollo de color y por ausencia de defectos.

4. 2. Diseño de tratamientos

Se realizaron pruebas de compresión uniaxial en frutos de tres etapas de maduración de cada ecotipo: verde, 1/2 verde y 3/4 de maduración para determinar el punto de biocendencia en donde la compresión puede modificar el metabolismo del fruto y el límite elástico donde la compresión no causa un efecto fisiológico y el testigo. Se realizaron compresiones en el eje ecuatorial en 15 frutos por etapa de maduración mediante una máquina universal de ensayos mecánicos SHIMADZU (EZ-Test, Nagagyo-ku, Japón) utilizando una velocidad de cruceta de $6 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-1}$ (ASAE, 2005) y una celda de carga de 100 N. Los datos de las propiedades mecánicas de las ciruelas se obtuvieron a partir de las gráficas de carga vs deformación.

Con los valores obtenidos se estableció un experimento donde se aplicaron a un grupo de cada ecotipo y en cada etapa de maduración las cargas máximas del límite elástico y punto de biocendencia. Adicionalmente se tuvo un grupo testigo el cual no se sometió a ningún tipo de compresión. Considerando lo anterior, se tuvieron nueve tratamientos por ecotipo (Cuadro 1). Después de que los frutos fueron sometidos a los

diferentes niveles de compresión, se maduraron a temperatura ambiente por 8 a 10 días y cada dos días se evaluaron variables físicas, químicas y fisiológicas.

Cuadro 1. Tratamientos de compresión evaluados en frutos de dos ecotipos de ciruela mexicana.

Etapa de maduración	Amarilla Carga (N)	Cuernavaqueña Carga (N)
Verde Punto de Biocedencia	90	90
1/2 verde Punto de Biocedencia	35	40
3/4 verde Punto de biocedencia	20	25
Verde Limite Elástico	45	45
1/2 verde Limite Elástico	25	35
3/4 verde Limite Elástico	10	15
Verde Testigo	0	0
1/2 verde Testigo	0	0
3/4 verde Testigo	0	0

4.3. Variables evaluadas

4.3.1. Pérdida de peso

La pérdida de masa se evaluó como lo indica Martínez *et al.* (2006). A cada fruto se le determinó diariamente su peso con ayuda de una balanza digital (OHAUS®), obteniéndose la pérdida de masa acumulada con la fórmula $[(P_i - P_f) / P_i \times 100]$. La unidad experimental fue un fruto y se tuvieron 10 repeticiones.

4.3.2. Parámetros de color

Se determinaron los parámetros de color, luminosidad (L^*), a^* y b^* en el epicarpio de la zona donde se desarrolló el daño por impacto de los frutos de ciruela mexicana por medio de un espectrofotómetro manual (X-Rite 3290®, USA). Los valores de a^* y b^* se transformaron a ángulo matiz ($h = \arctan^{-1} b^*/a^*$) y cromaticidad ($C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$) (Nguerula, 2012). La unidad experimental fue un fruto y se tuvieron 10 repeticiones.

4.3.3. Velocidad de respiración y producción de etileno

La tasa de respiración (CO₂) y la producción de etileno se cuantificaron mediante un sistema estático (Salveit, 2016) que consistió en colocar dos frutos de masa y volumen conocidos en recipientes de vidrio con capacidad de 145 mL, los cuales se cerraron herméticamente durante 2 h. Posteriormente, se tomó 1 mL de gas del espacio de cabeza a través del septo de los frascos, para inyectarlo a un cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890^a, equipado con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica conectada simultáneamente a un detector de ionización de flama (FID) a una temperatura de 170 °C y a otro de conductividad térmica (TCD) a 170 °C. Como gas acarreador se utilizó N₂ a un flujo de 2 mL min⁻¹. El inyector y el horno del cromatógrafo se mantuvieron a una temperatura de 150 y 80 °C, respectivamente durante las mediciones. Para la cuantificación se utilizaron estándares de CO₂ (460 mg L⁻¹) y etileno (100 mg L⁻¹) (Quark INFRA[®]). La unidad experimental en esta variable fue de dos frutos en un frasco y se tuvieron cinco repeticiones.

4.3.4. Firmeza

La firmeza del fruto se determinó como la fuerza necesaria para penetrar 5 mm en la pulpa del fruto mediante una estación de prueba EZ Test (Shimadzu[®], Japón),. En cada fruto se realizó una prueba de resistencia a la penetración con una punta metálica de 5 mm de diámetro y una velocidad de 20 mm min⁻¹, con ayuda del Software Trapezium[®] instalado a la estación de pruebas. La prueba se realizó en dos partes opuestas de cada fruto. La prueba se detuvo hasta que la sonda tuvo una penetración de 8 mm.

4.3.5. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales se determinaron a partir de dos gotas de jugo de cada fruto evaluado, extraídas con la ayuda de un Super Extractor (ATAGO[®]) las cuales se colocaron en un refractómetro ATAGO PAL-1[®] (Japón) los resultados se reportaron en °Brix.

4.3.6. Acidez titulable

La acidez titulable se determinó en pulpa y epicarpio, se tituló con NaOH 0.1 N, usando fenolftaleína como indicador, los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico (Solórzano-Moran, 2015). Se determinó el índice de sabor (IS) mediante el cálculo del cociente sólidos solubles totales (°Brix) y acidez titulable.

4.3.7. Azúcares totales

Los azúcares totales, se determinaron mediante el método de antrona descrito por Alia-Tejacal *et al.* (2002) usando como referencia una curva de calibración de glucosa. Para esto se tomó 1 g de pulpa que se colocó en un matraz Erlenmeyer, posteriormente se agregaron 50 mL de alcohol al 80 % y se mantuvieron en ebullición por 5 min. La solución alcohólica se dejó enfriar y se guardó en refrigeración (5 °C) por 15 días hasta su evaluación. La determinación de los azúcares totales se hizo a partir de 1 mL de la solución alcohólica que se evaporó en baño maría. Al residuo se le agregaron 100 mL de agua destilada y se agitó, se tomó 1 mL de la solución y se transfirió a un tubo Falcon adicionándole 2 mL de agua destilada; posteriormente, se agregaron 6 mL del reactivo de antrona (0.4 g de antrona + 100 mL de ácido sulfúrico), la aplicación del reactivo de antrona se realizó en baño de hielo. Después, la mezcla de reacción se colocó en ebullición durante cinco minutos, para posteriormente enfriarse en baño de hielo y tomar la lectura en un espectrofotómetro (Genesys® 6, USA) a 600 nm.

4.3.8. Contenido de fenoles

La concentración de fenoles se determinó conforme a la metodología de Folin-Ciocalteu, reportada por Waterman y Mole (1994). Se utilizó 1 g de tejido de ciruela mexicana picada finamente y colocada en un tubo de plástico de 30 mL, se agregaron 10 mL de agua destilada y pulverizaron con la ayuda de un homogenizador de tejidos Ultra Turrax (IKA®, Alemania), posteriormente se filtró. Se tomaron 0.5 mL del filtrado y mezclaron con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10), se dejó reposar por 5 minutos y después se agregaron 2 mL de carbonato de sodio (7.5% p/v), dejando reposar nuevamente por 2 horas, posteriormente se midió el sobrenadante en una celda

de cuarzo en un espectrofotómetro (HACH DR 5000[®], Estados Unidos) a 760 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100 g⁻¹ de peso fresco.

4.3.9. Contenido de carotenoides totales

Se utilizó la metodología reportada por Alia-Tejacal *et al.* (2002). Se tomó 1 g de tejido, se le adicionaron 15 mL de acetona y se homogeneizaron utilizando un mortero; el sobrenadante se colocó en un embudo de separación de 500 mL donde se agregaron 30 mL de hexano y 100 mL de agua destilada, se agitó para posteriormente dejar reposar hasta que se observó la separación de las fases orgánica y acuosa. La fase superior contenía los carotenoides en hexano y la inferior la acetona en agua; esta última fase (la acuosa) se desechó, quedándose con el embudo los carotenoides. El extracto conteniendo los carotenoides se lavó de 4 a 5 veces con 100 mL de agua destilada, con el fin de eliminar todos los restos de acetona; finalmente, tras 4 o 5 lavados se filtró el extracto a través de un embudo de filtración rápida usando papel filtro que contenía una capa de sulfato de sodio anhidro para poder eliminar los residuos de agua, y con una probeta de 100 mL se midió el volumen final.

El extracto de hexano con carotenoides se usó para cuantificar la absorbancia en un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific, China) a 452 nm. Los datos obtenidos se sustituyeron en la siguiente ecuación para calcular el contenido total de carotenoides:

$$\text{Contenido total de carotenoides} = \frac{A \times \text{volumen (mL)} \times 10^4}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \text{ peso de la muestra (g)}}$$

Dónde: A= absorbancia, volumen = volumen total del extracto, $A_{1\text{cm}}^{1\%}$ = coeficiente de absortividad al 1% del β -caroteno en hexano. La cuantificación de carotenoides totales se expresó como mg·100 g⁻¹ de peso fresco.

4.4. Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey a una probabilidad de 0.05 % (Castillo, 2011). Se elaboraron gráficas de las variables evaluadas usando el programa SigmaPlot® (Systat, 2010), reportándose el promedio de las observaciones y su error estándar.

5. Resultados y discusión

5.1. Ecotipo 'amarilla'

5.1.1 Pérdida de peso

La pérdida de peso en los frutos testigo en fase de maduración verde, $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde fue de 2.18, 3.29 y 3.24 % d^{-1} , lo que indica que en las etapas de madurez más avanzada la pérdida de peso fue mayor (Figura 1 C). Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) reportan que en frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada en similares condiciones de temperatura y humedad relativa, después de seis días de cosechada, la pérdida de peso fue de 1.91, 1.84 y 2.0 % d^{-1} en los frutos verde, $\frac{1}{2}$ verde y maduros, sin mostrar una clara diferencia entre las etapas de maduración. Lo anterior sugiere que las pérdidas de peso son diferentes en dependencia de la variedad evaluada

La compresión al límite elástico ocasionó mayor pérdida de peso en los frutos $\frac{3}{4}$ verde (3.37 % d^{-1}) y $\frac{1}{2}$ verde (2.05 % d^{-1}) que en los frutos verde (2.0 % d^{-1} ; Figura 1 B). Similarmente, en los frutos donde se aplicó la compresión al límite de biocedencia, en fase de maduración $\frac{3}{4}$ verde y $\frac{1}{2}$ verde, se tuvieron las mayores pérdidas de peso, entre 2.80 y 3.62 % d^{-1} , en comparación con los frutos verdes (2.3 % d^{-1} ; Figura 1A).

Los resultados no mostraron diferencias importantes en la pérdida de peso en la etapa verde por los tratamientos de compresión evaluados. En los frutos $\frac{1}{2}$ verde, la pérdida de peso fue menor cuando se aplicó la compresión a límite elástico y punto de biocedencia; finalmente en los frutos $\frac{3}{4}$ verde la pérdida de peso se incrementa conforme la compresión se aumentó de la compresión de punto elástico a punto de biocedencia (Figura 1 A-C). Lo anterior sugiere que los frutos verdes soportan más la compresión y los frutos $\frac{3}{4}$ verde son más susceptibles al daño mecánico por compresión

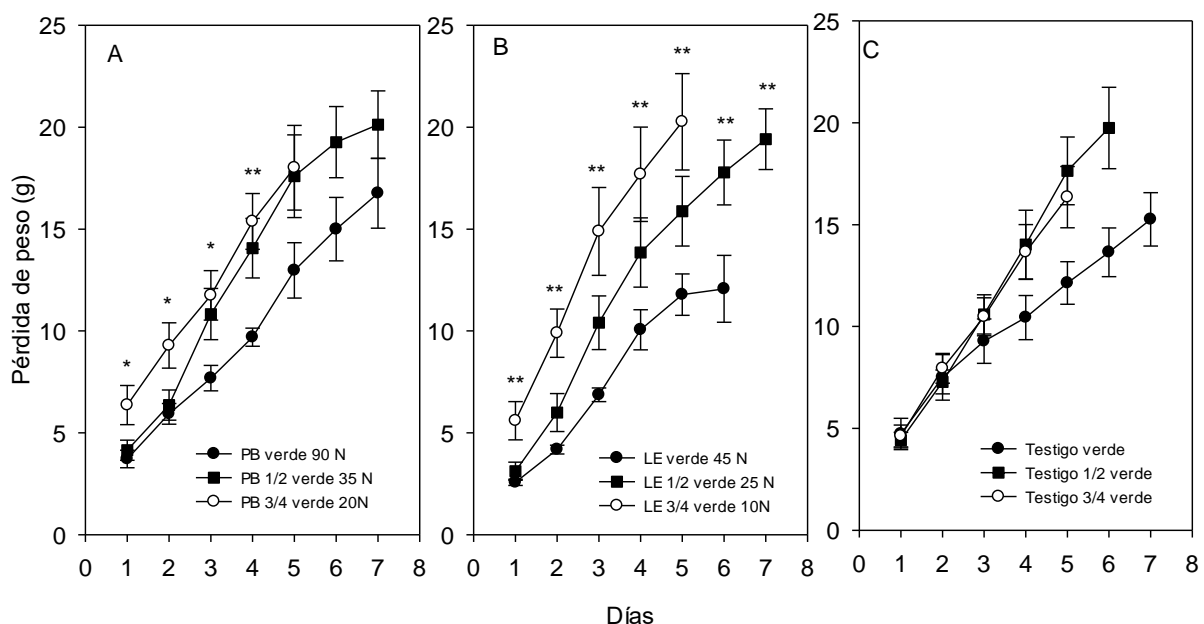


Figura 1. Pérdida de peso de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.2. Componentes del color

5.1.2.1. Luminosidad

La luminosidad en los frutos testigo verde se incrementó de $L^* = 41.77$ en la cosecha a $L^* = 55.5$ después de cuatro días, posteriormente a los siete días disminuyó a valores de $L^* = 47.4$ (Figura 2 C). En contraste los frutos $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde alcanzaron un máximo de $L^* = 48.9 - 49.8$ después de un día de cosechados, posteriormente en los frutos $\frac{3}{4}$ verde la luminosidad disminuyó constantemente hasta $L^* = 43.4$ después de cinco días. Posteriormente, los frutos $\frac{1}{2}$ verde se mantuvieron entre $L^* = 49.2$ y 49.1 durante dos días más, y después los valores disminuyeron constantemente hasta $L^* = 40.76$ a los siete días después de la cosecha (Figura 1 C). Pérez-Arias *et al.* (2008) reportan que la luminosidad de ecotipos de ‘amarilla dulce’ madura y en $\frac{3}{4}$ de

maduración tenían valores de luminosidad entre 56.18 y 58.15, en tanto que la ‘amarilla agria’ promedio valores de 33.96.

Los frutos verde, ½ verde y ¾ verde donde se aplicó compresión a límite elástico y punto de biocedencia tuvieron un gradiente en los días para alcanzar la máxima luminosidad; así los frutos en verde alcanzaron la L* = 55 y 56 después de 4 ó 5 días; los frutos ½ verdes L* = 54.3-54.9 después de tres días y los frutos ¾ verde entre L* = 51.76-51.86 después de uno o tres días (Figura A y B). Lo anterior sugiere que los tratamientos de compresión poco afectaron el parámetro de luminosidad, y que más bien fue la etapa de maduración la que condicionó las diferencias significativas detectadas.

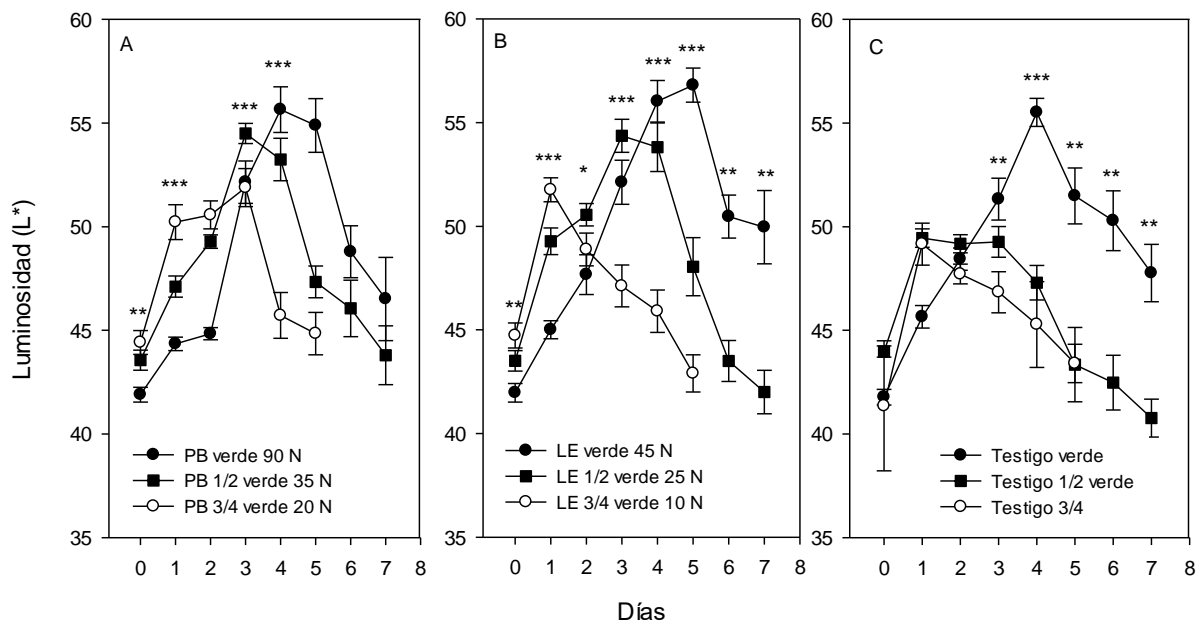


Figura 2. Luminosidad de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.2.2. Cromaticidad

La cromaticidad o pureza del color en los frutos testigo fue significativamente diferente entre las diferentes fases de maduración (Figura 3 C). En las tres etapas de maduración la pureza del color se incrementó hasta alcanzar un máximo entre $C^* = 46$ y 49 después de 4 ó 5 días de cosechados (Figura 3 C). Pérez-Arias et al. (2008) reportan valores de cromaticidad entre 43.82 y 45.35 en el ecotipo ‘amarilla dulce’ madura y con $\frac{3}{4}$ de maduración, mientras que el ecotipo ‘amarilla agria’ muestra valores de 27.31.

Cuando los frutos fueron sometidos a la compresión a limite elástico o punto de biocedencia no se detectaron diferencias significativas debidas a los niveles de compresión, pero si entre las diferentes etapas de maduración (Figura 3 A y B), ya que la cromaticidad se incrementó hasta $C^* = 45.2$ y 47 después de 3 ó 4 días de la compresión a punto de biocedencia (Figura 3 A) y entre $C^* = 45.8$ y 52 después de cuatro días después de la compresión a limite elástico (Figura 3 B).

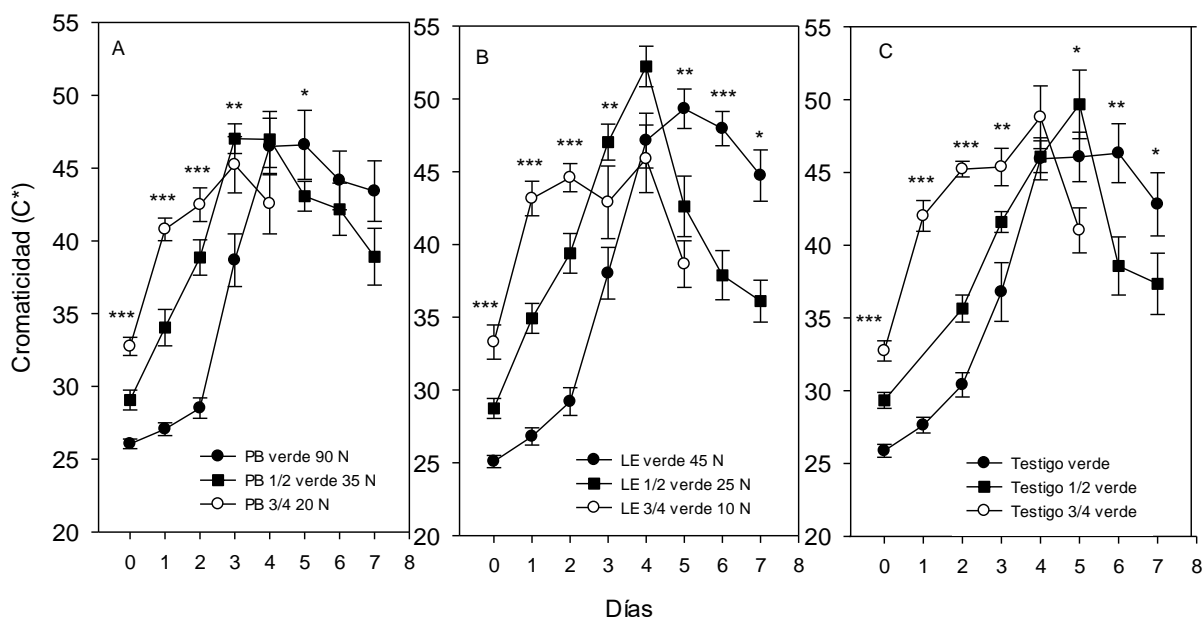


Figura 3. Cromaticidad de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE=

límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.2.3. Matiz

El matiz inicial en los frutos verdes fue de $h= 106.7$, indicando un color de la epidermis del fruto tendiente al verde, alcanzando un color tendiente al amarillo naranja $h= 71.83$, después de siete días (Figura 4 C). Los frutos clasificados como $\frac{1}{2}$ verde mostraron un color con mayor tendencia al amarillo $h= 95.96$ y después de siete días llegaron a un color amarillo-naranja, $h= 67.64$ (Figura 4 C). Finalmente, los frutos $\frac{3}{4}$ verde mostraron un color amarillo, $h= 86.55$, cambiando a un color cercano al naranja, $h= 61.5$ después de cinco días (Figura 4 C). El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre las etapas de maduración (Figura 4 C). Pérez-Arias *et al.* (2008) reporta que los frutos amarillos tienen valores entre $h= 22.89$ y 76.51 .

La aplicación de la compresión de los frutos al límite elástico o punto de biocedencia no afectó significativamente el comportamiento del color, ya que fue muy similar a los frutos testigo, observándose diferencias debido a la etapa de maduración (Figura 4 A y B). Los resultados sugieren escaso efecto de los niveles de carga evaluados en los componentes del color de la ciruela mexicana 'Amarilla'.

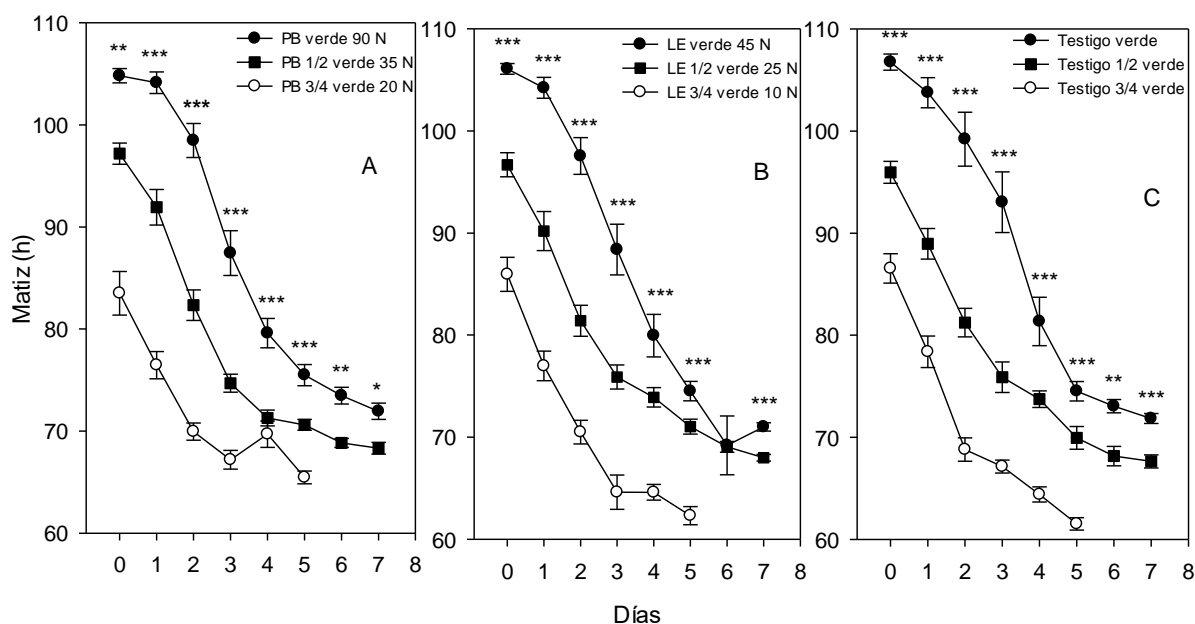


Figura 4. Matiz de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.3. Respiración

La respiración en los frutos verde, ½ verde y ¾ verde mostró un comportamiento climatérico, alcanzando el máximo de producción a los tres, cinco y dos días, respectivamente, alcanzando valores entre 9.8 y 11.0 mL kg⁻¹h⁻¹ (Figura 5 C). Pérez-López *et al.* (2004) indican que un ecotipo ‘amarillo’ rojizo proveniente de Pochutla, Oaxaca no mostró cambios significativos en la velocidad de respiración durante el almacenamiento, sugiriendo un comportamiento no climatérico. Sin embargo, Osuna *et al.* (2011) reportan que un ecotipo ‘amarillo’ proveniente de Ruiz, Nayarit exhiben un comportamiento climatérico en la respiración. Considerando la diversidad de ecotipos de ciruela mexicana en el país, es probable encontrar diversidad de comportamiento en la fisiología durante poscosecha.

En los frutos sometidos a compresión al límite elástico los frutos verde adelantaron el máximo climaterio el segundo día, en contraste los frutos ½ verde y ¾

verde alcanzaron su máximo climatérico al día cinco después de aplicar el tratamiento de compresión con valores entre 9.4 y 11.5 mL kg⁻¹h⁻¹ (Figura 5 B). Por otra parte, los frutos sometidos al punto de biocedencia mostraron el máximo climatérico a los cuatro días después de los tratamientos en los frutos verde y ½ verde, mientras los frutos ¾ verde lo alcanzo al tercer día; es decir dos días antes que los frutos de los otros tratamientos. Los valores de producción de CO₂ estuvieron entre 9.7 y 11 mL kg⁻¹h⁻¹ (Figura 5 A).

Los resultados no revelaron efecto por el nivel de compresión en los frutos de ciruela ‘amarilla’, dado que no se incrementó la producción de CO₂ y los máximos de producción no se adelantaron en el tiempo comparado con los frutos testigo (Figura 5).

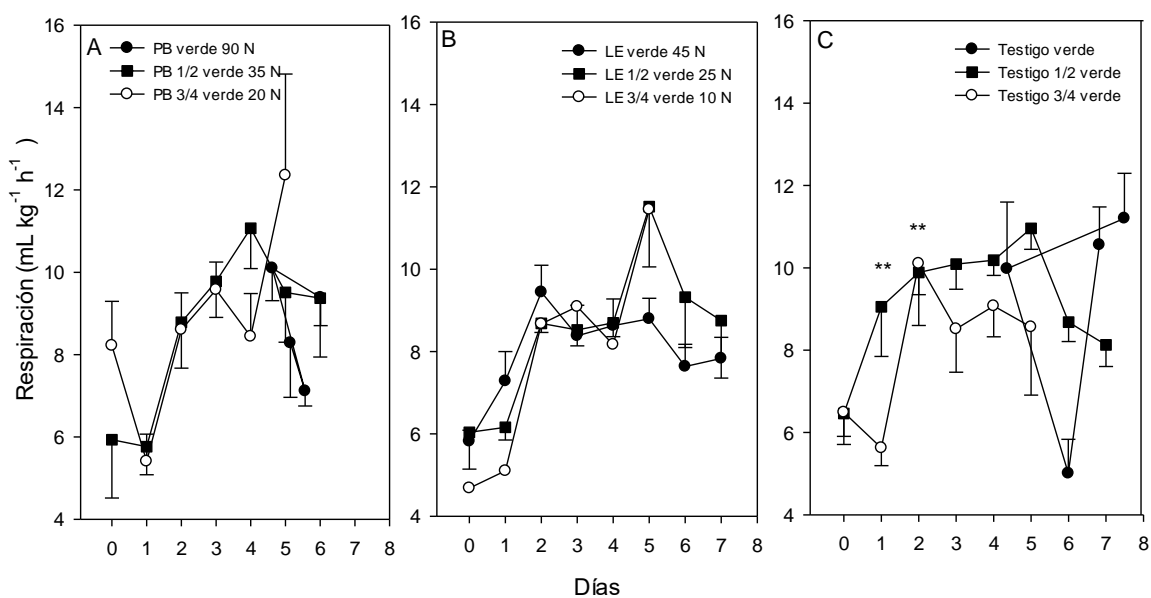


Figura 5. Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.4. Etileno

El etileno no se detectó en los frutos verdes utilizados como testigo (Figura 6 C). En tanto que en los frutos $\frac{1}{2}$ verde el etileno alcanzó la mayor producción al séptimo día con $313 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Figura 6 C). Los frutos $\frac{3}{4}$ verde mostraron un máximo de producción a los cuatro días de cosechados con $165.8 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Figura 6 C). En ciruela mexicana, Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) indican variabilidad en los comportamientos poscosecha del fruto, atribuidos a factores poscosecha como el origen geográfico, temperatura, incidencia luminosa, tipo de suelo, entre otros, por lo que el patrón de producción de etileno debe ser investigado con mayor detalle.

En los frutos sometidos al límite elástico en fase de maduración verde, $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verdes detectó un máximo de producción de etileno a los cuatro días, entre 54 y $106 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$; (Figura 4 B), posteriormente la producción de etileno mostró otro máximo a los siete días, pero solo en los frutos verde y $\frac{1}{2}$ verde con 118.4 y $253.5 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Figura 4 B).

Finalmente, en los frutos sometidos a compresión a punto de biocendecia, no se detectó producción de etileno en los frutos verdes; no así en los frutos $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde alcanzando la mayor producción a los siete y cinco días, respectivamente (Figura 4 A).

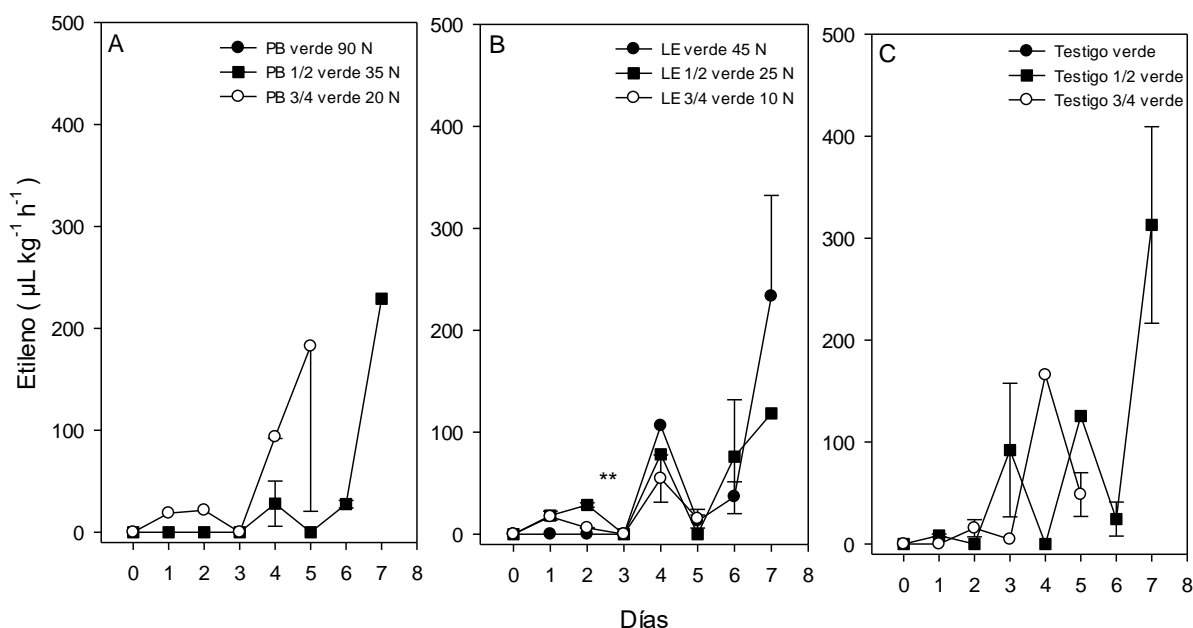


Figura 6. Etileno de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.5. Firmeza

La firmeza de los frutos testigo en madurez verde y $\frac{1}{2}$ verde fue significativamente mayor a los frutos $\frac{3}{4}$ verde, al inicio mostraron entre 5.7 y 7.1 N, mientras que los frutos $\frac{3}{4}$ verde tuvieron 2.7 N (Figura 6 C). Posteriormente, la firmeza disminuyó en los tres estados de maduración hasta 2 y 2.7 N después de siete días (Figura 6 C). Pérez-Arias *et al.* (2008) reportan valores de 1.66 N de firmeza en frutos de ‘amarilla’ dulce madura, 2.12 N en frutos de ciruela ‘amarilla’ en $\frac{3}{4}$ de maduración y 2.38 en el ecotipo ‘amarilla’ agria.

En los frutos verde sometidos a compresión al límite elástico y punto de biocedencia la firmeza inicial fue entre 7.6 y 8.6 N, dos días después disminuyó drásticamente hasta entre 3.7 y 3.8 N, y a los seis días la firmeza fue de 2.9 y 3. N (Figura A y B).

Por otra parte, los frutos $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde iniciaron con valores de firmeza similares entre 3.3 y 4.1 N y después de seis días la firmeza disminuyó hasta entre 1.5

y 2.2 N (Figura 6 A y B). No se detectaron diferencias en la firmeza atribuidas a los niveles de compresión evaluados, aquellas diferencias se atribuyen a las diferencias en la etapa de maduración (Figura 6).

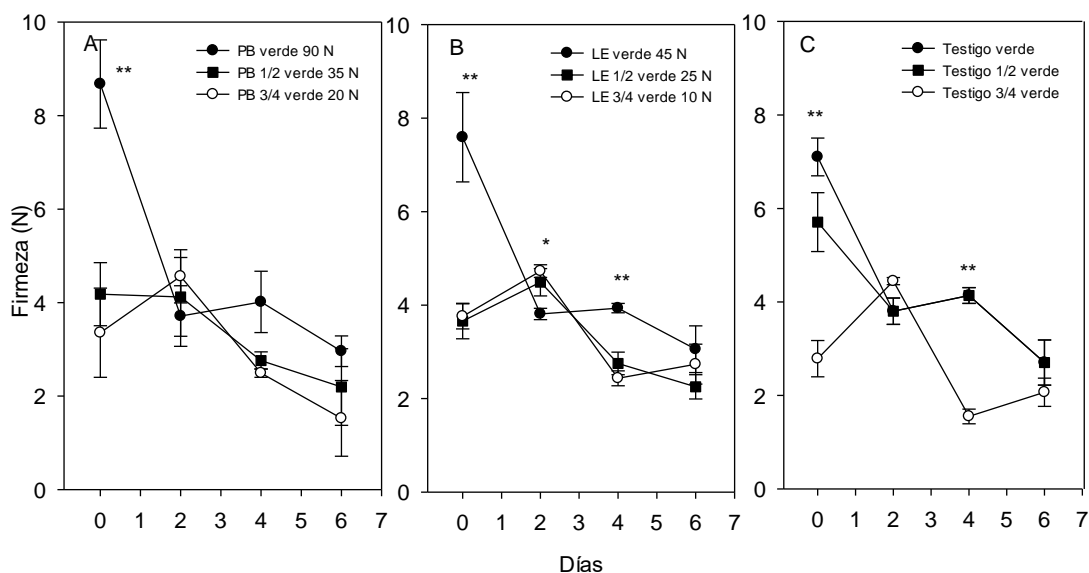


Figura 7. Firmeza de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.6. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales se incrementaron en los frutos testigo verde, ½ verde y ¾ verde, al inicio mostraron valores entre 8.6 y 10.6 °Brix, incrementándose hasta entre 12.2 y 13.9 °Brix a los seis días (Figura 7 C). El análisis de varianza no detectó diferencias en los sólidos solubles totales debidas a la etapa de maduración. Solorzano-Morán *et al.* (2005) reportan un tipo de ciruela ‘amarilla’ con 13.8 °Brix en madurez de consumo. Pérez-Arias *et al.* (2008) reportan entre 15.5 y 17.43 °Brix en ecotipos de ciruela ‘amarilla’ de Guerrero. Ramírez-Hernández *et al.* (2008) reportan ecotipos ‘amarilla’ de Jalisco y Nayarit con valores de sólidos solubles entre 13 y 15.6 °Brix.

En los frutos donde se aplicó la compresión al límite elástico, los frutos verdes incrementaron significativamente los sólidos solubles totales, de 9.4 °Brix a 14.7 °Brix a

los seis días (Figura 7 B). En tanto que los frutos ½ verde y ¾ verde iniciaron entre 8.5 y 8.7 °Brix, y después de seis días alcanzaron valores cercanos a 13 °Brix (Figura 7 B).

En los frutos sometidos a compresión hasta el punto de biocedencia los frutos verde alcanzaron los valores mayores de sólidos solubles totales (15.1 °Brix), ya que los frutos ½ verde y ¾ verde alcanzaron entre 3.5 y 13.7 °Brix (Figura 7 A). Sin embargo, el análisis de varianza determinó efecto nulo por el nivel de aplicación de carga y tampoco se detectaron diferencias por la etapa de maduración (Figura 7 A).

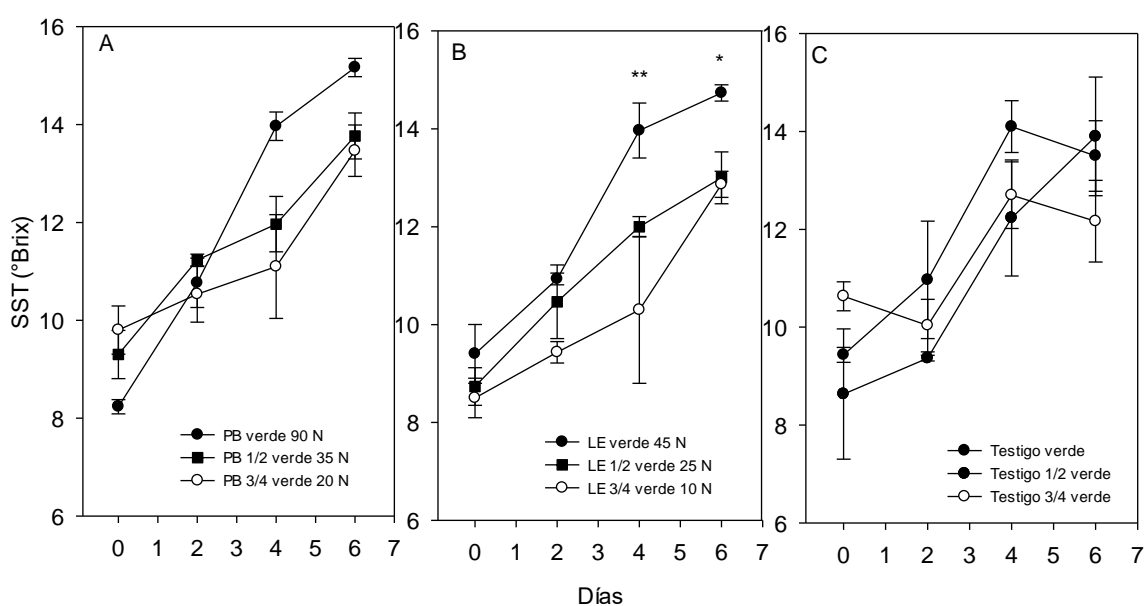


Figura 8. Sólidos solubles totales de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.7. Acidez titulable

La acidez titulable fue significativamente mayor en los frutos verde testigo, incrementándose hasta 0.67 % después de cuatro días (Figura 8 C.). Los frutos ½ verde y ¾ verde aumento su acidez de 0.33 y 0.6 % a 0.5 y 0.47 % al cuarto día después de la cosecha (Figura 8 C). Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) indican que la acidez titulable

disminuye durante la maduración de ciruela mexicana, aspecto diferente en los frutos ecotipo ‘amarilla’ en el presente trabajo.

No se detectó efecto de los niveles de carga al limite elástico y punto de biocedencia en la acidez titulable y tampoco se detectaron diferencias significativas por la etapa de maduración (Figura 8 A y B). Solo se observaron incrementos de 0.36 y 0.44 % al inicio de la evaluación a valores de 0.58 y 0.59 % a los cuatro días (Figura 8 A y B).

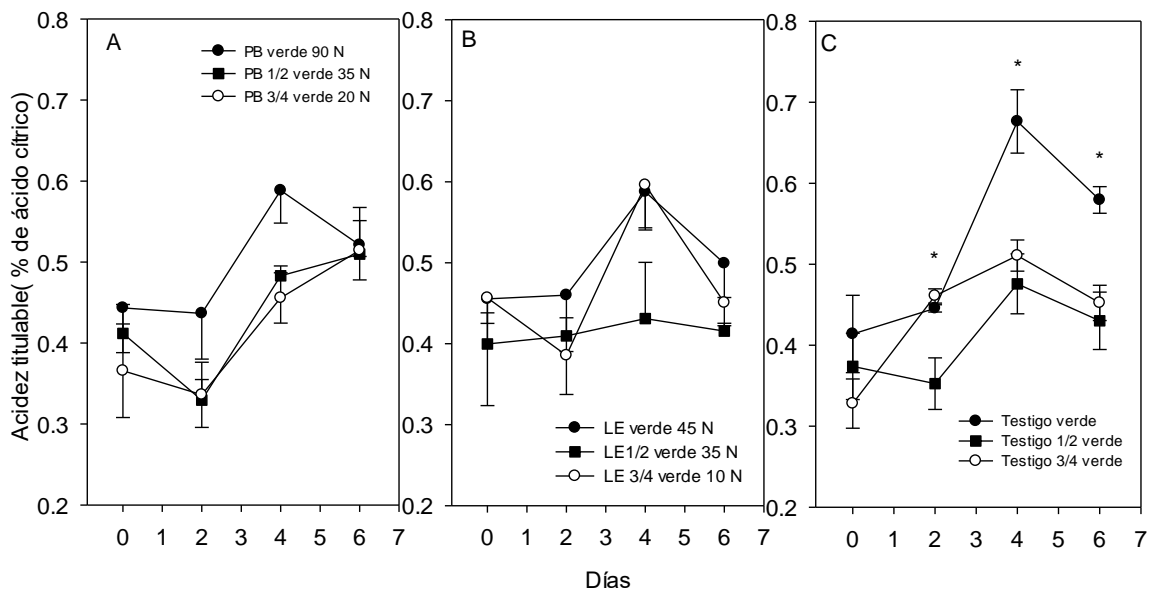


Figura 9. Acidez titulable de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.8. Índice de sabor

El índice de sabor en los frutos testigo mostró diferencias a los seis días de la evaluación (Figura 10 C). Así, los frutos verde se mantuvieron entre 23.3 y 24, en los frutos ½ verde se incrementó de 24.4 a 32.5, mientras que los frutos ¾ inició con valores

de 32.81, disminuyó hasta 21.81 y finalmente se incrementó hasta 26.87 a los seis días (Figura 9 C.) Pérez-López *et al.* (2004) indicó que en el ecotipo ‘amarillo’ de Oaxaca en madurez $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de amarillo, alcanzaron valores de 16.9 y 20.6, respectivamente (Figura 10 C).

No se determinaron diferencias significativas entre las diferentes cargas aplicadas a limite elástico y punto de biocedencia (Figura 9 A y B). No se observaron diferencias entre las diferentes etapas de maduración, en las etapas evaluadas el índice de sabor se incrementó de valores entre 20.9 y 22.5 hasta 28.8 y 31.1 durante seis días en los frutos sometidos a limite elástico; en los frutos sometidos a punto de biocedencia se incrementó de entre 19 y 27 a 29 y 34, aunque estos máximos fueron a los dos días o hasta los seis días (Figura 9 A).

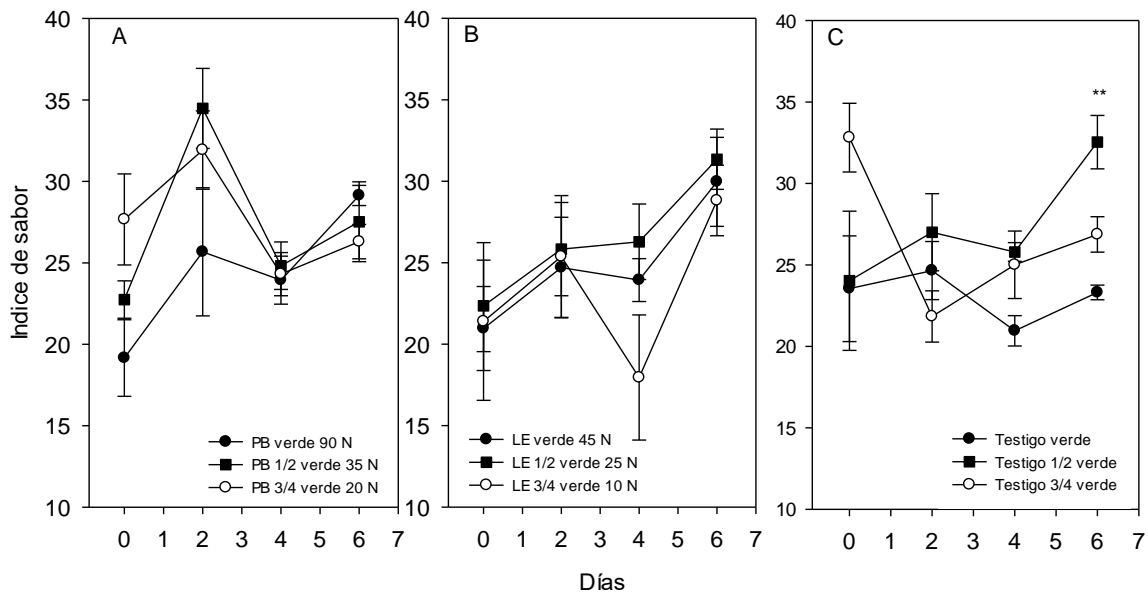


Figura 10. Índice de sabor de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.9. Azúcares

Los azúcares totales se incrementaron en los frutos utilizados como testigo, donde los frutos $\frac{3}{4}$ verde alcanzaron los valores mayores de azúcares a los cuatro días (91.56 mg g⁻¹ de peso fresco), posteriormente los frutos $\frac{1}{2}$ verde alcanzaron los valores máximos de azúcares a los seis días (90.03 mg g⁻¹ de peso fresco), en tanto que los frutos verdes al final de las evaluaciones solo alcanzaron alrededor de 70 % de los azúcares (67.81 mg g⁻¹ de peso fresco) acumulados por los frutos de las demás fases de maduración (Figura 11 C). Lo anterior indica, que los frutos verdes no alcanzan la calidad adecuada si son cosechados en dicha fase, no así los frutos $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde. Solorzano-Morán *et al.* (2015) reportan que un ecotipo 'amarillo' acumulo 121.2 mg g⁻¹ de peso fresco de azucares totales.

En los frutos donde se aplicó la carga al límite elástico, se detectaron diferencias en la concentración de azúcares totales durante los primeros cuatro días de evaluación, donde los frutos $\frac{3}{4}$ verde alcanzaron hasta 70.81 mg g⁻¹ de peso fresco, pero en el sexto días los frutos de las diferentes etapas de maduración alcanzaron valores entre 80 y 85 mg g⁻¹ de peso fresco (Figura 11 B)

En el caso de los frutos, sometidos al punto de biocedencia, los frutos verde y $\frac{3}{4}$ verde mostraron la mayor acumulación de azúcares totales durante todo el periodo de evaluación alcanzado entre 84 y 85 mg g⁻¹ de peso fresco, en tanto que los frutos verde solo alcanzaron hasta 70 mg g⁻¹ de peso fresco (Figura 11 A). Estos resultados sugieren que la carga al límite elástico y punto de biocedencia ocasiono que los frutos verdes alcanzaran o superaran los valores $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde, indicando una aceleración del metabolismo de síntesis de azúcares promovida por el daño mecánico.

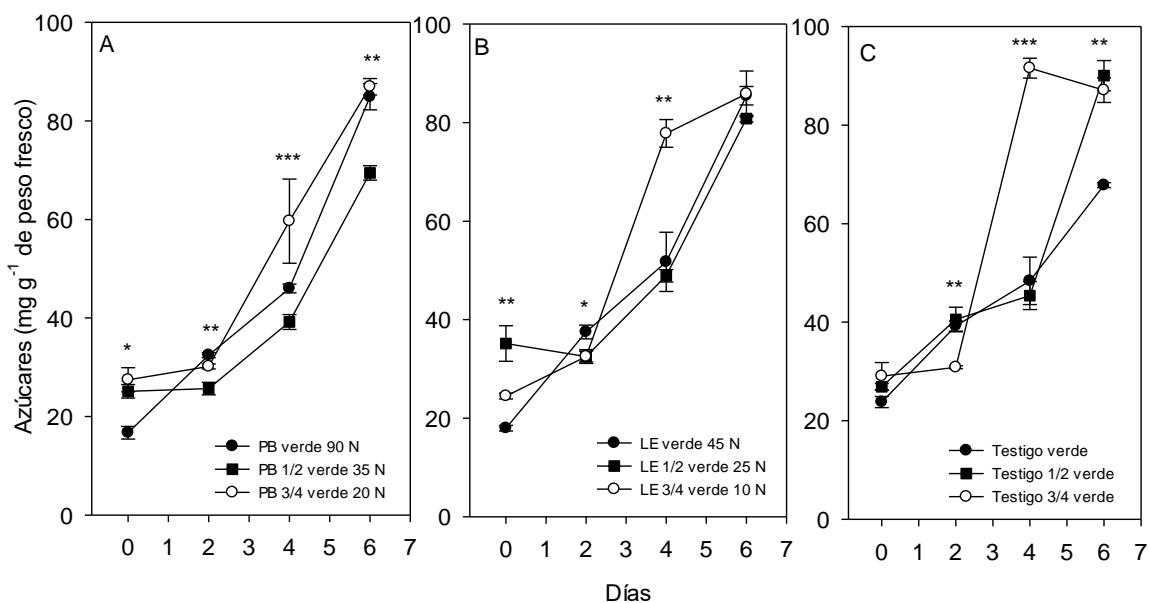


Figura 11. Azúcares totales en frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.10. Fenoles pulpa

Los fenoles en la pulpa de la ciruela mexicana ‘amarilla’ testigo mostraron gran variabilidad, no encontrando diferencias significativas entre ellos a excepción del cuarto día, donde los frutos ½ verde disminuyeron drásticamente su concentración hasta 16.23 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (Figura 12 C), al final de las evaluaciones la concentración entre las tres etapas fue entre 19.4 y 21.8 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (Figura 12 C). Solorzano-Morán *et al.* (2015) reportan valores de 60 mg g⁻¹ en un ecotipo ‘amarillo’ de ciruela mexicana.

En el caso de los frutos sometidos a compresión a limite elástico y punto de biocedencia no mostraron diferencias en los fenoles de pulpa atribuidos a los niveles de carga y tampoco atribuidas a las etapas de maduración (Figura 11 A y B). La variabilidad en los datos afectaron la detección de diferencias (Figura 11 A y B).

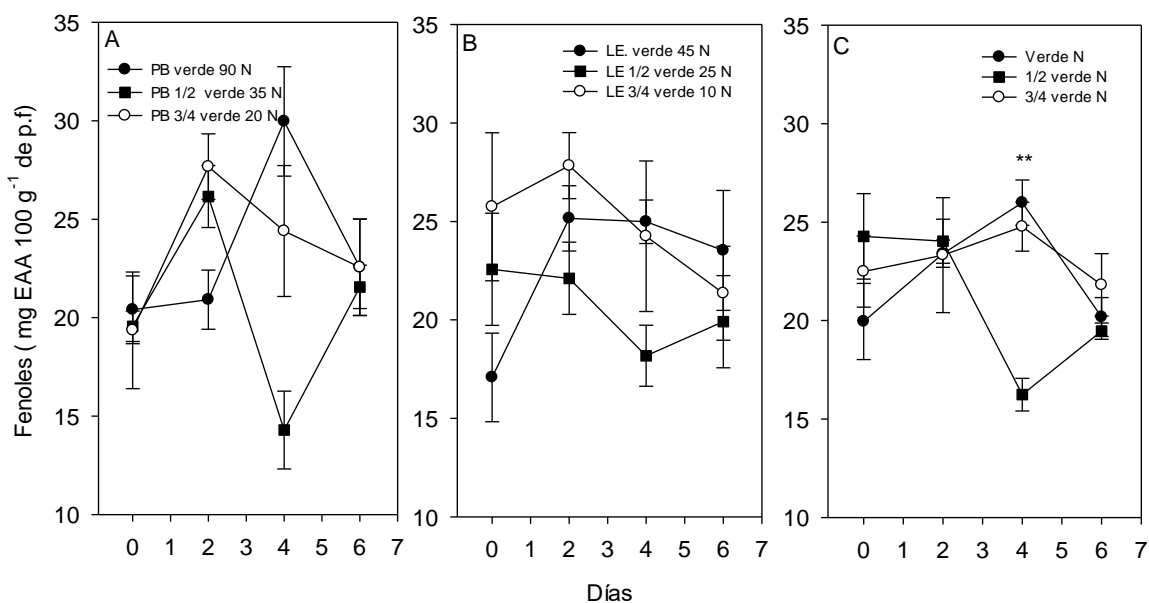


Figura 12. Fenoles en pulpa de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.11. Fenoles cáscara

Los fenoles en la cáscara de los frutos testigo, no mostraron diferencias atribuidas a la etapa de maduración, los fenoles se mantuvieron entre 34 y 41 mg 100 g⁻¹ de peso fresco durante el periodo de evaluación (Figura 13 C). Solorzano-Moran et al. (2015) reportan 260 mg g⁻¹ de peso fresco de fenoles totales en el epicarpio del fruto de ciruela mexicana ecotipo ‘amarillo’, valores superiores a los reportados en el presente trabajo, lo que evidencia la diversidad de ecotipos que pueden encontrarse en México o la influencia de diversas condiciones ambientales en la composición química de las ciruelas.

Los tratamientos de compresión a limite elástico y punto de biocedencia no afectaron los niveles de fenoles en el epicarpio epidermis, manteniéndose entre 33 y 43 mg g⁻¹ de peso fresco en los frutos de limite elástico y entre 35 y 42 mg g⁻¹ de peso fresco en los frutos al punto de biocedencia (Figura 13 A y B).

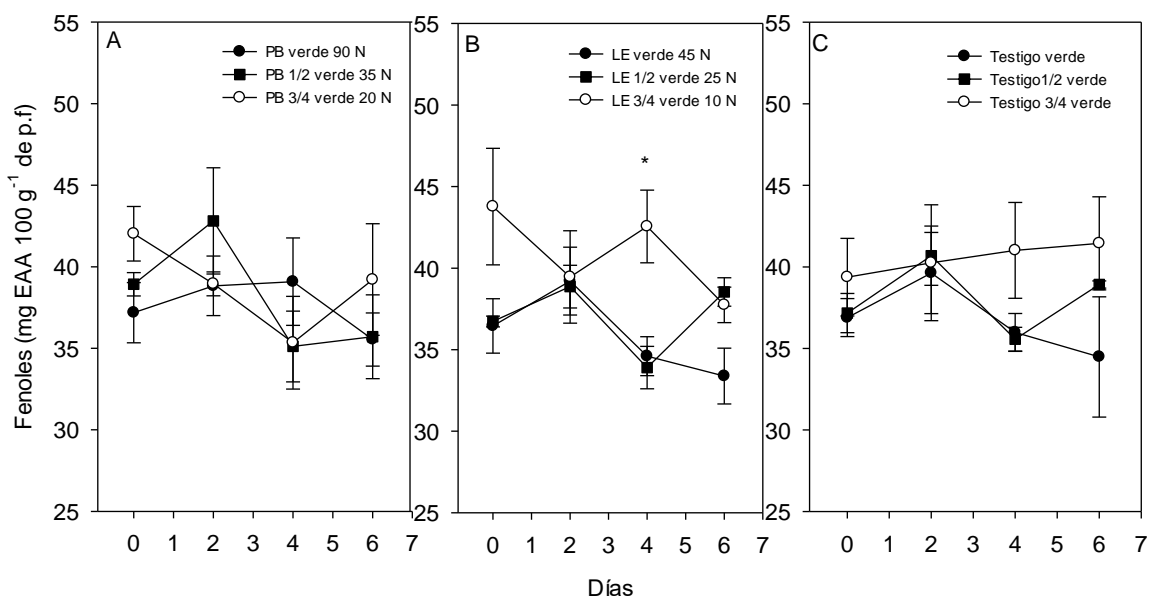


Figura 13. Fenoles en cáscara de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.12. Carotenoides pulpa

Los carotenoides en pulpa de los frutos testigo tuvieron similitud estadística durante los primeros dos días de evaluación manteniéndose con valores entre 103 y 104 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, al cuarto día los carotenoides se incrementaron significativamente en los frutos ¾ verde con 212.65 mg 100 g⁻¹ de peso fresco en tanto que los frutos verde y ½ verde se mantuvieron entre 106 y 149 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (Figura 16 C). Solorzano-Moran *et al.* (2015) reportan 2.8 mg 100 g⁻¹ de peso fresco en un ecotipo ‘amarillo’ de ciruela mexicana.

En los frutos ½ verde y ¾ verde los carotenoides se incrementaron significativamente en el periodo de evaluación, alcanzando concentraciones entre 169 y 170 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (Figura 16 B). En contraste los frutos verdes mostraron poca acumulación de carotenoides, manteniéndose entre 82 y 104 mg 100 g⁻¹ de peso

fresco (Figura 16 B), sugiriendo un efecto negativo del nivel de carga en esta etapa de maduración.

En los frutos sometido al punto de biocedencia, los frutos $\frac{3}{4}$ maduro y $\frac{1}{2}$ verde mostraron los valores mayores de carotenoides totales a los cuatro días, entre 146 y 244 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, en tanto que los frutos verdes acumularon en esa fecha 116.6 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (Figura 16 A) y manteniéndose en las mismas tendencias por el resto de las evaluaciones (Figura 16 A). Los resultados sugieren efecto negativo de los niveles de carga evaluados en la concentración de carotenoides de los frutos verde.

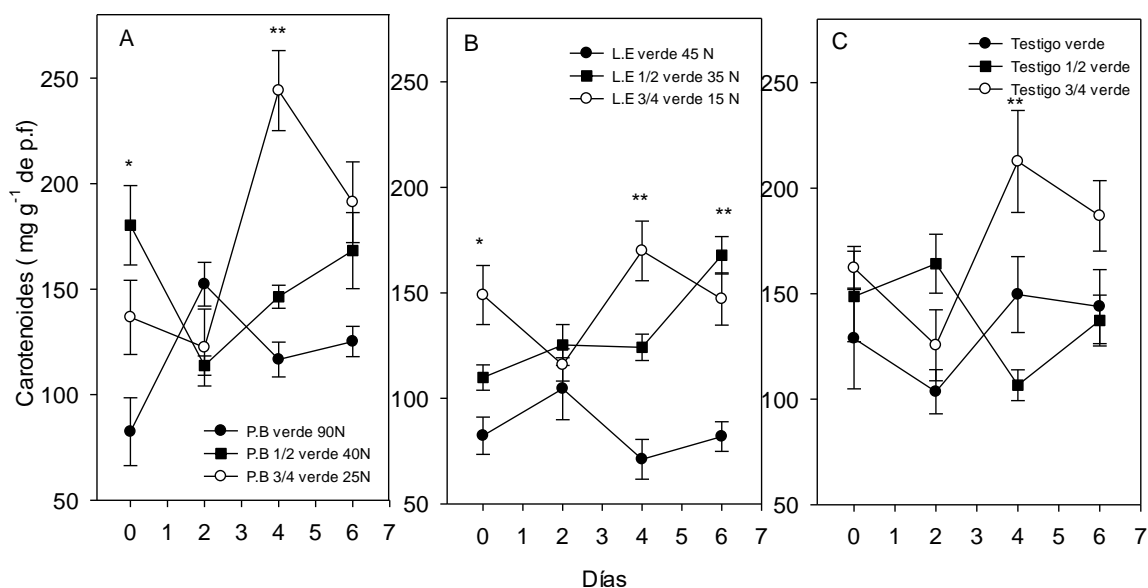


Figura 14. Carotenoides en pulpa de frutos de ciruela mexicana 'amarilla' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.1.13. Carotenoides cáscara

Los carotenoides en la cáscara de los frutos testigo no mostraron diferencias significativas durante el periodo de evaluación, a excepción del segundo día, cuando

los frutos verde y $\frac{3}{4}$ verde disminuyeron su concentración hasta entre 226 y 227 mg g⁻¹ de peso fresco, posteriormente los valores se mantuvieron entre 258 y 310 mg g⁻¹ de peso fresco (Figura 15 C). En los frutos sometidos a compresión al límite elástico no se determinaron diferencia entre los diferentes niveles de carga, aunque se observó un incremento en los valores de entre 218 y 271 mg 100 g⁻¹ de peso fresco al inicio del experimento hasta valores entre 253 y 296 mg 100 g⁻¹ de peso fresco al final de las evaluaciones (Figura 14 B).

En el caso de los frutos sometidos a compresión al punto de biocedencia los frutos $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde tuvieron mayor concentración en carotenoides totales, manteniéndose entre 276 y 320 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, no así los frutos verde que su concentración en la cáscara se mantuvieron entre 243 y 252 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, durante todo el periodo de evaluación (Figura 15 A). Los resultados sugieren que el nivel de carga a punto de biocedencia en los frutos verde, afectó el metabolismo de carotenoides en la cáscara.

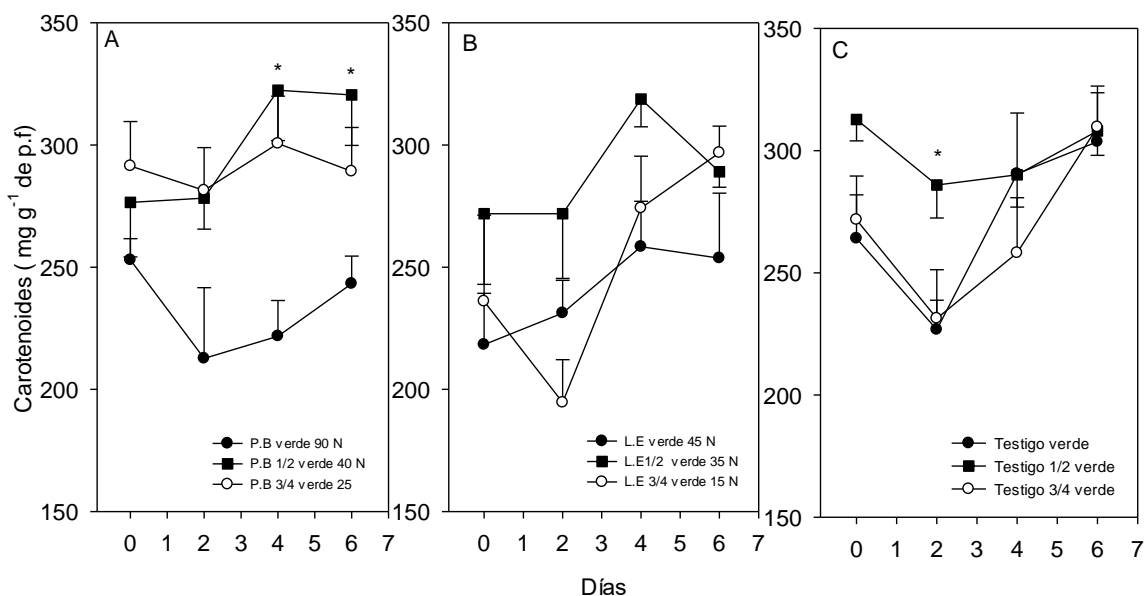


Figura 15. Carotenoides en cáscara de frutos de ciruela mexicana ‘amarilla’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2. 'Cuernavaqueña'

5.2.1 Pérdida de peso

Los frutos testigo mostraron diferencias en la pérdida de peso, así los frutos verdes tuvieron una velocidad de pérdida de peso de $1.31 \% d^{-1}$, los frutos $\frac{1}{2}$ verde de $1.48 \% d^{-1}$ y los frutos $\frac{3}{4}$ verde de $1.56 \% d^{-1}$ (Figura 16 C). Estos resultados contrastan con los reportados por Maldonado-Astudillo et al. (2014), quienes evaluaron la pérdida de peso entre 1.91 y $2.06 \% d^{-1}$ en frutos de ciruela 'Cuernavaqueña' inmaduros, medio verdes y maduros, y no encontraron diferencias en esta variable. Probablemente atribuidos a las condiciones de HR y temperatura de evaluación, la cuales no son reportadas.

Los frutos sometidos a compresión a limite elástico o punto de biocedencia, no mostraron diferencias en cuanto a la velocidad de pérdida de peso entre las etapas de maduración (Figura 16 A y B). Aunque, los frutos sometidos a limite elástico tuvieron pérdida de peso entre 6.8 y 8.12% después de seis días, en tanto que los frutos sometidos a punto de biocedencia tuvieron entre 8.5 y 10.1% de perdida en el mismo periodo y los frutos testigo entre 7.9 y 9.4% (Figura 16), no observándose una clara tendencia de los tratamientos.

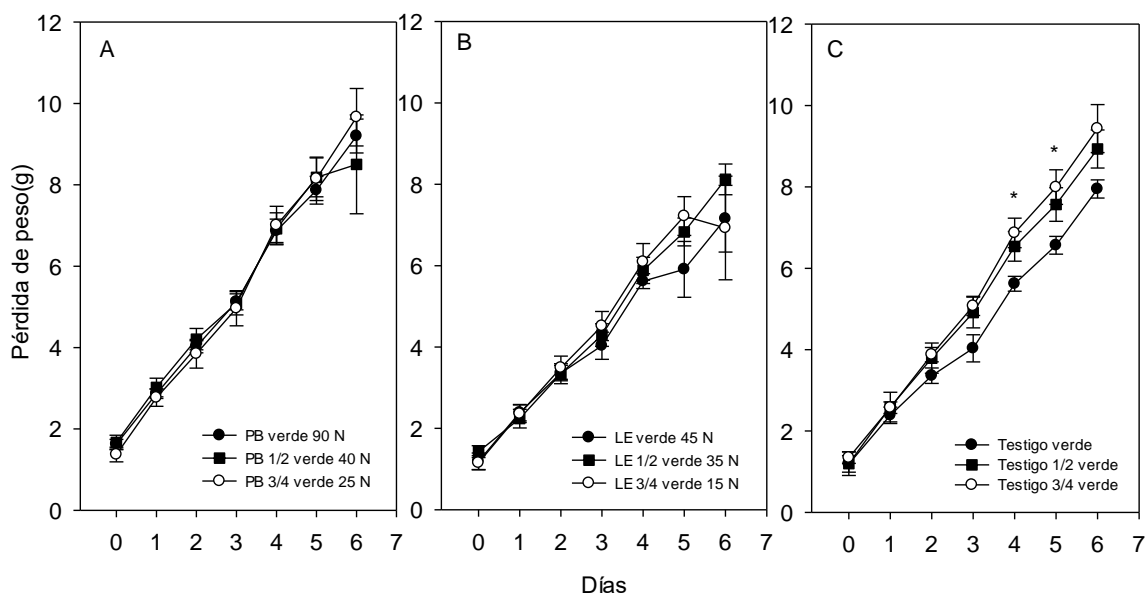


Figura 16. Pérdida de peso de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.2. Componentes del color

5.2.2.1. Luminosidad

Los frutos testigo tuvieron diferencias en cuanto al comportamiento en la luminosidad, así, los frutos verde y medio verde tuvieron un incremento constante de los valores de L^* = 45 a L^* = 55 después de seis días (Figura 17 C), en tanto que los frutos $\frac{3}{4}$ verde solo alcanzaron valores de L^* =50 a los seis días (Figura 17 C). Astudillo-Maldonado *et al.* (2014) en frutos ‘Cuernavaqueña’ inmaduros, medio maduros y maduros encontraron un incremento en los valores de luminosidad, con mayor evidencia en los frutos inmaduros.

Los frutos a los que se aplicaron los diferentes niveles de carga en las diferentes etapas de maduración, mostraron un comportamiento similar a los frutos testigo, donde

los frutos verde y ½ verde tuvieron los valores mayores comparados con los frutos ¾ verde (Figura 17 A y B).

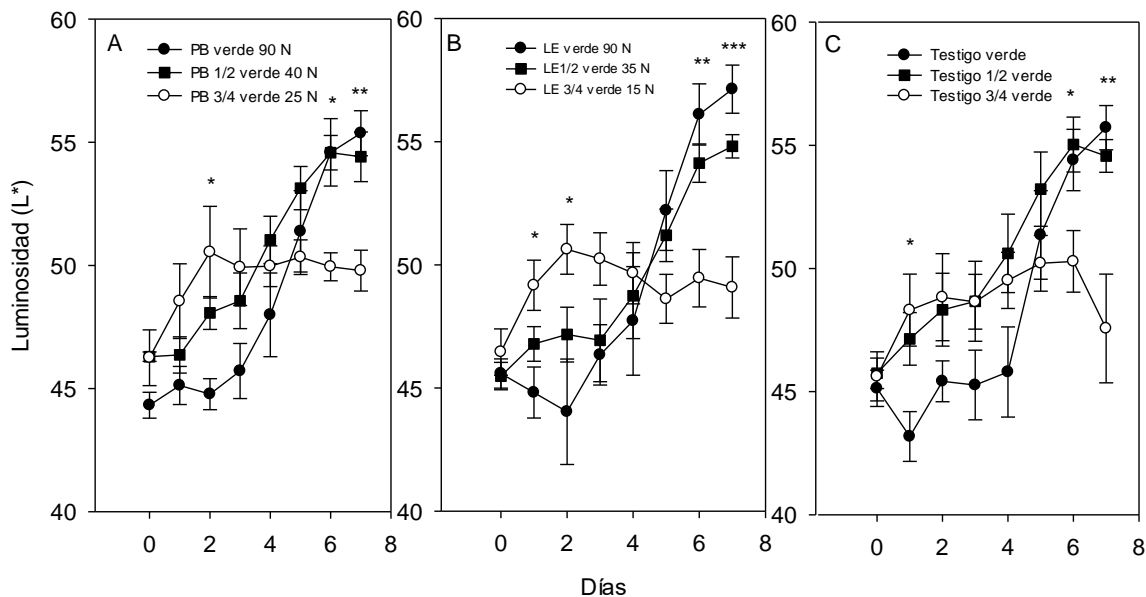


Figura 17. Luminosidad de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.2.2. Cromaticidad

En los frutos testigo, no se observaron diferencias significativas en cromaticidad entre las etapas de maduración (Figura 18 C), en las tres fases de maduración la cromaticidad se incrementó de $C^* = 26$ a $C^* = 54$ entre 48 y 54 durante siete días (Figura 18 C), lo cual contrasta con lo reportado por Maldonado-Astudillo *et al.* (2018) quienes reportan que solo en los frutos medio maduro y maduros la cromaticidad se incrementa durante la maduración y en los frutos verdes la cromaticidad se mantiene constante.

En los frutos sometidos a compresión de limite elástico y punto de biocedencia, se determinaron diferencias durante los primeros tres días, donde los frutos ¾ de maduración mostraron los valores máximos de cromaticidad, pero posteriormente los frutos verde y ½ verde mostraron valores similares de cromaticidad a los frutos ¾ verde

(Figura 18 B). Estas diferencias se atribuyen a una desaceleración en los cambios de la cromaticidad en los frutos $\frac{3}{4}$ verde (Figura 18 B). Los resultados indican que la carga de punto de biocedencia y límite elástico aceleran los cambios en la cromaticidad.

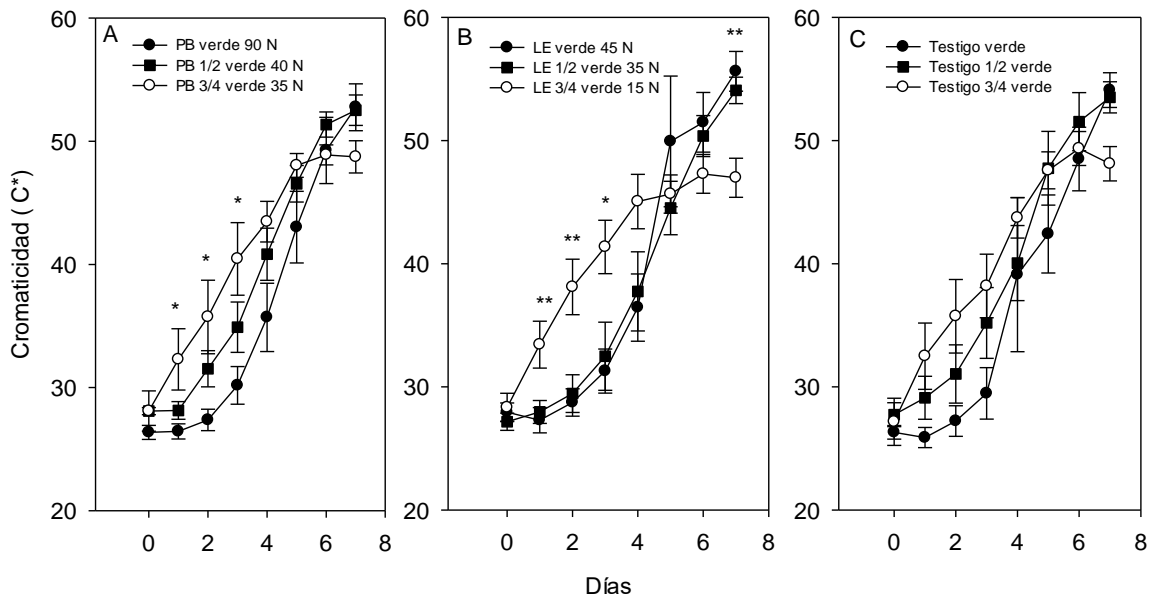


Figura 18. Cromaticidad de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.2.3. Matiz

Los frutos testigo verde y $\frac{1}{2}$ verde de ecotipo ‘cuernavaqueña’ cambiaron de un color tendiente al verde $h=$ entre 104 y 108 a un color tendiente al naranja $h=$ entre 66 y 70 (Figura 19 C). Los frutos $\frac{3}{4}$ verde testigo cambiaron de un color amarillo $h=$ 86.8 a un color naranja-rojo, $h=$ 57.1 (Figura 19 C). Maldonado-Astudillo et al. (2014) determinaron cambios similares en el matiz, donde los frutos verdes y $\frac{1}{2}$ verde, no alcanzan el color naranja-rojo del ecotipo ‘cuernavaqueña’ en madurez de consumo.

No se detectaron cambios significativos en el comportamiento del matiz en los frutos sometidos a diferentes niveles de carga del límite elástico y punto de biocedencia, mostrando un comportamiento similar a los frutos testigo (Figura 19 A y B), lo que indica nulo efecto de la carga de compresión en el color de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’.

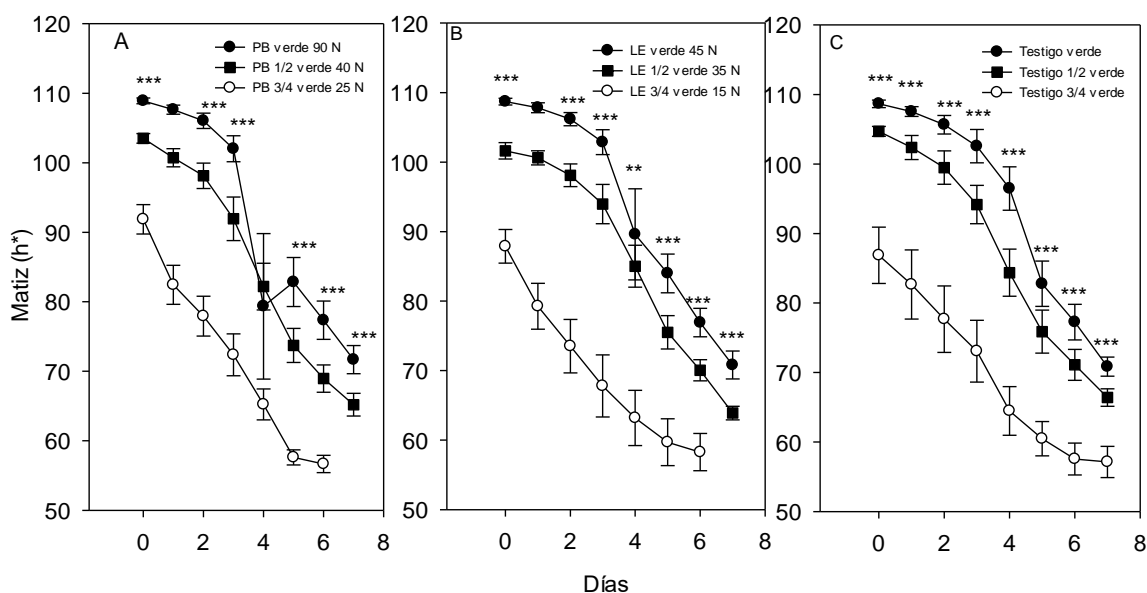


Figura 19. Matiz de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.3. Respiración

Astudillo-Maldonado *et al.* (2014) al evaluar la respiración en frutos inmaduros, medio verde y maduros del ecotipo ‘cuernavaqueña’ determinaron incrementos en la producción de CO₂, que asociados a cambios en otras variables físicas y químicas, concluyeron que los frutos son del tipo climatérico. En el presente trabajo no se observaron incrementos en la producción de CO₂, en las tres etapas de maduración evaluadas se observó una disminución de valores iniciales de entre 1.8 y 2 mL kg⁻¹h⁻¹ a valores entre 0.8 y 1.2 mL kg⁻¹h⁻¹ (Figura 20 C).

Los frutos sometidos a compresión al punto de biocedencia y limite elástico, no tuvieron diferencias significativas de las cargas evaluadas entre las etapas de maduración (Figura 20 A y B). Los frutos mostraron la misma tendencia a disminuir la producción de CO₂ que los frutos testigo (Figura 20 A y B).

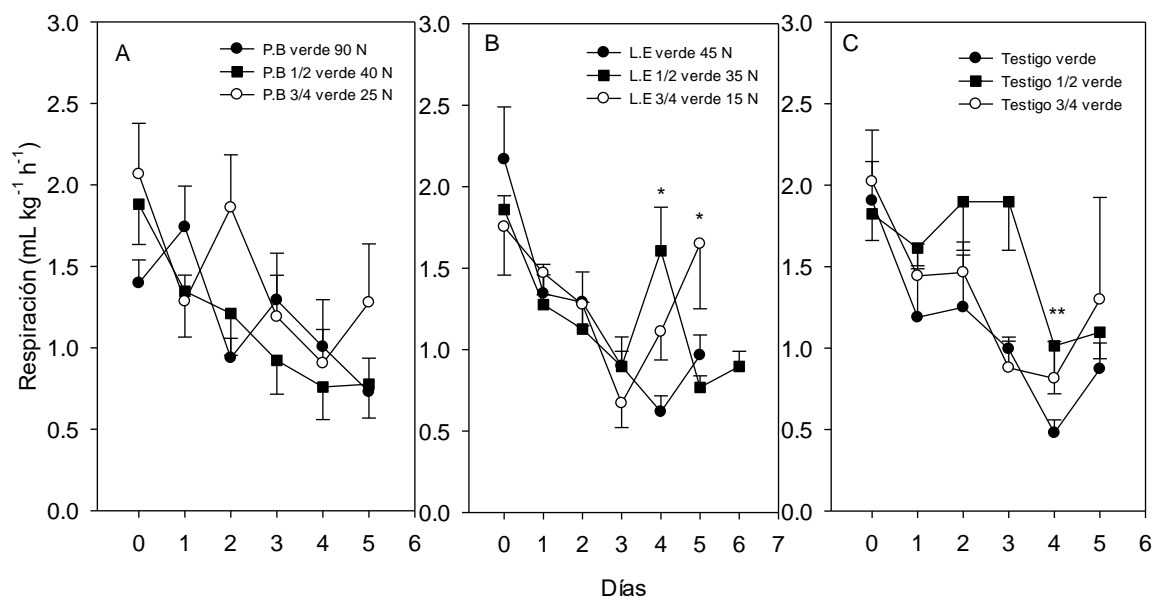


Figura 20. Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.4. Etileno

Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) al evaluar la producción de etileno en frutos de ciruela mexicana en diversas etapas de maduración no detectaron incrementos significativos, que pudieran asociarlo a un fruto climatérico (Figura 21 C). En el presente trabajo, solo los frutos ¾ verde alcanzaron un máximo de producción de 71 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ al cuarto día de evaluación (Figura 21 C), en los frutos verde y ½ verde se observaron

incrementos menores a los cinco y seis días de evaluación, con valores de 12 y 27 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Figura 21 C). Esto sugiere un comportamiento climatérico.

En los frutos sometidos al límite elástico, no se detectaron diferencias entre las diferentes cargas evaluadas en las tres etapas de maduración (Figura 21 B), esto debido a la variación en los niveles detectados de etileno.

En los frutos sometidos al punto de biocedencia, se observó que los frutos $\frac{3}{4}$ mostraron un comportamiento climatérico, con un máximo de producción a los cuatro días de evaluación (39.4 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), muy similar a los frutos testigo (Figura 21 A y C).

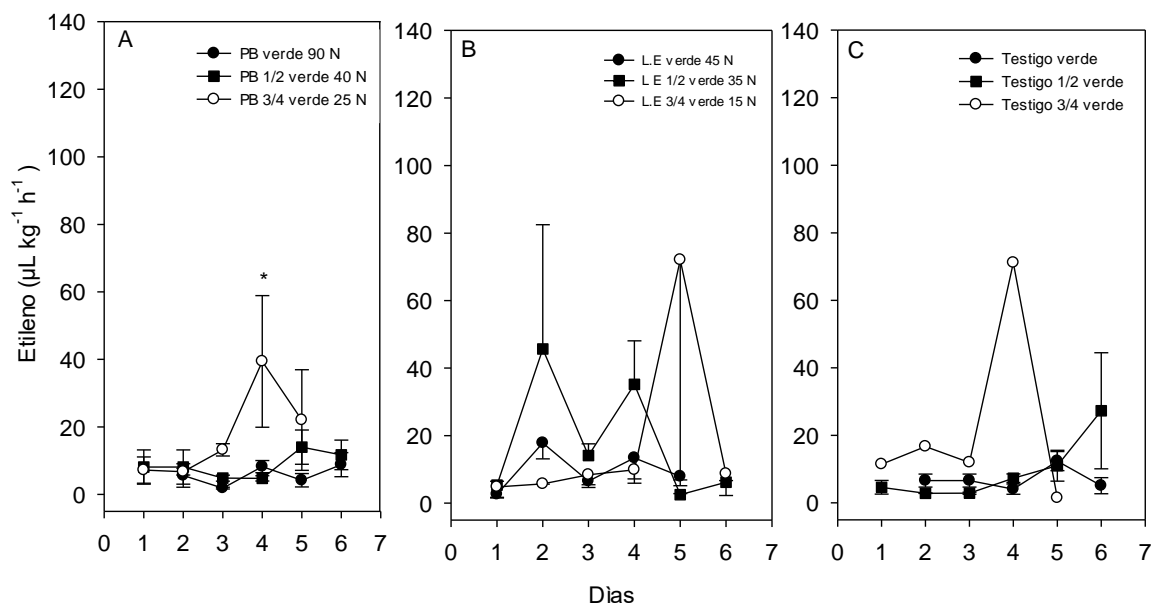


Figura 21. Etileno de frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.5. Firmeza

Los frutos testigo de las tres etapas de maduración, disminuyeron constantemente la firmeza durante el periodo de evaluación (Figura 22 C). Los frutos verde y ½ verde tuvieron valores mayores (entre 7 y 20 N), que los frutos ¾ verde (entre 5 y 10 N) durante los primeros cuatro días, posteriormente la firmeza fue similar entre los frutos de las tres etapas de maduración alcanzando valores entre 3.14 y 5.54 N a los ocho días. Similar comportamiento reporta Maldonado-Astudillo *et al.* (2014), aunque con valores menores de firmeza, ya que los frutos verdes cambiaron de 5 a 2 N, los frutos medio verdes de 4 a 2 N y los frutos maduros de 2.5 a 1.2 N durante seis días.

En los frutos sometidos a diferentes cargas, los verde y ½ verde mostraron los valores mayores de firmeza comparado con los frutos ¾ verde (Figura 22 C), con valores muy similares al testigo.

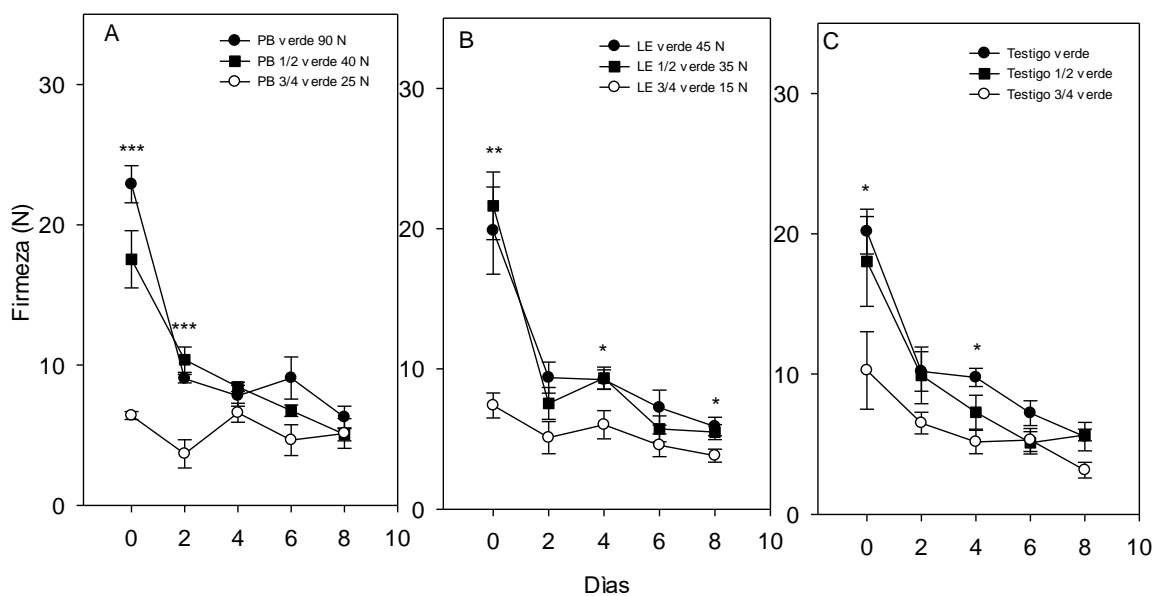


Figura 22. Firmeza de frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE=

limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.6. Sólidos solubles totales

Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) reporta que los frutos inmaduros, medio verde y $\frac{3}{4}$ verde alcanzan valores de sólidos solubles de 16.6, 17.6 y 18.2 %, respectivamente, después de seis días. En el presente trabajo los frutos testigo verde, $\frac{1}{2}$ verde y $\frac{3}{4}$ verde tenían 10.4, 13.6 y 17.4 °Brix, después de seis días los valores alcanzaron 21.9, 22.7 y 23.6 °Brix (Figura 23 C) lo cual supera ampliamente los valores reportados anteriormente.

Los frutos $\frac{3}{4}$ verde sometidos a limite elástico y punto de biocendencia mostraron los valores mayores de sólidos solubles totales, pero después de cuatro días y hasta los ocho días, los valores de solidos solubles totales se mantuvieron similares entre los frutos de las tres etapas de maduración (Figura 23 A y B). Lo anterior sugiere que las diferencias detectadas en solidos solubles totales se atribuyen a la etapa de maduración y no a la carga de compresión evaluada.

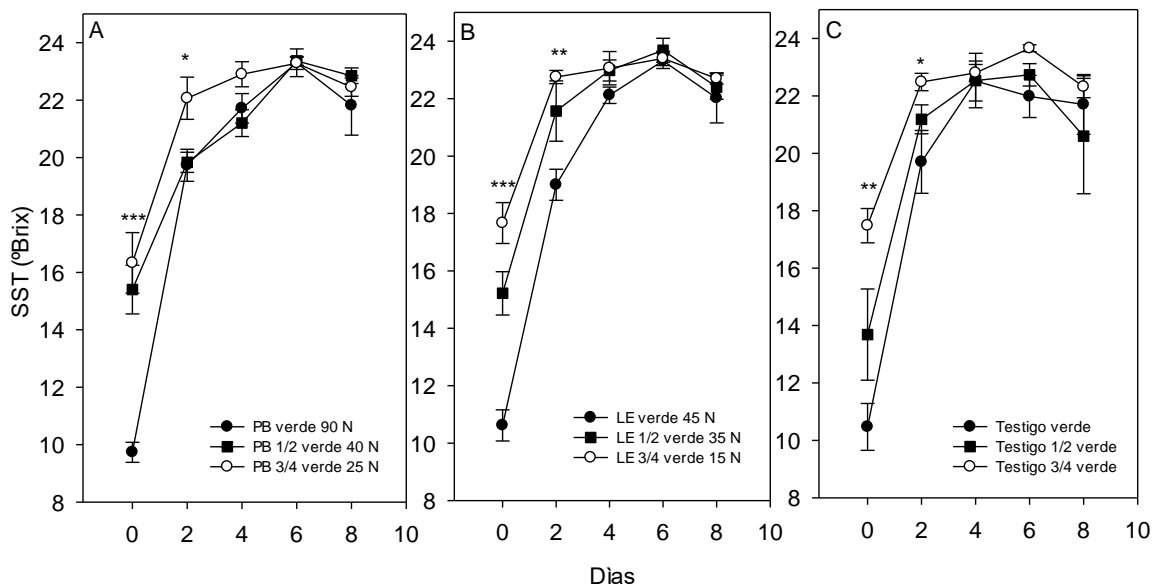


Figura 23. Sólidos solubles totales de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de

biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.7. Acidez titulable

La acidez titulable en los frutos testigo del ecotipo ‘Cuernavaqueña’ en etapa de maduración verde, ½ verde y ¾ verde fue de 0.18, 0.14 y 0.12 % al inicio de las evaluaciones, después de ocho días la acidez fue de 0.12, 0.13 y 0.10 % (Figura 24 C). Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) reportó cambios de 0.68 a 0.50 % en frutos inmaduros, de 0.58 a 0.42 % en frutos medio verde y de 0.51 a 0.42 en frutos maduros en un periodo de seis días (Figura 24 C).

En los frutos sometidos a las diferentes cargas en las diferentes etapas de maduración, no afectaron significativamente los cambios en acidez titulable (Figura 24 A y B). Los cambios en valores fueron muy similares a los frutos testigo.

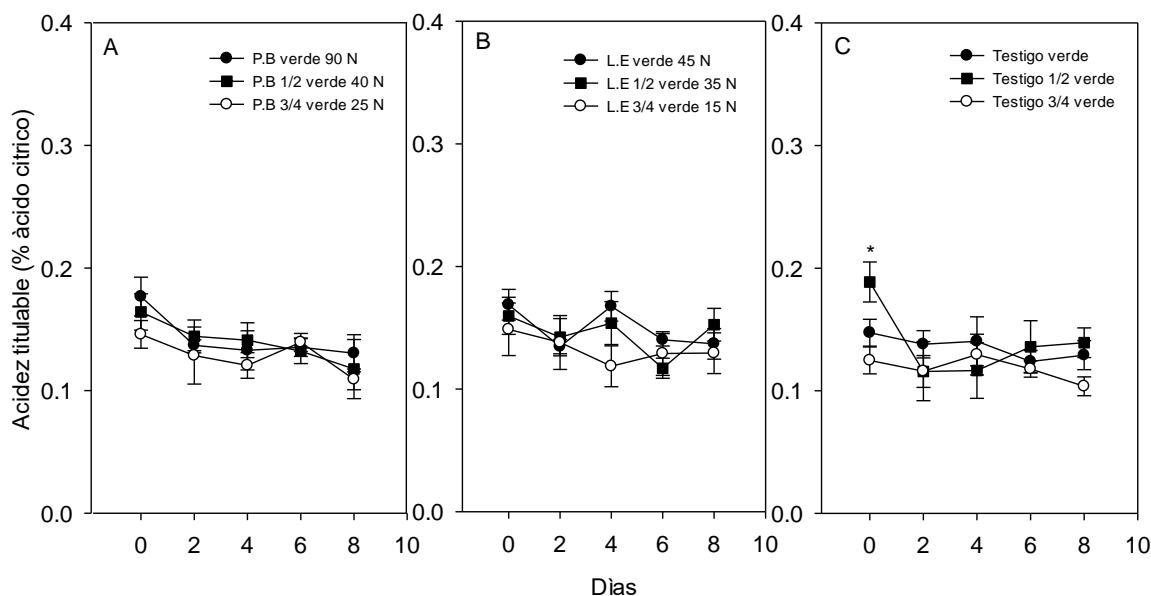


Figura 24. Acidez titulable de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.8. Índice de sabor

El índice de sabor en los frutos testigo mostró alta variabilidad, lo que ocasionó la nula detección de diferencia entre las etapas de maduración (Figura 25 C). Los valores se mantuvieron entre 145 y 237 (Figura 25 C). Maldonado-Astudillo et al. (2014) reportaron valores cercanos a 40. Alia *et al.* (2012) reportó valores entre 3 y 63, en recolectas realizadas en Morelos, Guerrero y Chiapas, indicando gran variación en estos parámetros, sin embargo, en el presente trabajo los valores del ecotipo ‘Cuernavaqueña’ fueron grandes debido a la baja acidez titulable.

En los frutos sometidos a compresión al límite elástico y punto de biocedencia no se detectaron diferencias atribuibles a los niveles de carga entre las diferentes etapas de maduración evaluadas (Figura 25 A y B). En los frutos sometidos al punto de biocedencia el índice de sabor se incrementó de valores entre 58 y 116 al inicio de las evaluaciones hasta 176 y 229 después de ocho días; en el caso de los frutos al punto elástico iniciaron con valores entre 64 y 142 al inicio y después de ocho días alcanzaron valores entre 153 y 190 (Figura 25 A y B).

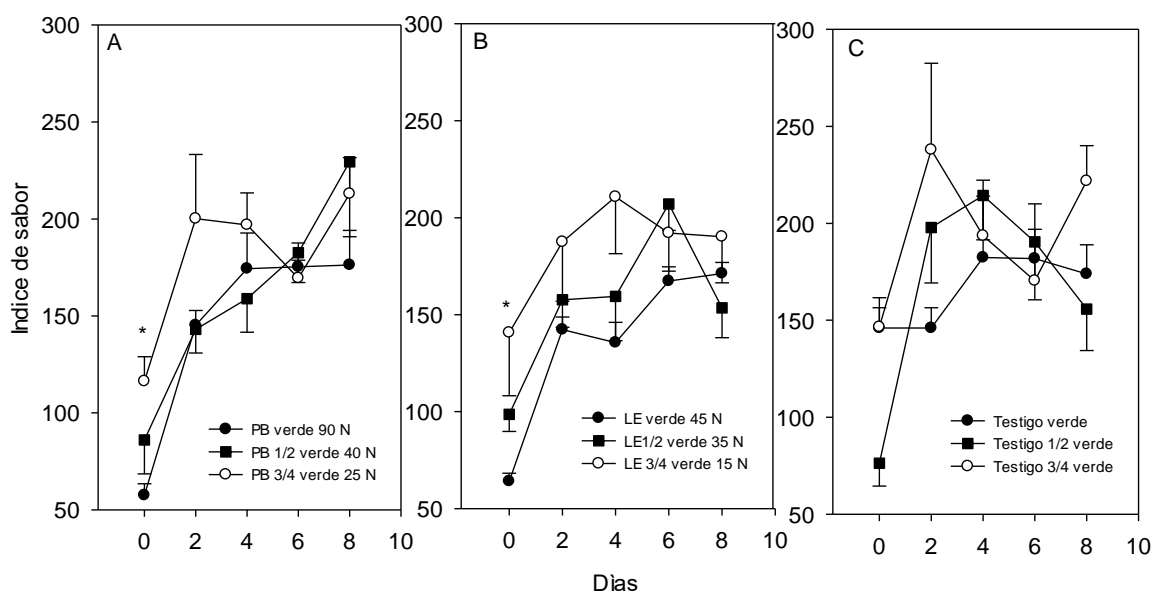


Figura 25. Índice de sabor de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE=

límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.9. Azúcares totales

Los azúcares totales en los frutos $\frac{3}{4}$ verde utilizados como testigo mostraron los primeros dos días los valores mayores entre 61 y 73 mg g^{-1} de peso fresco, manteniéndose en esos valores durante el periodo de evaluación (Figura 26 C). Los frutos verdes y $\frac{1}{2}$ verde iniciaron con valores de 20 mg g^{-1} de peso fresco y en cuatro días alcanzaron valores entre 71 y 89 mg g^{-1} de peso fresco (Figura 26 C). Similar comportamiento reporta Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) en el ecotipo ‘cuernavaqueña’ aunque los valores máximos de azúcares son alrededor de 15 % (150 mg g^{-1}).

Los frutos utilizados en las evaluaciones de diferentes cargas al límite elástico y punto de biocedencia, no mostraron diferencias entre las etapas de maduración (Figura 26 A y B), y con un comportamiento muy similar a los frutos testigo.

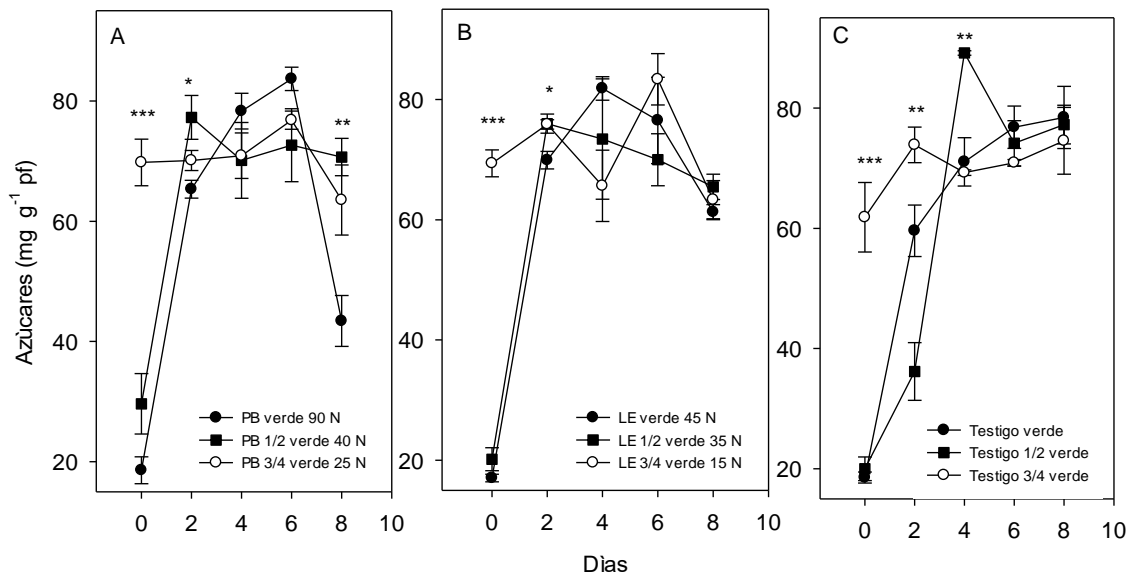


Figura 26. Azúcares totales en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.10. Fenoles pulpa

No se detectaron diferencias significativas en el contenido de fenoles entre las diferentes etapas de maduración de los frutos de ciruela mexicana cuernavaqueña utilizados como testigo (Figura 27 C). Durante cuatro días los fenoles se mantuvieron entre 23 y 26 mg g⁻¹ de peso fresco (Figura 27 C). Posteriormente los fenoles se incrementaron entre 29 y 39 mg g⁻¹ de peso fresco a los ocho días (Figura 27 C). Se han reportado valores entre 60 y 300 mg g⁻¹ de peso fresco en otros ecotipos de ciruela mexicana (Solorzano-Morán *et al.*, 2015). En el ecotipo ‘Cuernavaqueña’ se reporta que los fenoles totales en la pulpa en etapa verde, 1/2 verde y 3/4 de maduración es de 0.48, 0.89 y 0.77 mg 100 g⁻¹ (Suárez *et al.*, 2017).

No se observaron diferencias en el contenido de fenoles totales cuando los frutos en las diferentes etapas de maduración fueron sometidos a compresión al límite elástico o punto de biocedencia (Figura 27 A y B). No se observaron tendencias claras en las concentraciones de fenoles totales.

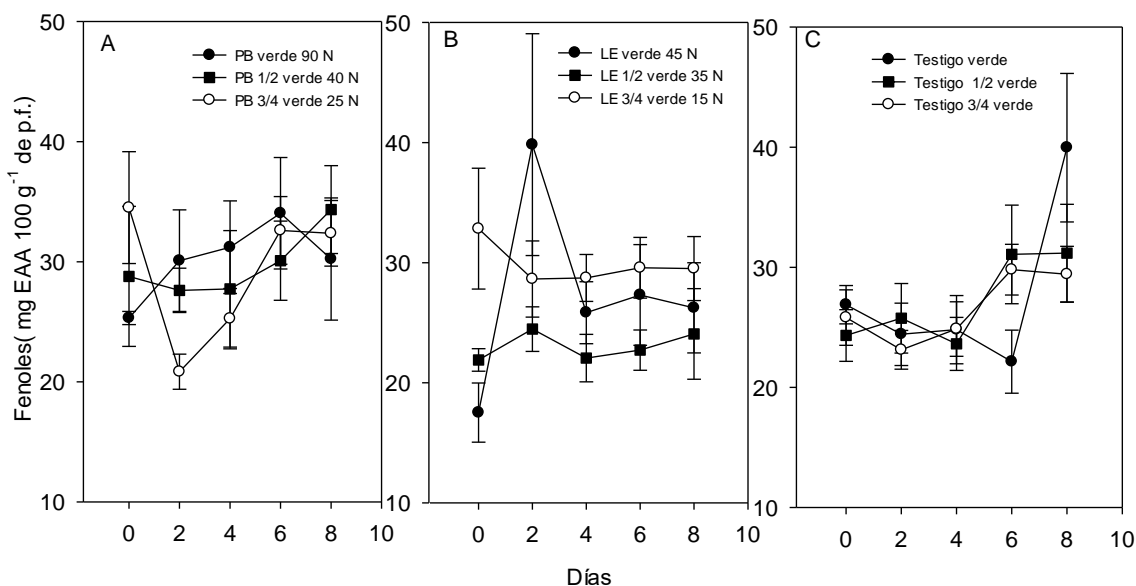


Figura 27. Fenoles en pulpa de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de

biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.11. Fenoles cáscara

Los fenoles totales en la cáscara de los frutos testigo solo fueron diferentes entre las etapas de maduración a los dos días, posteriormente se mantuvieron en valores similares hasta alcanzar valores parecidos al inicial, entre 50 y 58 mg g⁻¹ de peso fresco (Figura 28 C). Suárez *et al.* (2017) reportan que los frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en etapa de maduración verde, 1/2 verde y 3/4 de maduración mostraron valores entre 0.91 y 1.61 mg g⁻¹ de peso fresco.

Se encontraron diferencias entre los frutos sometidos a diferentes niveles de carga en los frutos al inicio de las evaluaciones donde se aplicó el límite elástico y dos días después de iniciado el experimento en los frutos donde se aplicó el punto de biocedencia (Figura 28 A y B). Sin embargo, las diferencias observadas, no son consistentes, y no se detectaron en días posteriores (Figura 28 A y B).

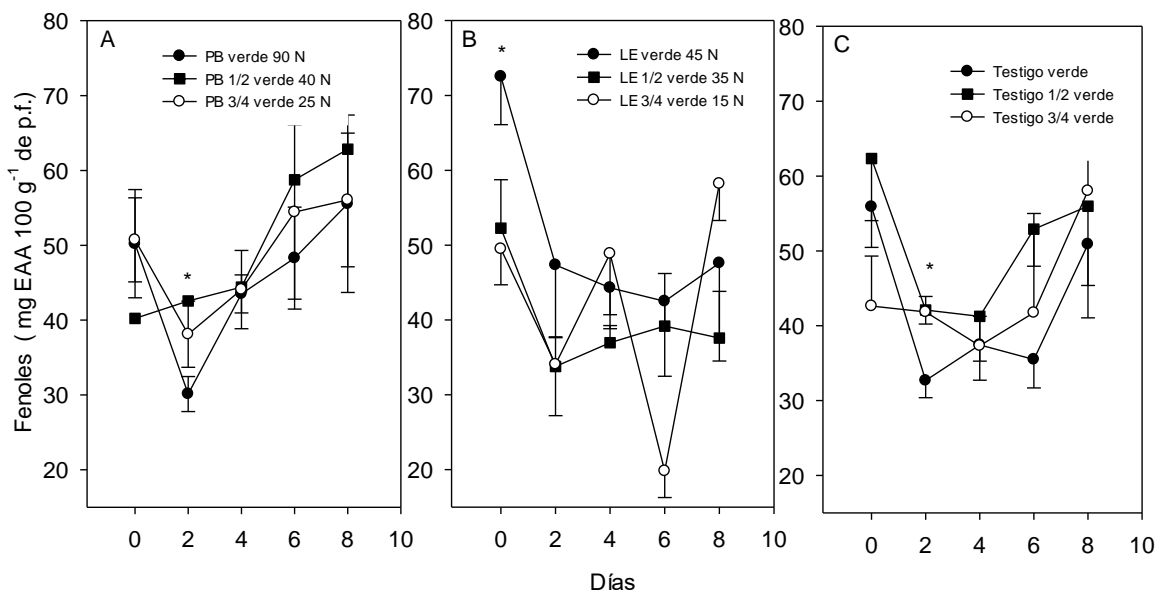


Figura 28. Fenoles en cáscara de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de

biocedencia, LE= límite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.12. Carotenoides pulpa

Los carotenoides en la pulpa de los frutos testigo, no mostraron diferencias en dependencia de la etapa de maduración (Figura 29 C). Pero si se detectó un incremento significativo en las concentraciones, así al inicio de las evaluaciones los valores fueron entre 60 y 71 mg 100g⁻¹ de peso fresco y después de seis días los valores se encontraban entre 154 y 164 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (Figura 29 C). Suárez *et al.* (2017) indican que los frutos de ciruela ‘Cuernavaqueña’ tienen 3.73 mg g⁻¹ en etapa verde y en la etapa madura hasta 15.7 mg g⁻¹ de peso fresco.

No se observó efecto claro de los niveles de carga evaluados en la compresión a punto elástico y punto de biocedencia considerando las etapas de maduración (Figura 29 A y B). A excepción de los frutos verdes comprimidos a punto de biocedencia, que después de dos días del tratamiento tuvieron los valores mayores, sin embargo esta tendencia no se mantuvo el resto de los días de evaluación (Figura 29 A).

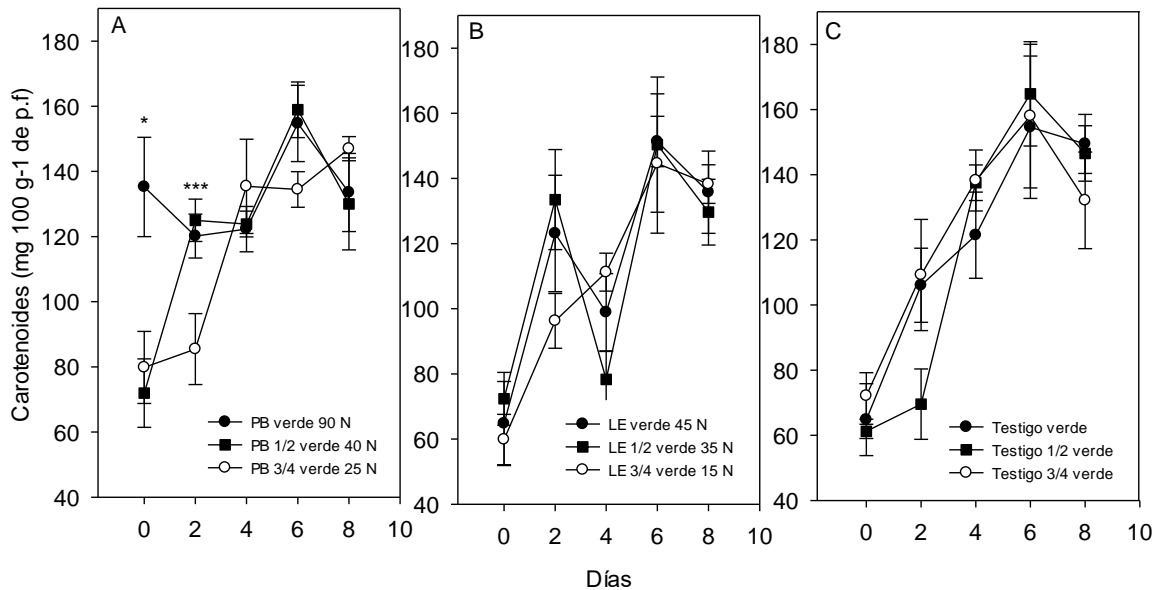


Figura 29. Carotenoides en pulpa de frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

5.2.13. Carotenoides cáscara

Los carotenoides en la cáscara estuvieron en mayor concentración en los frutos $\frac{3}{4}$ verde de los frutos testigo (Figura 30 C). Los frutos verde y medio verde iniciaron de valores entre 89 y 191 mg 100 g⁻¹ de peso fresco y después de ocho días alcanzaron valores entre 273 y 283 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (Figura 30 C). Suárez *et al.* (2017) reportan que en etapa madura los frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' contiene 85.3 mg 100 g de peso fresco en la cascara.

En los frutos donde se aplicó la compresión a limite elástico y punto de biocedencia no se detectaron diferencias entre las etapas de maduración con las cargas evaluadas en la concentración de carotenoides (Figura 30 A y B). A excepción, del inicio de las evaluaciones, donde los frutos $\frac{3}{4}$ verde mostraron la mayor concentración,

posteriormente fueron similares estadísticamente con el resto de los tratamientos (Figura 30 A y B).

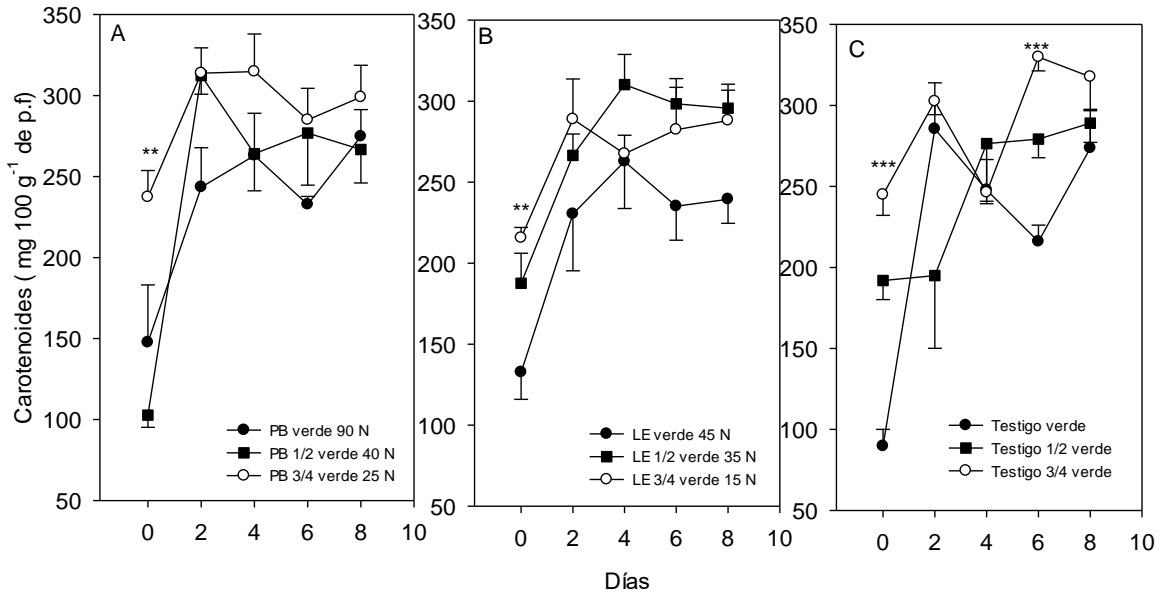


Figura 30. Carotenoides en cáscara de frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' en diferentes etapas de maduración y sometidos a diferentes niveles de compresión PB= punto de biocedencia, LE= limite elástico y testigo. Cada punto representa la media de diez observaciones y su error estándar.

6. CONCLUSIONES

En los frutos del ecotipo 'amarilla' la pérdida de peso en los frutos verdes y $\frac{1}{2}$ verde son los que soportan la compresión que los frutos $\frac{3}{4}$ verde ya que solo en esta etapa de maduración se vio afectada por el efecto de las cargas aplicadas. Las variables color, azúcares totales y carotenoides fueron afectados negativamente por los niveles de carga evaluados.

En los frutos del ecotipo 'cuernavaqueña' donde no se detectó el efecto de los niveles de compresión al límite elástico y punto de biocendencia. Solo se encontró que las cargas aceleran los cambios de cromaticidad en los frutos.

7. LITERATURA CITADA

- Alia, T.I., Maldonado, A.Y.I., Núñez, C.C.A., Valdez, A.L.A., Bautista, B.S., García, V.E., Ariza, F.R., Rivera, C.F. 2012. Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. Revista Fitotecnia Mexicana 35: 21-26.
- Alia-Tejacal, I., M.T: Colinas-León, M.T: Martínez-Damián, M.R: Soto-Hernandez.2002.Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamaey (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore & Stearn) durante postcosecha.Rev. Chapingo S. Hort. 8:263-281.
- Almeida, M. M. B., de Sousa, P. H. M., Arriaga, Â. M. C., do Prado, G. M., Magalhães, C. E. D. C., Maia, G. A., & de Lemos, T. L. G. 2011. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. Food Res. Int., 44: 2155-2159.
- Avitia, G. E., A.M. Castillo G., E. Pimienta B. 2003. Ciruela mexicana y otras especies del género *Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo. 60 p.
- Baran, R. *let at. I*. Changes in phenolic compounds and colour in pole cherry winessubjected to fining treatment, Zlebenin Unterss Forsch A-Foo, 1997, vol.205, no.6, p.474-478.
- Bautista, L. V., C. A. Villaseñor P., A. Pérez L. 2011. Propiedades mecánicas y respuesta fisiológica de frutos de chicozapote bajo compresión axial. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 20: 73-80.
- Castillo, M. L. E. 2011. Introducción al SAS® para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 295 p.
- Cuevas-Sánchez, J. A. 1992. Jocote, ciruelo (*Spondias purpurea*). In: cultivos marginados. Otra perspectiva de 1492. Bermejo, H. J. E., J. León. (eds.) Colección FAO: Producción y protección vegetal Núm. 26, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, roma, Italia. pp: 109-113.
- Ciro, V. J. H., D. L. Vahos M., C. J. Márquez C. 2005. Estudio experimental de la fuerza de fractura en frutas tropicales: el tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* Sendt). Dyna 72(146): 55-64.

- Cruz, L.A., Pita, D.A., Rodríguez, H.B. Jocotes jobos abales o ciruelas mexicanas. México. Universidad Autónoma Chapingo.2012. pp: 77-78.
- Dixon, S.A. y Palva, N.L. Stress induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*, 1995, vol.7, p. 1085-1087.
- Duarte, O., R. E. Paull. 2015. Exotic fruits and nutsof the new world. CABI. Wallingford, UK. 332. P.
- Durigan, B. M. F. E H. Mattiuz. 2007 Injúrias mecânicas e seus efeitos na qualidade de melancias armazenadas em condição ambiente. *Horticultura Brasileira* 25: 296-300.
- Harbone, J.B. Introduction to ecological biochemistry, London. Academic Press, 1982.
- Hernández, M. M., A. Martínez M, I. Alia T., L. U. Hernández H., R. Osorio O., M. T. Colinas I., V. López M., S. Bautista B., S. Valle G. 2008. Estrés por impacto en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) durante el manejo poscosecha. *Revista Fitotecnia Mexicana* (Núm. Especial 3): 61-66.
- Kays, J. S., R. E. Paull. 2004. Postharvest Biology. Exon Press. Athens, GA. USA. 330-568 p.
- Ketsa, S., S. Atantee. 1998. Phenolics, lignin, peroxidase activity and increased firmness of damaged pericap of mangosteen fruit after impact. *Postharvest Biology and Technology* 14: 117-124.
- Knee, M., A. R. Miller. 2002. Mechanical Injury. In: *Fruit Quality and its Biological Basis*. Knee, M. CRC Press. Sheffield, UK. pp: 157-179.
- Koziol M.J., Macía M.J. 1998. Chemical composition, nutritional evaluation, and economic prospects of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae), *Econ. Bot.* 52: 373-380.
- Li, Z., C. Thomas. 2014. Quantitative evaluation of mechanical damage to fresh fruits. *Trends in Food Science & Technology* 35: 138-150.
- Maldonado-Astudillo, Y.I., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, C. A., Jiménez-Hernández, J., Pelayo-Zaldivar, 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.

- Manesco, t.: Estudio de las tensiones en válvulas biplanas tipo mariposa, Universidad de Antioquia, Revista Facultad de Ingeniería, diciembre, (30): 109-124, Medellín, Colombia, 2006. MOHSENIN, N.: Physical properties of plant and animal materials, pp. 587-593, Gordon and Breach Science Publisher, New York, USA, 1970.
- Martínez, M. A., I. Alía T., M. T. Colinas L. 2006. Refrigeración de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] cosechados en diferentes fechas en Tabasco México. Revista Fitotecnia Mexicana 29 (Núm. Especial 2): 51-57.
- Martínez-Romero, D., M. Serrano, A. Carbonell, S. Castillo, F. Riquelme, D. Valero. 2004. Mechanical damage during fruit post-harvest handling: technical and physiological implications. In: Production Practices and Quality Assessments of Food Crops. V. 3. Quality and physiological implications. Kluwer Academic Publisher. Netherlands. pp: 233-252.
- Mao, L., T. Ying, Y. Xi, Y. Zhen. 1995. Respiration rate, ethylene production and cellular leakage of fig fruit following vibrational stress. HortScience 30: 145.
- Mendoza-Willson A.M.R., Baéz-Sañudo., 2000. Medición de la tasa respiratoria en sistema cerrado en melón cantaloupe. Horticultura Mexicana 8: 158-163.
- Morton, F. J. 2013. Fruits of Warm Climate. Echo Point Books & Media. USA. 505 p.
- Neguerula, I. A. 2012. Is the Color Measured in Food the color that we see? *In*: Color in Food. Technological and Psychophysical aspects. Caivano, J.L., M. del. P Buera. (eds.) CRC Press-Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida, USA. pp: 81-91.
- Opara, L. U., P. B. Pathare. 2014. Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce-A review. Postharvest Biology and Technology 91: 9-24.
- Osuna, G. J. A., M. H. Pérez B., V. Vázquez V., R. Gómez J. 2011. Aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP) y su efecto en ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). Rev. Fitotec. Mex. 34(3): 197-204.
- Pennington D. T., J. Sarukhán. Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las Principales Especies. Universidad Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 523 p.

- Pérez-Arias, G. A., I. Alia-Tejacal, M. Andrade-Rodríguez, V. López-Martínez, A. Pérez-López, R. Ariza-Flores, O. Sánchez M. A., J. M. Villarreal-Fuentes. 2008. Características físicas y químicas de ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea*) en Guerrero. *Investigación Agropecuaria* 5(2): 141-149.
- Pérez-López, A., C. A. Villaseñor-Perea, V. Crisanto-Martínez, J. J. E. Corrales-García. 2009. Propiedades mecánicas y maduración de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) bajo compresión axial. *Ingeniería y Biosistemas* 1: 19-23.+
- Pérez-López. A., C. Saucedo V., M. de L. Arévalo G., A. Muratalla L. 2004. Efecto del grado de madurez en la calidad y vida postcosecha de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 27(2): 133-139.
- Ramírez H. B. C., P. Barrios E., J. Z. Castellanos R., A. Muñoz U., G. Palomino H., E. Pimienta B. 2008. Sistemas de producción de *Spondias purpurea* (Anacardiaceae) en el centro-occidente de México. *Rev. Biol. Trop.* 56(2): 675-687.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1337.
- Sánchez, J.; F. Duringan and M. Dos Santos: 2007. Use of scanning electronic microscopy as tool of the tissue structure evaluation of 'quintal' avocado tissue structure after mechanical injuries. *Revista Brasileira Fruticultura* 29: 057-060.
- Statistical Analysis System Institute (SAS Institute): SAS/ STAT. Guide for personal computers, pp. 231-257, Version V10. Cary, N. C.; USA, 2000.
- Solorzano-Morán, S., I. Alia-Tejacal, F. Rivera-Cabrera, V. López-Martínez, L. J. Pérez-Flores, C. Pelayo-Zaldívar, D. Guillén-Sánchez, F. D. de León-Sánchez, Y. I. Maldonado-Astudillo. 2015. Quality attributes and functional compounds of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits* 70(5): 261-270.
- Suárez, V. A., P. Juárez-López., V. López-Martínez, L. J. Pérez F., D. Guillén S., I. Alia-Tejacal. 2017. Antioxidant activity and physicochemical parameter in

'Cuernavaqueña' Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) at different ripening stages.
Rev. Bras. Frutic. 39(4): e-787.

Van Zeebroeck M., Tijssens E., Dintwa E., Kafashan J., Loodts J., De Baerdemaeker J.
and Ramon, H.2006. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact
during transport and handling: Model building and validation of DEMto predict bruise
damage of apples. Postharvest Biology and Technology 41: 85 pp

Waterman, P. G., S. Mole. 1994. Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Osney Mead,
Oxford, England.235

Cuernavaca, Mor., a 26 de noviembre de 2018.

M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a Usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **DAÑO POR COMPRESIÓN EN FRUTOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.)** que presenta: **JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo mi Co- dirección con el **DR. ARTEMIO PÉREZ LÓPEZ**, 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 la alumna 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.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta



DR. IRAN ALÍA TEJACAL
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Cuernavaca, Mor., a 26 de noviembre de 2018.

M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a Usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **DAÑO POR COMPRESIÓN EN FRUTOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.)** que presenta: **JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la Co- dirección del **DR. IRÁN ALÍA TEJACAL** y el **DR. ARTEMIO PÉREZ LÓPEZ**, 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 la alumna 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



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



Jefatura de programas educativos de posgrado

Cuernavaca, Mor., a 26 de noviembre de 2018.

M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a Usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **DAÑO POR COMPRESIÓN EN FRUTOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.)** que presenta: **JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la Co- dirección del **DR. IRÁN ALÍA TEJACAL** y el **DR. ARTEMIO PÉREZ LÓPEZ**, 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 la alumna 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.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

Gloria Alicia Pérez Arias

DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS
Comité Evaluador

Cuernavaca, Mor., a 26 de noviembre de 2018.

M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a Usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **DAÑO POR COMPRESIÓN EN FRUTOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.)** que presenta: **JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la Co- dirección del **DR. IRÁN ALÍA TEJACAL** y el **DR. ARTEMIO PÉREZ LÓPEZ**, 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 la alumna 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.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta



DRA. CLARA PELAYO ZALDÍVAR
Comité Evaluador



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



Jefatura de programas educativos de posgrado

Cuernavaca, Mor., a 26 de noviembre de 2018.

**M. en C. JOSÉ EDUARDO BAUTISTA RODRÍGUEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL
P R E S E N T E.**

Por medio del presente informo a Usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **DAÑO POR COMPRESIÓN EN FRUTOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.)** que presenta: **JAZMÍN SELENE SALAZAR DÍAZ**, mismo que fue desarrollado bajo la Co- dirección del **DR. IRÁN ALÍA TEJACAL** y el **DR. ARTEMIO PÉREZ LÓPEZ**, 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 la alumna 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.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta


DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ
Comité Evaluador