



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**APLICACIÓN DE 1-MCP EN DIFERENTES
ECOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias
purpurea* L.) DE MÉXICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
DESARROLLO RURAL**

P R E S E N T A:

I.H. MARÍA GORETTI TRANSITO DAMASO

**DIRECTOR Y CODIRECTOR DE TESIS:
DR. IRAN ALIA TEJACAL y DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**



Cuernavaca, Morelos, Noviembre de 2023

APLICACIÓN DE 1-MCP EN DIFERENTES ECOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA
(*Spondias purpurea* L.) DE MÉXICO

Tesis realizada por **María Goretti Transito Damaso**, bajo la dirección del comité revisor indicado, aprobada y aceptada como requisito para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR:

Director de tesis: Dr. Iran Alia Tejacal

Codirectora: Dra. Gloria Alicia Pérez Arias

Revisor: Dr. Víctor López Martínez

Revisor: Dr. Porfirio Juárez López

Revisor: Dr. Nelson Avonce Vergara

Revisor: Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes

Cuernavaca, Morelos, Noviembre 2023

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado mediante la beca de maestría con número 807907.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis, Dr. Iran Alia Tejacal por brindarme la oportunidad de hacer mi proyecto de maestría bajo su dirección, también por su apoyo desde el inicio hasta el final de mi formación, por sus incontables consejos, su paciencia y disposición para que se llevara a cabo el presente trabajo de investigación.

A todo mi comité de asesores conformado por la Dra. Gloria Alicia Pérez Arias, Dr. Porfirio Juárez López, Dr. Víctor López Martínez, Dr. Nelson Avonce Vergara y el Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes, por el tiempo invertido en la revisión de esta tesis de investigación, así como también por sus comentarios y observaciones para mejorar dicho trabajo.

Agradezco enormemente a la Técnico académico Alyn Mariana Palacios Sosa, por su valioso tiempo que dispuso para enseñarme las metodologías que aquí se realizaron.

A mis compadres, Susy y Mario por haberme alentado a continuar con mis estudios de posgrado y por su apoyo incondicional.

Por último y no menos importante agradezco infinitamente a cada una de las personas maravillosas que tuve la dicha de conocer en esta etapa de mi vida, a mis amigas Susy, Arantxa, Lizette, Mariella, Miriam, Azucena y Alejandra por todos los buenos momentos que pasamos y disfrutamos, por compartir su conocimiento y tiempo cuando lo necesitamos, las quiero mucho las llevaré siempre en mi alma.

DEDICATORIAS

A mi madre Esperanza Dámaso Mendoza (†) quien siempre me inspiró y me alentó a superarme, porque gracias a sus consejos me impulsó a salir adelante y quién siempre creyó en mí y en mi capacidad para realizar lo que me propusiera, hasta donde estés mamá te dedico cada una de mis metas logradas.

A mi padre Augusto Transito Montúfar, quien me enseñó el valor del trabajo, honestidad y dedicación en cada una de las tareas a las que me dedique, por su ejemplo de superación a pesar de los obstáculos, gracias papá por siempre apoyarme.

A mis hermanas Lore y Cristy que a pesar de la distancia siempre han estado en cada uno de mis proyectos, alentándome y apoyándome en lo que pueden, las quiero mucho, son las mejores hermanitas.

A mis primos chulos, quienes me inspiran con su ejemplo de superación y humildad que los caracteriza, por todas las porras que me echan y sus palabras de hermandad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO GENERAL.....	4
3. HIPÓTESIS	4
4. MATERIALES Y MÉTODOS	5
4.1 Localización y material vegetal	5
4.1.1 Organización experimental	5
4.2 Variables evaluadas.....	6
4.2.1 Variables no destructivas.....	6
4.2.2 Variables destructivas.....	7
5. ANÁLISIS DE DATOS	9
6. RESULTADOS	10
6.1 'Roja'	10
6.1.1 Pérdida de peso.....	10
6.1.2 Color: luminosidad, cromaticidad y matiz.....	11
6.1.3 Respiración.....	15
6.1.4 Etileno.....	16
6.1.5 Firmeza.....	18
6.1.6 Sólidos solubles totales	19
6.1.7 Acidez titulable.....	21
6.1.8 Índice de sabor	22
6.1.9 Compuestos fenólicos.....	23
6.1.10 Flavonoides totales	24
6.1.11 Actividad antioxidante por DPPH.....	25
6.1.12 Actividad antioxidante por ABTS	26
6.1.13 Actividad antioxidante por FRAP	27

6.2 'Morada'	29
6.2.1 Pérdida de peso.....	29
6.2.2 Color: L*, C* y h	30
6.2.3 Respiración.....	34
6.2.4 Etileno.....	36
6.2.5 Firmeza.....	37
6.2.6 Sólidos solubles totales	39
6.2.7 Acidez titulable.....	40
6.2.8 Índice de sabor	42
6.2.9 Compuestos fenólicos.....	43
6.2.10 Flavonoides	44
6.2.11 Actividad antioxidante por DPPH.....	45
6.2.12 Actividad antioxidante por ABTS	46
6.2.13 Actividad antioxidante por FRAP	47
6.3 'Costeña'	49
6.3.1 Pérdida de peso.....	49
6.3.2 Color: L*, C* y h	50
6.3.3 Respiración.....	54
6.3.4 Etileno.....	55
6.3.5 Firmeza.....	56
6.3.6 Sólidos solubles totales	57
6.3.7 Acidez titulable.....	59
6.3.8 Índice de sabor	60
6.3.9 Compuestos fenólicos.....	61
6.3.10 Flavonoides totales.....	62
6.3.11 Actividad antioxidante por DPPH.....	64
6.3.12 Actividad antioxidante por ABTS	65
6.3.13 Actividad antioxidante por FRAP	66
6.4 'Amarilla'.....	68
6.4.1 Pérdida de peso.....	68
6.4.2 Color: L*, C* y h	69

6.4.3 Respiración.....	73
6.4.4 Etileno.....	75
6.4.5 Firmeza.....	76
6.4.6 Sólidos solubles totales	77
6.4.7 Acidez titulable.....	78
6.4.8 Índice de sabor	79
6.4.9 Compuestos fenólicos.....	80
6.4.10 Flavonoides totales.....	81
6.4.11 Actividad antioxidante por DPPH.....	83
6.4.12 Actividad antioxidante por ABTS	84
6.4.13 Actividad antioxidante por FRAP	85
6.5 ‘Cuernavaqueña’	86
6.5.1 Pérdida de peso.....	86
6.5.2 Parámetros de color: L*, C* y h	88
6.5.3 Respiración.....	92
6.5.4 Etileno.....	94
6.5.5 Firmeza.....	96
6.5.6 Sólidos solubles totales (°Brix)	98
6.5.7 Acidez titulable (%)	100
6.5.8 Índice de sabor	102
6.5.9 Compuestos fenólicos.....	104
6.5.10 Flavonoides	106
6.5.11 Actividad antioxidante por DPPH.....	108
6.5.12 Actividad antioxidante por ABTS	110
6.5.13 Actividad antioxidante por FRAP	112
7. DISCUSIÓN	114
7.1 Pérdida de peso	114
7.2 Color L*, C* y h	115
7.3 Respiración	115
7.4 Etileno	116
7.5 Firmeza	117

7.6 Sólidos solubles totales (SST)	118
7.7 Acidez titulable (AT)	119
7.8 Índice de sabor (IS).....	120
7.9 Fenoles	121
7.10 Actividad antioxidante por ABTS, DPPH y FRAP	122
7.11 Flavonoides.....	123
8. Días a madurez de consumo.....	124
9. CONCLUSIONES.....	126
10. LITERATURA CITADA.....	127

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Ecotipos de ciruela mexicana evaluados con 0, 500 y 1000 nL L ⁻¹ 1-MCP	5
Cuadro 2. Días a madurez de consumo de cinco ecotipos de ciruela mexicana (<i>Spondia purpure</i> L.) evaluado a temperatura ambiente y a 12 °C por periodos de 5, 10 y 15 días en frutos testigos y con aplicación de 500 y 1000 nL L ⁻¹ de 1-MCP	125

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Pérdida de peso en frutos de ciruela mexicana ‘roja’ almacenados a temperatura ambiente y a 12 °C con previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	11
Figura 2. Cambios de luminosidad en la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	12
Figura 3. Cambios de cromaticidad en la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP. (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	14
Figura 4. Cambios en el matiz en la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	15
Figura 5. Respiración en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	16
Figura 6. Producción de etileno en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	18
Figura 7. Firmeza en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	19
Figura 8. Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa	

	aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	20
Figura 9.	Acidez titulable totales en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	22
Figura 10.	Índice de sabor en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	23
Figura 11.	Fenoles totales en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	24
Figura 12.	Flavonoides totales en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	25
Figura 13.	Actividad antioxidante DPPH en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	26
Figura 14.	Actividad antioxidante ABTS en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	27
Figura 15.	Actividad antioxidante FRAP en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	28

- Figura 16.** Respiración en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 30
- Figura 17.** Cambios en la luminosidad de frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 31
- Figura 18.** Cambios en la cromaticidad de frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 33
- Figura 19.** Cambios en el ángulo matiz de frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 34
- Figura 20.** Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 35
- Figura 21.** Producción de etileno en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 37
- Figura 22.** Firmeza en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 38
- Figura 23.** Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL

- L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 40
- Figura 24.** Acidez titulable en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 41
- Figura 25.** Índice de sabor en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 42
- Figura 26.** Compuestos fenólicos en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 44
- Figura 27.** Flavonoides totales en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 45
- Figura 28.** Actividad antioxidante por DPPH en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 46
- Figura 29.** Actividad antioxidante por ABTS en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 47
- Figura 30.** Actividad antioxidante por FRAP en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 48
- Figura 31.** Pérdida de peso en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenados a temperatura ambiente y a 12 °C con previa

aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

- Figura 32.** Cambios de luminosidad en la epidermis del fruto de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 49
- Figura 33.** Cambios de cromaticidad en la epidermis del fruto de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 51
- Figura 34.** Cambios en matiz de la epidermis del fruto de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 52
- Figura 35.** Respiración en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 53
- Figura 36.** Producción de etileno en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 55
- Figura 37.** Comportamiento de la firmeza en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 56
- Figura 38.** Comportamiento de los sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 57
- Figura 39.** Comportamiento de la acidez titulable en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C 58

con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

- Figura 40.** Comportamiento del índice de sabor en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 60
- Figura 41.** Comportamiento de compuestos fenólicos en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 61
- Figura 42.** Flavonoides totales en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 62
- Figura 43.** Actividad antioxidante por DPPH en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 64
- Figura 44.** Actividad antioxidante por ABTS en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 65
- Figura 45.** Actividad antioxidante por FRA en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 66
- Figura 46.** Pérdida de peso en frutos de ciruela mexicana 'Amarilla' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 67
- Figura 47.** Cambio en la luminosidad de frutos de ciruela mexicana 'Amarilla' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin 69

aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

- Figura 48.** Cambio en la luminosidad de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 70
- Figura 49.** Cambio en el ángulo de matiz de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 72
- Figura 50.** Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 73
- Figura 51.** Producción de etileno de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 75
- Figura 52.** Firmeza de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 76
- Figura 53.** Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 77
- Figura 54.** Acidez titulable en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 78
- Figura 55.** Índice de sabor en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). 79

- Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 80
- Figura 56.** Compuestos fenólicos en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 81
- Figura 57.** Flavonoides totales en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 82
- Figura 58.** Actividad Antioxidante por DPPH en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 83
- Figura 59.** Actividad Antioxidante por ABTS en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 84
- Figura 60.** Actividad Antioxidante por FRAP en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 85
- Figura 61.** Pérdida de peso en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 87
- Figura 62.** Luminosidad en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 89
- Figura 63.** Cromaticidad en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa

	la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	90
Figura 64.	Cambios de matiz en epidermis de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	91
Figura 65.	Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	93
Figura 66.	Producción de etileno en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	95
Figura 67.	Firmeza en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	97
Figura 68.	Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	99
Figura 69.	Acidez titulable en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	101
Figura 70.	Índice de sabor en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y 1000 nL L ⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.	103
Figura 71.	Compuestos fenólicos en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L ⁻¹ , (▲) y	

- 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 105
- Figura 72.** Flavonoides en frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 107
- Figura 73.** Actividad antioxidante evaluada por el método de DPPH en frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 109
- Figura 74.** Actividad antioxidante por ABTS en frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 111
- Figura 75.** Actividad antioxidante por FRAP en frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey. 113

RESUMEN

La ciruela mexicana es un frutal nativo de México, se distribuye en la vertiente del Pacífico, centro de Veracruz y Península de Yucatán. El árbol de ciruela mexicana produce frutos de diferentes tamaños, colores y sabores, existe una gran diversidad que se aprecia tanto en los meses de marzo a junio, como de septiembre a noviembre. El principal uso de la fruta es en fresco como fruta de temporada, la vida útil de la ciruela de estación seca no es mayor a 5 d, por lo cual es un frutal que se considera importante de manera local. Actualmente poco se han desarrollado y evaluado tecnologías para incrementar la vida útil de este producto hortícola, por lo que en el presente trabajo se evaluó la respuesta de cinco ecotipos de ciruela mexicana a la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP), con la finalidad de proponerlo para el desarrollo del manejo poscosecha adecuado de esta fruta. Durante abril a septiembre de 2022 se cosecharon frutos de ciruela mexicana procedentes de Guerrero y Morelos. Los frutos se cosecharon en etapa $\frac{1}{2}$ verde. Los frutos fueron transportados al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde se lavaron y se dejaron secar al ambiente. Posteriormente se colocaron en cajas de plástico herméticas durante 12 h y se aplicó 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP, se evaluaron a temperatura ambiente (24.9 ± 1 °C; 55.1 ± 6 % HR) y después de 5, 10 y 15 d en almacenamiento a 12 °C. Se evaluaron los cambios fisicoquímicos y fisiológicos de cada ecotipo. La aplicación de 1-MCP, independiente del tiempo de almacenamiento inhibió y retrasó la velocidad de respiración y producción de etileno, mantuvo la firmeza y retrasó la pigmentación característica de cada ecotipo, con poca acción en la concentración de sólidos solubles totales y acidez titulable, sin efecto claro en compuestos fenólicos, flavonoides y actividad antioxidante, y sin ningún efecto en la pérdida de masa. El efecto del 1-MCP permite conservar la fruta a temperatura ambiente hasta 6 u 8 d; la refrigeración a 12 °C potencia la acción del 1-MCP permitiendo conservar hasta 9 a 20 d después de salir de almacenamiento.

Palabras clave: Ciruela mexicana, 1-metilciclopropeno, almacenamiento, refrigeración, calidad, poscosecha.

SUMMARY

The Mexican plum is a fruit native to Mexico, it is distributed on the Pacific slope, central Veracruz and Yucatan Peninsula. The Mexican plum tree produces fruits of different sizes, colors and flavors, there is a great diversity that is appreciated both in the months of March to June, and from September to November. The main use of the fruit is fresh as a seasonal fruit, the shelf life of the dry season plum is not more than 5 d, so it is a fruit tree that is considered important locally. Currently, little technologies have been developed and evaluated to increase the shelf life of this horticultural product, so in this work the response of five ecotypes of Mexican plum to the application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) was evaluated, in order to propose it for the development of adequate postharvest management of this fruit. During April to September 2022, Mexican plum fruits were harvested from Guerrero and Morelos. The fruits were harvested in stage 1/2 green. The fruits were transported to the Agricultural Production Laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences at the Autonomous University of the State of Morelos, where they were washed and left to dry in the environment. Subsequently, they were placed in airtight plastic boxes for 12 h and 0, 500 and 1000 nL L⁻¹ of 1-MCP were applied, evaluated at room temperature (24.9 ± 1.1 °C; 55.1 ± 6.2 % RH) and after 5, 10 and 15 d in storage at 12 °C. The physicochemical and physiological changes of each ecotype were evaluated. The application of 1-MCP, independent of storage time inhibited and delayed the rate of respiration and production of ethylene, maintained the firmness and delayed the pigmentation characteristic of each ecotype, with little action on the concentration of total soluble solids and titratable acidity, with no clear effect on phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity, and without any effect on mass loss. The effect of 1-MCP allows the fruit to be preserved at room temperature up to 6 or 8 d; cooling at 12 °C enhances the action of 1-MCP allowing to preserve up to 9 to 20 d after leaving storage.

Key words: Mexican plum, 1-methylcyclopropene, storage, refrigeration, quality, postharvest.

1. INTRODUCCIÓN

Spondias purpurea L. (ciruela mexicana), es un frutal cultivado desde tiempos prehispánicos por grupos étnicos (Ferrer *et al.*, 2017), nativo de México, se distribuye en la vertiente del Pacífico, centro de Veracruz y Península de Yucatán (Arce-Romero *et al.*, 2016). Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicanas son los nombres comunes más utilizados en México y otros países de habla hispana para referirse al fruto (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2017). Pertenece a la familia Anacardiácea, orden Sapindales, subclase Rosidae y clase Dicotiledóneas (Ramirez, 2004).

Villareal-Fuentes *et al.* (2018) argumentan que es un frutal con alto potencial de cultivo en México, en la primavera (periodo seco del año) cuando no hay producción de otros frutales y adquiere un valor relativamente más alto en su comercialización. Se destaca a la ciruela mexicana como una planta rustica que se adapta bien a pobres condiciones del suelo y estivales en climas cálidos (Cruz-León *et al.*, 2012). Los árboles de *Spondias purpurea* se emplean como cercos vivos, las hojas resultan agradables para el ganado, y los frutos pueden consumirse en estado inmaduro o maduro (Ramírez *et al.*, 2008).

La ciruela mexicana se encuentra cultivada en pequeñas plantaciones comerciales, en huertos familiares, bordos, límites de parcelas y potreros (Cruz y Rodríguez, 2012). La mayor parte de la superficie contabilizada de este cultivo se encuentra en huertos familiares bajo condiciones de manejo postcosecha deficientes (Cruz, 2006). Se tiene registro que la ciruela mexicana se cultiva en 24 estados de la República, siendo Chiapas el estado con mayor superficie sembrada (2,621.2 ha), le siguen Michoacán con (2,296.0 ha) y Puebla con (1,406.5 ha), en total se tienen registradas 11,718.10 ha, en el país (SIAP 2022). Sin embargo, es necesario realizar un censo con mayor detalle para conocer la superficie de este cultivo, utilizando metodologías como los sistemas de Información Geográfica.

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) posee frutos que son considerados exóticos, con alto potencial para la exportación debido a la gran diversidad de colores

y sabores que presenta (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2014). Son drupas redondas, oblongas u ovoides de varios pesos y tamaños que generalmente oscilan entre 4 y 33 g y 2-5 cm de anchura (Avitia *et al.*, 2000), liso y brillante, de color rojo vino, purpureo o diferentes tonalidades de amarillo en estado maduro, con epicarpio firme, mesocarpo carnoso, de sabor acidulado muy agradable (Tovar-Soto, 2012). Cabe destacar que es un fruto que proporciona un buen número de calorías y vitamina C, así como una moderada cantidad de minerales como potasio y calcio (Koziol y Macia, 1998), además de importantes compuestos antioxidantes como fenoles y carotenoides (Solórzano *et al.*, 2015; Suárez *et al.*, 2017), ya que el fruto se consume con la epidermis.

Debido a que la ciruela mexicana es un fruto altamente perecedero se han realizado algunas evaluaciones con la finalidad de incrementar su vida útil; como la aplicación de películas comestibles (Bautista-Baños *et al.*, 2003, Bautista *et al.*, 2006, León *et al.*, 2015); efecto de la refrigeración en poscosecha (Pérez, 2004; Monarres 2015; García *et al.*, 2016), respuesta a la aplicación de retardadores de la maduración (Dong *et al.*, 2001; Osuna *et al.*, 2011), efecto de la luz en diferentes condiciones de almacenamiento (Montalvo-González *et al.*, 2011) y liofilización del fruto fresco (Muñoz *et al.*, 2018).

Sin embargo, en el país existe gran diversidad de ecotipos o variantes de ciruela mexicana, por lo que los estudios se han realizado en diferentes materiales genéticos y la aplicación tecnológica se debe ajustar para cada variante. Además, la ciruela mexicana de inicio se divide en variedades que se cosechan en época seca y variedades de época húmeda (Álvarez *et al.*, 2017). Asimismo, en cada región productora se tienen variantes que incrementan esa diversidad, Cruz *et al.*, (2012) al realizar un estudio en cinco regiones de México, indican que al menos en cada región detectaron entre 10 y 12 variantes de ciruelas mexicanas, lo que incrementa la diversidad de esta especie.

Alves *et al.* (2000) mencionan que los estudios realizados en los últimos años reportan un periodo de vida poscosecha al ambiente del fruto, de solo un día cuando se cosechan completamente maduros y de tres días cuando se cosechan después de la pérdida del color verde. Después de evaluar el comportamiento fisiológico de frutos

cosechados en estado verde y amarillo Pereira *et al.* (2000) observaron picos climatéricos de CO₂ y de etileno, pero los frutos verdes no desarrollaron el color deseado para su consumo.

La refrigeración es la principal tecnología que se debe conocer para incrementar la vida útil de la ciruela mexicana. Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) reporta que frutos con madurez media y en madurez de consumo pueden tolerar el almacenamiento en frío a una temperatura de 9.5 °C hasta por cinco días, sin mostrar daños por frío. Sin embargo, al momento no existen estudios concretos de los materiales sobresalientes en México donde se conozcan estos umbrales de temperatura y el efecto benéfico en la vida útil dado que, como se mencionó anteriormente existen frutos que se cosechan en época seca y otros en temporada húmeda las respuestas a las temperaturas de almacenamiento pueden variar para cada una.

Por otra parte, se tiene la hipótesis que el etileno puede ser un factor importante en la velocidad de deterioro en la ciruela mexicana, en este sentido Osuna *et al.* (2011) aplicaron dosis entre 100 y 200 nL L⁻¹ de 1-MCP en un ecotipo 'Amarilla' a temperatura ambiente (22 °C, 70 ± 10 % HR) en etapa sazón y tres cuartos. Los resultados indican una disminución de la pérdida de la respiración, la pérdida de peso, retraso en el desarrollo del color externo y la firmeza del fruto se mantuvo sin afectar el contenido de sólidos solubles totales, y en general se incrementó la vida hasta siete y nueve días para los estados sazón y madurez fisiológica.

Hoy en día una prometedora alternativa para la conservación de los frutos de hueso es el 1-MCP (Egea *et al.*, 2006). El 1-MCP es un compuesto gaseoso capaz de inhibir la producción de etileno en plantas (Sisler y Serek, 1997). Sin embargo, la eficacia del 1-MCP siempre va a depender en gran medida de la especie e incluso variedad a tratar. Las condiciones en las que el tratamiento es llevado a cabo: concentración, temperatura, duración, tiempo transcurrido entre la recolección y el tratamiento, etc., son factores que también influyen en la mayor o menor eficacia del 1-MCP como técnica de conservación poscosecha. La madurez del fruto o su nivel de etileno en el momento del tratamiento, parece ser también un factor crucial del que va a depender la eficacia del tratamiento (Blankenship y Dole, 2003).

Considerando lo expuesto anteriormente, en el presente trabajo se realizó una evaluación de la aplicación del 1-MCP (500 y 1000 nL L⁻¹) para incrementar la vida útil de cinco ecotipos de ciruela mexicana ('Roja', 'Morada', 'Costeña', 'Amarilla' y 'Cuernavaqueña' en condiciones de refrigeración (12 °C) y a temperatura ambiente.

1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los cambios físicos, químicos y fisiológicos de cinco ecotipos de ciruela mexicana almacenados a baja temperatura con previas aplicaciones de 1-MCP (500 y 1000 nL L⁻¹) para determinar su factibilidad como una tecnología para incrementar la vida útil del fruto.

2. HIPÓTESIS

Los cinco ecotipos de ciruela mexicana mostrarán diversa respuesta a la aplicación de 1-MCP favoreciendo el incremento en la vida útil del producto.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y material vegetal

Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias situado en el Campus Chamilpa de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Los ecotipos evaluados se obtuvieron de árboles en producción provenientes de localidades de Morelos y Guerrero, de trabajos previos (Solórzano *et al.*, 2015; Monarres, 2015). Los frutos se cosecharon por la mañana y se trasladaron por tierra al laboratorio, donde se acondicionaron para establecer los tratamientos.

Cuadro 1 . Ecotipos de ciruela mexicana evaluados con 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ 1-MCP

Ecotipo	Época de cosecha	Lugar de procedencia
'Roja'	Abril	Tepalcingo, Morelos
'Morada'	Abril	Tepalcingo, Morelos
'Amarilla'	Mayo	Tepalcingo, Morelos
'Costeña'	Abril	Villa Guerrero, Guerrero
'Cuernavaqueña'	Septiembre/Octubre	Morelos

3.1.1 Organización experimental

Se cosecharon frutos con madurez $\frac{1}{2}$ (50 % de color verde de la epidermis y 50 % del color característico del color del fruto) de cada ecotipo ('Roja', 'Morada' 'Costeña', 'Amarilla' y 'Cuernavaqueña') y posteriormente se almacenaron a una temperatura de 12 °C por periodos de 0, 5, 10 y 15 d, con previa aplicación de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP. Al salir del experimento se evaluaron diariamente y cada dos días, por un periodo de nueve días, algunos cambios físicos, químicos y fisiológicos. La unidad

experimental fue un fruto y se hicieron cinco, seis o diez repeticiones. El diseño experimental fue completamente al azar.

3.2 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron destructivas y no destructivas. Las no destructivas fueron: pérdida de peso, color de la epidermis del fruto (Luminosidad, cromaticidad y matiz), apariencia del fruto, respiración y producción de etileno. Las variables destructivas fueron sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de sabor, firmeza, fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP.

3.2.1 Variables no destructivas

Pérdida de peso. Los frutos de ciruela mexicana se pesaron en una balanza digital (OHAUS, SCOUT Pro, EUA) y el peso inicial se comparó con el registrado en cada fecha de evaluación, las mediciones se realizaron diariamente después de salir de cada condición de almacenamiento, y se calculó el porcentaje final de pérdida de agua del fruto con la fórmula siguiente:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Color. El color externo del fruto se midió con un espectrofotómetro esfera (X-rite®-SP60, USA). El color se determinó en la parte ecuatorial del fruto, se registraron los valores de Luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y matiz (h) (Neguerula, 2012). El color externo del fruto se determinó diariamente al salir del almacenamiento.

Velocidad de respiración y producción de etileno. La velocidad de producción de respiración (CO₂) y producción de etileno se cuantificaron mediante un sistema estático (Salveit, 2016) el cual consistió en colocar dos frutos de masa conocida en

recipientes de vidrio con capacidad de 144 mL, cerrados herméticamente durante dos horas. Posteriormente, se tomó un mL de gas del espacio de cabeza a través de la septa de los frascos, para inyectarlo a un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890A GC), 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 otro de conductividad térmica (TCD) a 170 °C, como gas acarreador se utiliza N₂ (2 mL/min). El inyector y horno del cromatógrafo mantienen una temperatura de 150 y 80 °C respectivamente durante las mediciones. Para la cuantificación se utilizaron estándares de CO₂ (460 ppm) y etileno (100 ppm) (Quark INFRA®).

Apariencia. Se evaluó la presencia de manchas oscuras, necróticas u oscurecimiento por daño por frío en la superficie de los frutos de ciruela que se utilizaron para evaluar las variables no destructivas diariamente. Se considerará una escala subjetiva de cada fruto en porcentaje de manchado u oscurecimiento. Al final se promediarán los frutos evaluados y se obtendrá un valor que tendrá una escala desde 1 = 1- 5 % hasta 5 = > 50 %.

3.2.2 Variables destructivas

Firmeza de la pulpa. Las mediciones se hicieron en dos partes opuestas en la zona ecuatorial del fruto, sin eliminar la epidermis del fruto, se midió la fuerza necesaria (N) para penetrar la pulpa con un texturómetro manual (Chatillo DF250, USA) provisto de un puntal tipo diente (4.7 mm de diámetro en la base).

Sólidos solubles totales. Se determinaron con refractómetro digital (ATAGO, PAL1, Japón). En la parte media del fruto se realizó una incisión para extraer unas gotas de jugo, que se colocaron en el refractómetro. Los resultados se reportan como °Brix.

Acidez titulable. Se obtuvo por medio de la técnica de la AOAC (1995). Se licuó 1 g de pulpa con 10 mL de agua destilada, posteriormente se centrifugó la mezcla a 6000 rpm (Orson, España) y del sobrenadante se tomaron 5 mL a los cual se le adicionó

tres gotas de fenolftaleína, para titularlo con NaOH (0.1 N) hasta el vire de color. El cálculo de la acidez titulable se realizó con la formula:

$$\text{Acidez titulable (\%)} = \frac{(\text{mL de NaOH}) \times (0.1 \text{ N}) \times (11 \text{ mL}) \times (64) \times (100)}{(1 \text{ g}) \times (5 \text{ mL}) \times 1000}$$

Compuestos fenólicos. El contenido total de fenoles se determinó con el método propuesto por Folin & Ciocalteu. Se trituró 1 g de pulpa fresca, 10 mL de agua destilada con ayuda de un Ultra Turrax (IKA®, USA) y, posteriormente, se centrifugó a 10,000 g durante 15 min. Se tomó 0.5 mL del sobrenadante y se mezcló con 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10), posterior a 5 min, se adicionaron 2 mL de carbonato de sodio a 7.5 % (p/v) y se dejó reposar durante 2 h; después se realizaron las lecturas en un espectrofotómetro (HACH DR 5000®, USA) a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100g⁻¹ de peso fresco (Singleton *et al.*1999).

Determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH. Se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams *et al.* (1995), con mínimas modificaciones de lo propuesto por Suárez *et al.* (2017), este método consiste en colocar a una celda de cuarzo 3 mL de una solución de DPPH metanólica 6,1x10⁻⁵ M (Sigma Aldrich, USA) y se hicieron reaccionar con 0.01 mL del sobrenadante de la extracción para compuestos fenólicos, la mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 15 min y se tomó la absorbancia a 517 nm. Los resultados se expresan en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g⁻¹.

Determinación de la capacidad antioxidante por la técnica de ABTS. Se preparó ABTS (Sigma-Aldrich) 7mM y persulfato de potasio (K₂S₂O₈) a 2.45 mM y se mezclaron 1:1, se dejó en agitación durante 16 h. Se diluyó con etanol 20 % hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ±0.02 a 734 nm. Se agregaron 3 mL de ABTS con 0.01 mL del sobrenadante de la extracción para compuestos fenólicos y se dejaron reaccionar

durante 15 min y se leyó la absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g⁻¹ peso fresco (Re *et al.*, 2005).

Capacidad antioxidante de reducción férrica (FRAP). Se empleo la metodología desarrollada por Benzie y Strain (1996): se preparó el reactivo FRAP (TPTZ, FeCl₃ y amortiguador de acetato) se mezcló 1.8 mL de FRAP con 0.7 mL de agua desionizada y 0.3 mL del sobrenadante de la extracción para compuestos fenólicos, se dejó reaccionar durante 15 min a 37 °C y transcurrido el tiempo de reacción se leyó a una absorbancia de 593 nm, los resultados se expresan en mg equivalentes de ácido ascórbico (EAA) 100 g⁻¹ peso fresco.

4. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos se analizaron por día de evaluación en cada tiempo de almacenamiento, mediante análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey con una probabilidad de 0.05 dichos análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS V 9.4. También se elaboraron gráficas de cada variable evaluada con el programa SigmaPlot®, en las que se presenta el promedio de las observaciones y su error estándar.

5. RESULTADOS

5.1 'Roja'

5.1.1 Pérdida de peso

Los frutos de ciruela mexicana 'Roja' evaluados a temperatura ambiente presentaron una pérdida de peso constante, alcanzando 32 % en los frutos donde no se aplicó el 1-MCP a los 8 días de evaluación (Figura 1). Los frutos tratados con 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ alcanzaron 27 y 27.5 %, respectivamente en el mismo periodo (Figura 1). El análisis de varianza no detectó diferencias entre los tratamientos (Figura 1).

Los frutos almacenados a 12 °C por 5 días mostraron una pérdida de peso de 5 % al salir de dicha condición y durante la maduración a temperatura ambiente la pérdida de peso fue constante alcanzando entre 24 y 28 % a los 6 días después de salir del almacenamiento (Figura 1) El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 1). Los frutos almacenados por 10 días a 12 °C tuvieron 4 % de pérdida de peso y durante la maduración alcanzaron entre 21 y 23 % a los 6 días después de salir de la refrigeración (Figura 1). No se determinaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1). Finalmente, los frutos almacenados por 15 días a 12 °C mostraron entre 2.8 y 3 % de pérdida de peso al salir del almacenamiento, posteriormente los frutos testigo mostraron significativamente mayor pérdida de peso, alcanzado hasta 23.7 %, en tanto que los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹ tuvieron entre 19 y 20 % (Figura 1).

En general estos resultados nos indican que la aplicación de 1-MCP no afectó significativamente pérdida de peso tanto a temperatura ambiente como en frutos previamente almacenados a 12°C.

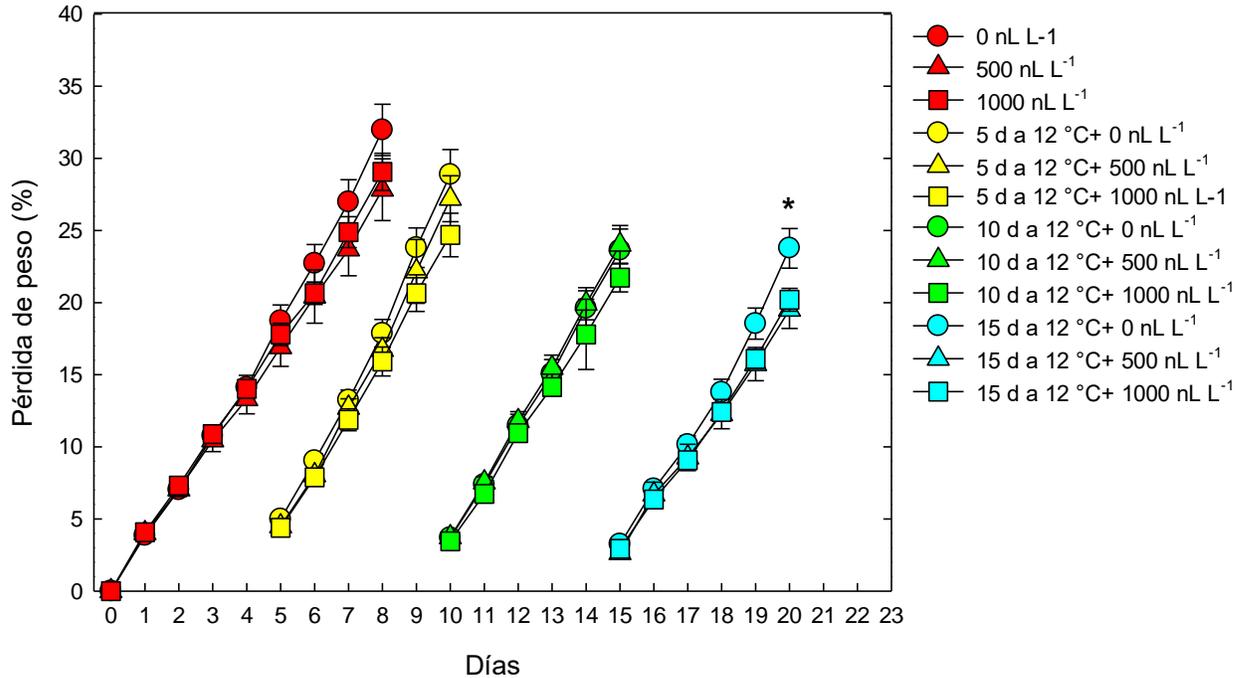


Figura 1. Pérdida de peso en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y a 12 °C con previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.2 Color: luminosidad, cromaticidad y matiz

El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre tratamientos en la mayoría de los periodos de almacenamiento (Figura 1). Así en los frutos almacenados a temperatura ambiente, la luminosidad disminuyó de valores iniciales de L= entre 39 y 40 hasta L= 33 y 34 después de 8 días, donde los frutos que se aplicó 500 o 100 nL L⁻¹ mostraron una velocidad significativa menor de cambio entre el cuarto y séptimo día de evaluación (Figura 2).

En los frutos almacenados a 12 °C por 5 días, la tendencia de la luminosidad en los frutos de los tres tratamientos evaluados fue similar, a excepción del último día donde los frutos sin aplicación de 1-MCP mostraron los valores mayores (Figura 2).

En los frutos almacenados por 10 y 15 días, los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ tuvieron una velocidad significativamente menor en la disminución de la luminosidad, con mayor evidencia en los frutos que se almacenaron por 15 días a 12 °C; donde los frutos donde no se aplicó 1-MCP la luminosidad cambio de L=37 a 28 en 6 días, en tanto que los frutos donde se aplicó el 1-MCP, la luminosidad cambio de L=41-29 en el mismo periodo (Figura 2).

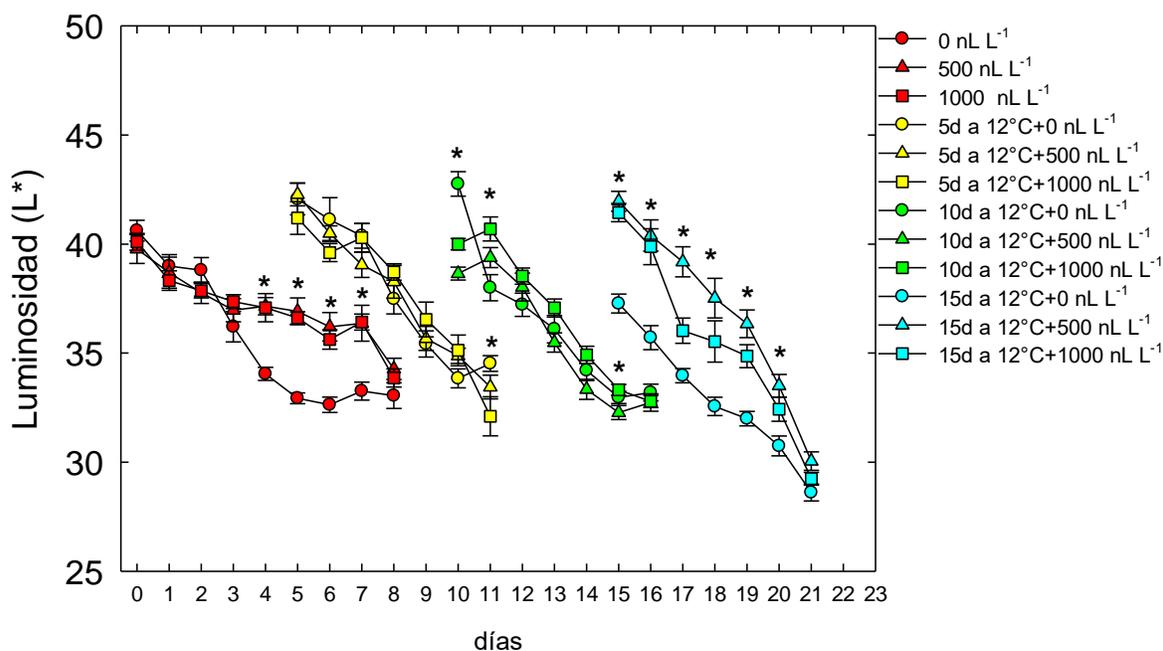


Figura 2. Cambios de luminosidad en la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

Se detectaron diferencias significativas entre frutos de ciruela mexicana donde se aplicó 1-MCP y los que no tuvieron dicho tratamiento en cada periodo de almacenamiento (Figura 3). En los frutos que se mantuvieron a temperatura ambiente con aplicación de 0 nL L⁻¹ de 1-MCP, la cromaticidad se incrementó de C*= 23-24 a un máximo de C*= 33.4 y después de 8 días disminuyó a C*= 26.1 (Figura 3). Valores similares se observaron en los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹, sin embargo,

el valor máximo alcanzado $C^* = 33.4-34.4$ fue a los 5 días, es decir que la aplicación de 1-MCP retrasó en 2 días el desarrollo de los cambios en cromaticidad (Figura 1).

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C, la tendencia del comportamiento del parámetro de cromaticidad fue similar a los frutos almacenados a temperatura ambiente, con la diferencia que los máximos valores se obtuvieron a los dos, tres y tres días después de salir del almacenamiento, en los frutos donde se aplicó 0, 500 y 1000 nL L⁻¹, respectivamente, lo que indica que la aplicación de 1-MCP retrasó el desarrollo de la cromaticidad en un día y además los valores máximos de cromaticidad fueron significativamente mayores comparados con el testigo ($C^* = 36.5$ y 40.2 ; Figura 3).

En los frutos almacenados por 10 días a 12 °C la tendencia de la cromaticidad mostró una tendencia similar, donde los tratamientos con 1-MCP mostraron valores mayores (entre $C^* = 36-37$) que los frutos donde no se aplicó 1-MCP ($C^* = 33$) y con mayor evidencia entre el primer y segundo día después de salir del almacenamiento (Figura 3).

Finalmente, en los frutos almacenados por 15 días, se observó con mayor evidencia que los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ tuvieron valores de cromaticidad mayores alcanzando entre $C^* = 37.4$ y 38.2 en el primer y segundo día después de salir del almacenamiento, en comparación con los frutos donde no se aplicó 1-MCP donde la cromaticidad no alcanzó valores mayores de $C^* = 28$ después del primer día de salir del almacenamiento (Figura 3). Estos resultados sugieren que el 1-MCP afecta el parámetro de cromaticidad de la epidermis en los frutos de ciruela mexicana, retrasando el tiempo en alcanzar los valores máximos, pero haciéndolos más intensos.

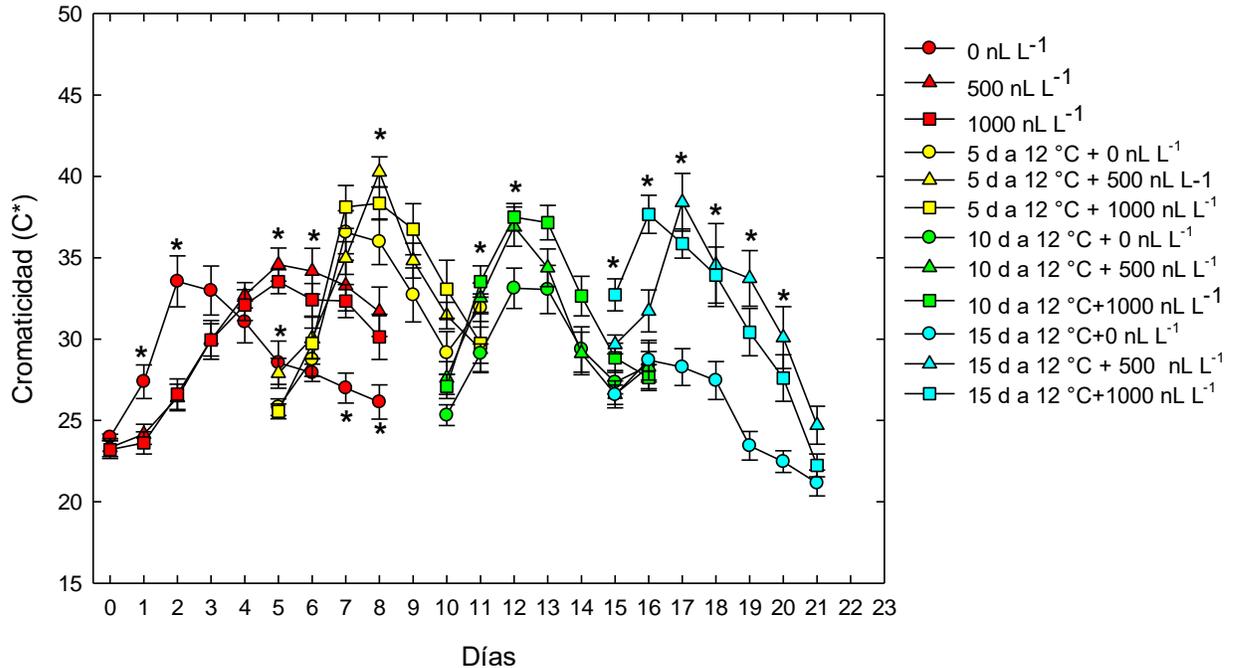


Figura 3. Cambios de cromaticidad en la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

Los frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente mostraron un color tendiente al naranja en el inicio del experimento (h=55-59), 5 días después en los frutos donde no se aplicó 1-MCP, los valores del matiz disminuyeron hasta h=28 indicando un color tendiente al rojo púrpura, en los días posteriores el matiz se mantuvo entre h=26-27, manteniéndose en un color rojo (Figura 4). Los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹, se observó un retraso significativo en el cambio de color, ya que después de 5 días los valores de matiz estuvieron entre h=30 y 36, y sólo al día ocho se alcanzaron valores h=28, es decir un color con mayor tendencia al rojo púrpura (Figura 4).

En el caso de los frutos almacenados durante 5 y 10 días se observó similar comportamiento en el cambio de color, pero leves diferencias entre tratamientos se observaron al salir del almacenamiento o después de 3 o 5 días (Figura 4). En los

frutos almacenados por 15 días, se detectó que la aplicación de 500 nL L⁻¹ retrasó significativamente (h=51-52) y después de 5 días a temperatura ambiente estos llegaron a alcanzar valores tendientes al rojo púrpura h=28, al igual que los otros dos tratamientos (Figura 4).

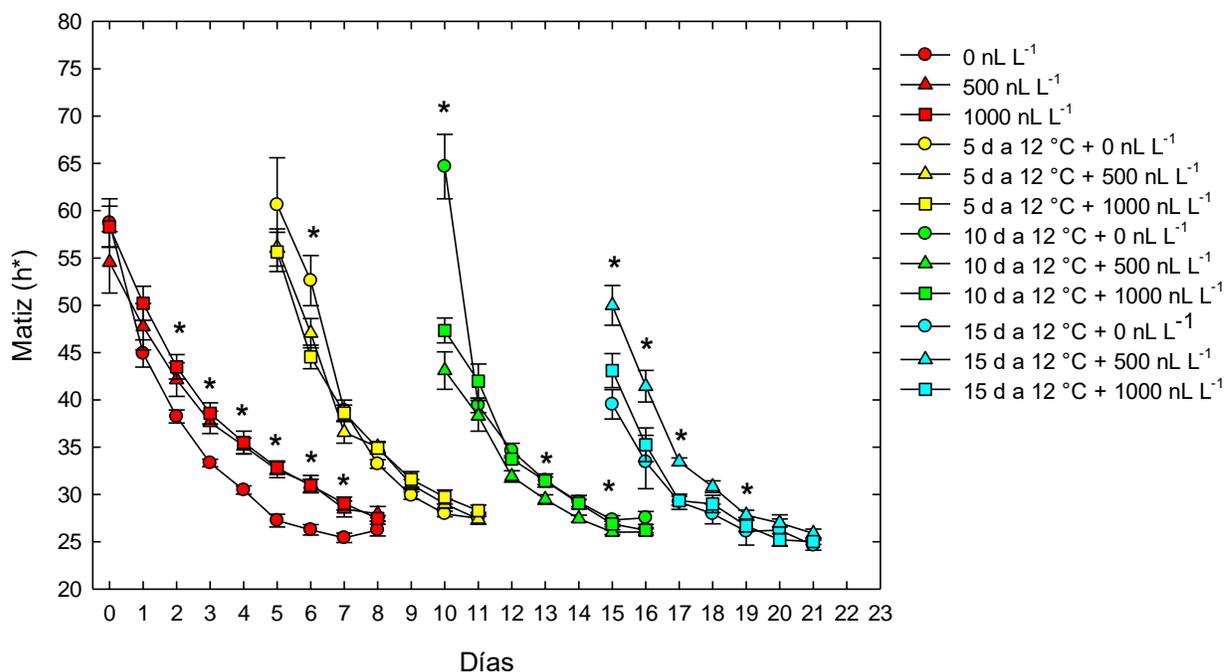


Figura 4. Cambios en el matiz en la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.3 Respiración

Se detectaron pocas diferencias entre tratamientos en los frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ después de diferentes periodos de almacenamiento y dosis de 1-MCP (Figura 5). En los frutos almacenados a temperatura ambiente se determinó el típico patrón climatérico, donde el máximo de producción se determinó al tercer día, sin detectarse diferencias significativas entre tratamientos (Figura 5).

En los frutos almacenados por 5 y 10 días, se observaron algunas diferencias al inicio y final del periodo de maduración a temperatura ambiente, donde los frutos sin aplicación de 1-MCP mostraron valores mayores (Figura 5).

Finalmente, los frutos almacenados por 15 días, la respiración mostró una disminución constante los primeros 4 días de evaluación y posteriormente un aumento, pero sin detectarse diferencias entre tratamientos (Figura 5).

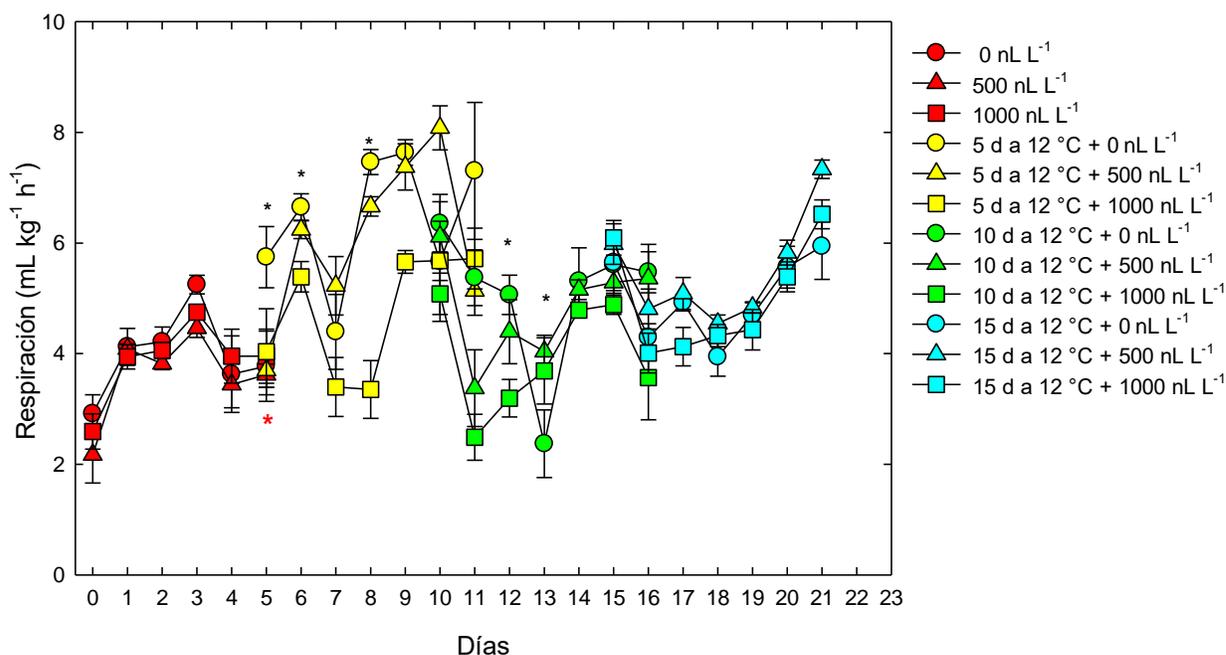


Figura 5. Respiración en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.4 Etileno

Se detectaron algunas diferencias significativas en la producción de etileno en la ciruela mexicana ‘Roja’ almacenada a 12 °C con aplicación 1-MCP (Figura 6). En los frutos almacenados a temperatura ambiente los frutos testigo alcanzaron la máxima producción se observó a los 4 días en los frutos sin aplicación de 1-MCP, en tanto que los frutos donde se aplicó 1-MCP, la producción de etileno fue menor, pero

presentándose a los 4 y 5 días (Figura 6). Sin embargo, el análisis estadístico no determinó diferencias entre los tratamientos.

Similar tendencia se observó en los frutos almacenados por 5 días, donde los frutos testigo mostraron en promedio mayor producción de etileno que los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹, además se retrasó la producción de etileno por 4 y 5 días comparado con los frutos donde no se adicionó el 1-MCP (Figura 6). Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

Al salir del almacenamiento por 10 días los frutos de ciruela mexicana mostraron el típico comportamiento climatérico, los frutos sin aplicación alcanzaron su máximo de producción a los 4 días, en tanto que los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹ los máximos fueron a los 5 y 6 días, por lo que se considera que el 1-MCP retrasó significativamente la producción de etileno (Figura 6).

Finalmente, los frutos almacenados por 15 d no se observaron claramente el efecto 1-MCP, ya que los valores de producción mostraron mucha variabilidad (Figura 6).

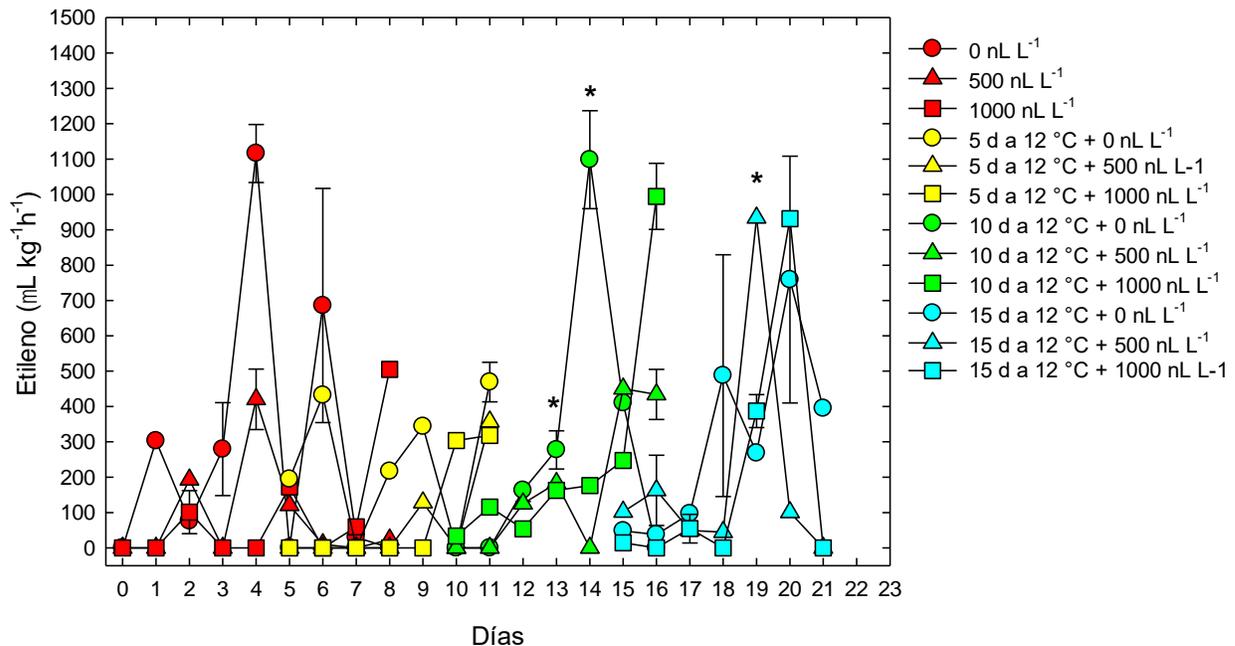


Figura 6. Producción de etileno en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.5 Firmeza

Los frutos sin aplicación de 1-MCP evaluados a temperatura ambiente mostraron una firmeza inicial de 19.29 N, después de 2 días la firmeza disminuyó en 45.5 % (10.8 N) con respecto al día inicial, al cuarto y sexto día disminuyó 47.7 (10.4 N) y 59.7 % (8.0 N; Figura 7). La aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ retrasó significativamente la pérdida de firmeza, ya que después de 2 días de aplicado el tratamiento solo se observó una disminución de entre 18 y 20 % (14.3-15.4 N) comparado con el primer día y en los días posteriores la firmeza no disminuyó más allá de entre 29 y 33 % (12.5-12.8 N; Figura 7).

En los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días a 12 °C, la firmeza mostró la misma tendencia, y se determinaron diferencias significativas entre tratamientos, donde a mayor dosis de 1-MCP la firmeza se retrasa en mayor intensidad (Figura 7).

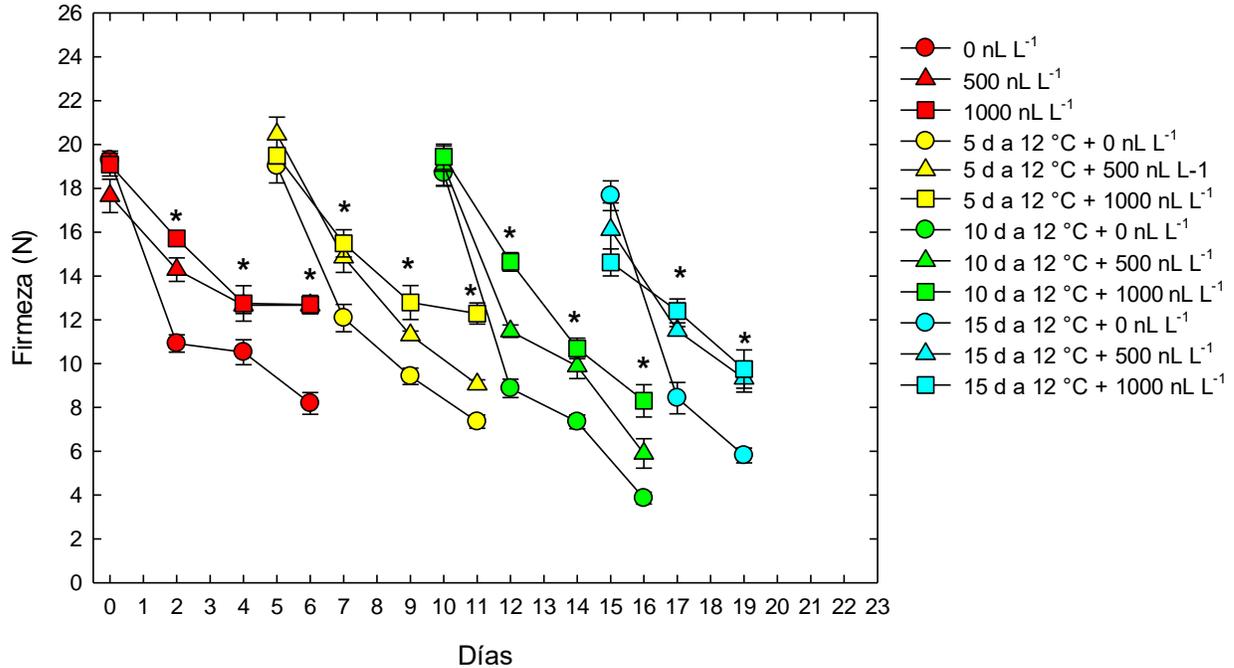


Figura 7. Firmeza en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.6 Sólidos solubles totales

La aplicación de 1-MCP retrasó la acumulación de sólidos solubles totales en los frutos almacenados a temperatura ambiente y a 12 °C por 5 y 10 días (Figura 8). En los frutos almacenados a temperatura ambiente sin aplicación de 1-MCP, los sólidos solubles totales se incrementaron de 8.5 °Brix al inicio de las evaluaciones a entre 15.4 y 15.8 °Brix después de 4 a 6 días (Figura 8). En los frutos donde se aplicó 1-MCP en 500 y 1000 nL L⁻¹ la acumulación de SST se retrasó significativamente, alcanzando entre 12.4 y 14.7 °Brix después de 4 a 6 días (Figura 8).

Al salir del almacenamiento por 5 días el contenido de sólidos solubles totales de los frutos fue entre 12.5 y 13 °Brix, después de 6 días se incrementó hasta entre 15.4 y 16.4 °Brix en los frutos donde se aplicó 1-MCP y en los frutos sin aplicación se alcanzó

mayor contenido significativamente de SST, 17.5 °Brix (Figura 8). Lo que sugiere que el 1-MCP retrasó la acumulación de SST.

En los frutos almacenados por 10 días, la acumulación de sólidos solubles totales fue mayor cuando se aplicó 1-MCP, ya sea a 500 o 1000 nL L⁻¹, y solo se detectaron diferencias significativas al cuarto día después de salir del almacenamiento (Figura 8). En los frutos almacenados por 15 días no se observó efecto de la aplicación de 1-MCP, ya que iniciaron con aproximadamente 13 °Brix y después de 6 días se incrementó hasta entre 15 y 16 °Brix (Figura 8). Lo anterior sugiere que conforme aumenta el tiempo de almacenamiento en frío las diferencias entre los tratamientos son menores o que la eficiencia del 1-MCP disminuye.

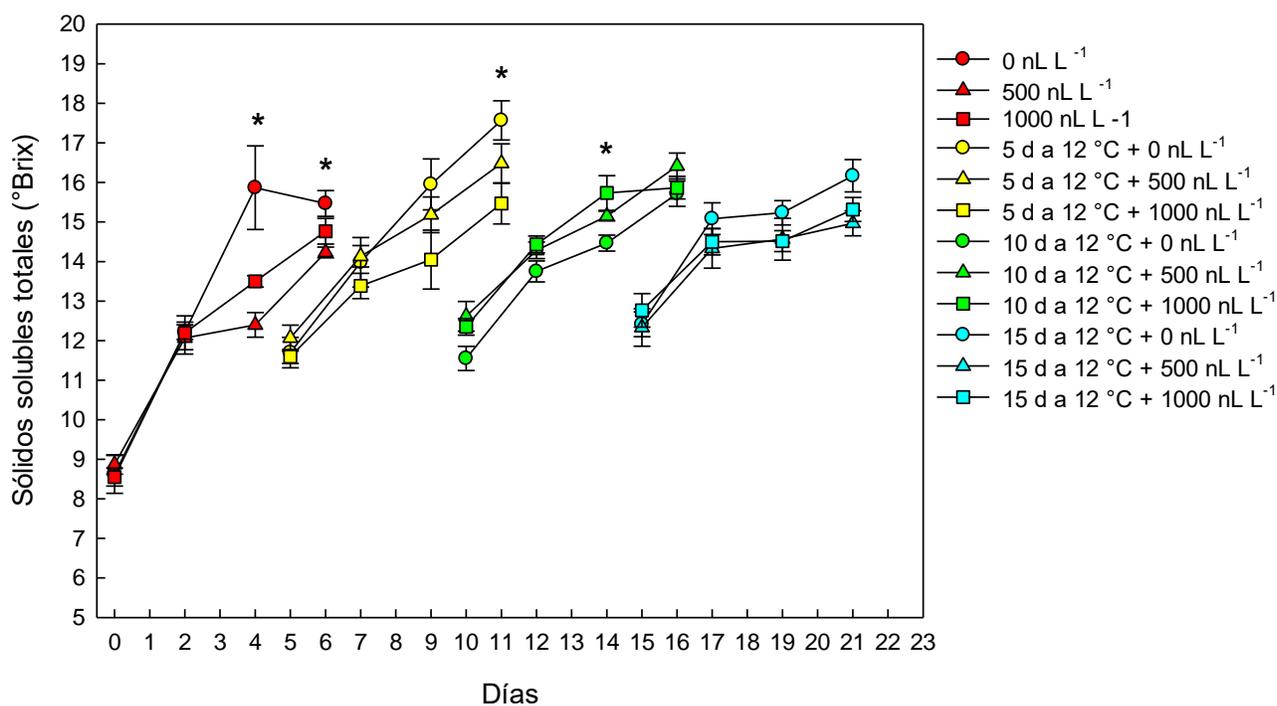


Figura 8. Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.7 Acidez titulable

Escasa respuesta se observó por efecto de la aplicación de 1-MCP y su refrigeración en la variable de acidez titulable (Figura 9). La acidez titulable disminuyó en los frutos donde no se aplicó 1-MCP, de valores iniciales de 0.65 % hasta 0.30 % después de 8 días (Figura 9). Se detectaron diferencias en el cuarto y octavo día, pero no son consistentes o no se tiene una tendencia clara (Figura 9). No se detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados (Figura 9).

En los frutos almacenados por 5 días, se detectó que los frutos sin aplicación de 1-MCP mostraron valores significativamente mayores, además que a comparación con los frutos testigo la tendencia fue de incrementarse (Figura 9). No se observó una tendencia clara de algún tratamiento a ser mayor o diferente a los demás.

Los frutos almacenados por 10 o 15 días no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos y se mantuvieron con pocos cambios durante la maduración, con valores entre 0.5 y 0.7 % (Figura 9).

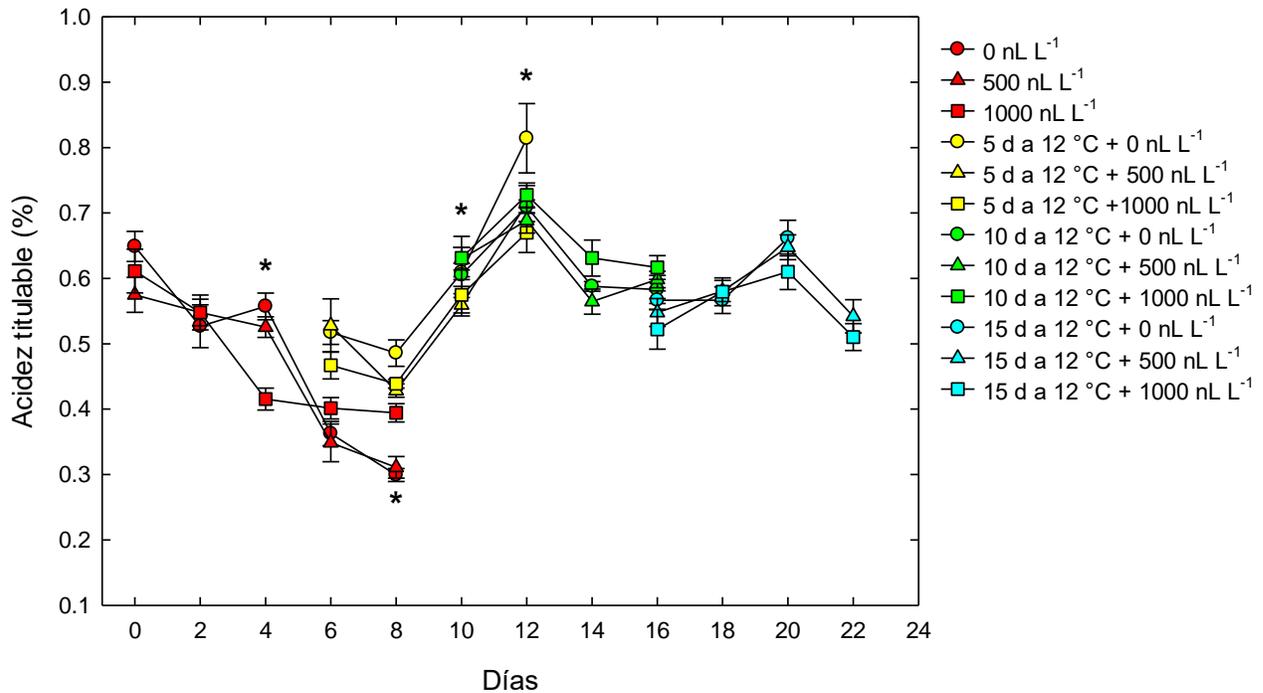


Figura 9. Acidez titulable totales en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.8 Índice de sabor

El índice de sabor se incrementó constantemente durante la maduración en los frutos que estuvieron a temperatura ambiente, de valores iniciales de entre 13 y 15 al inicio del experimento hasta valores de entre 38 y 55, donde los frutos tratados con 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ mostraron significativamente menor acumulación comparado con los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ o 0 nL L⁻¹ (Figura 10). Lo anterior sugiere que la aplicación de 1-MCP retrasó este parámetro de maduración.

Los frutos almacenados por 5 días mostraron un incremento de 22-25 al salir del experimento hasta 28-32 después de 2 días, los frutos con mayor aplicación de 1-MCP (1000 nL L⁻¹) tuvieron la mayor acumulación, posteriormente el índice de sabor disminuyó hasta valores entre 21 y 23 (Figura 10).

Los frutos almacenados por 10 y 15 días, el índice de sabor se mantuvo entre 19 y 29, sin diferencias entre tratamientos (Figura 10). Lo anterior sugiere que la refrigeración retrasó este parámetro de la maduración y que el efecto de 1-MCP es reducido o inhibido después de la refrigeración.

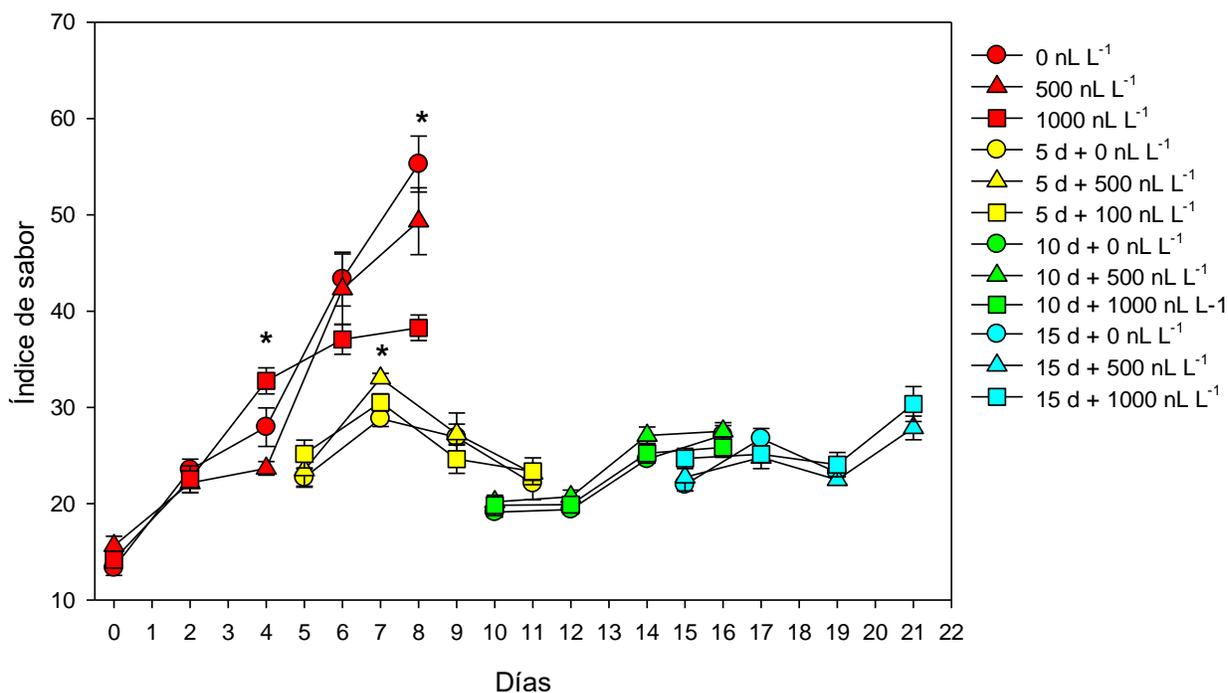


Figura 10. Índice de sabor en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.9 Compuestos fenólicos

No se detectó efecto por la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ en la dinámica de los compuestos fenólicos en ciruela mexicana ‘Roja’ (Figura 11). En los frutos almacenados a temperatura ambiente los fenoles se incrementaron de 223 mg EAG 100g⁻¹ al inicio del experimento hasta entre 305 y 350 mg EAG 100g⁻¹ después de 8 días (Figura 11). En los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días no se detectó diferencia entre las dosis evaluadas (500 y 1000 nL L⁻¹) (Figura 11). Sin embargo, se

observó que la concentración de fenoles totales se incrementó conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, así en los frutos almacenado por 5 días los fenoles aumentaron hasta entre 385 y 479 mg EAG 100g⁻¹ después de 6 días de salir del almacenamiento (Figura 11).

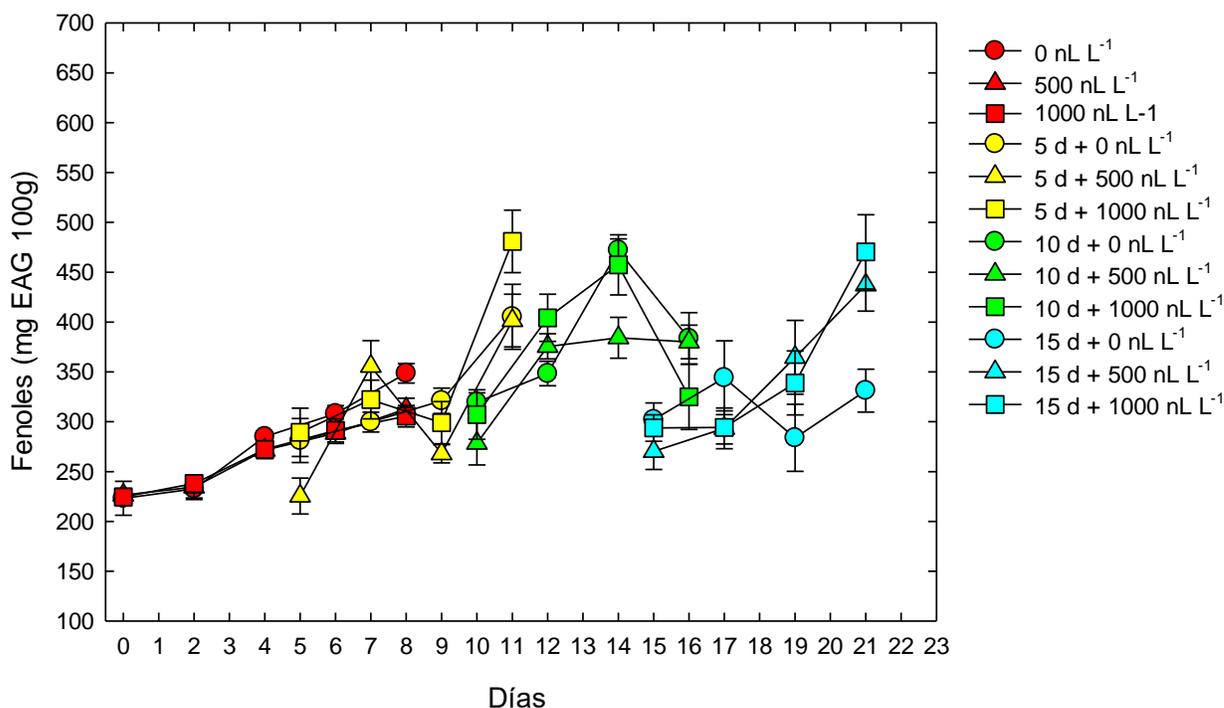


Figura 11. Fenoles totales en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.10 Flavonoides totales

No se detectó efecto por la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ en la dinámica de los flavonoides totales en ciruela mexicana ‘Roja’ (Figura 12). Los flavonoides totales mostraron similar tendencia después de todos los periodos de evaluación, en general se tuvieron entre 47.7 y 86.4 mg EQ 100g⁻¹ (Figura 12)

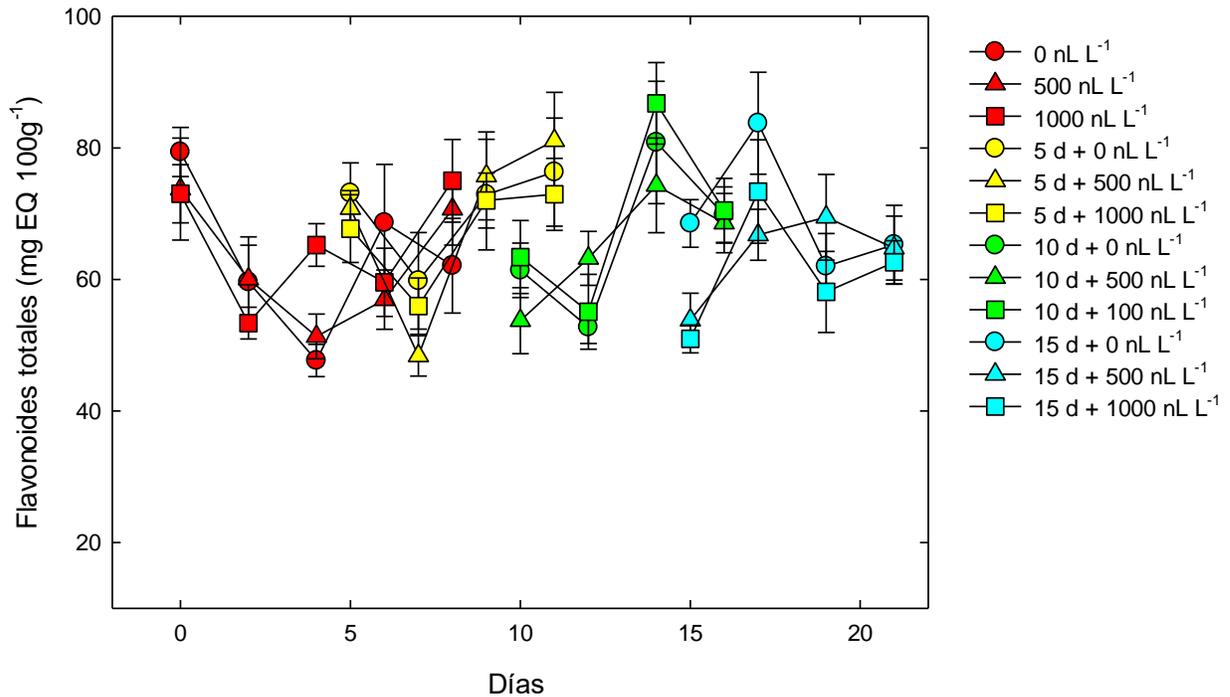


Figura 12. Flavonoides totales en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.11 Actividad antioxidante por DPPH

La actividad de DPPH en los frutos almacenados a temperatura ambiente mostraron un comportamiento poco cambiante, con valores entre 181 y 287 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 13). Con cierta tendencia de los frutos con aplicación de 1000 nL L⁻¹ a mostrar los valores mayores (Figura 13). En los frutos almacenados por 5 días no se detectaron diferencias entre las dosis de 1-MCP evaluadas (Figura 13). En los frutos almacenados por 10 días la actividad antioxidante fue mayor que en los frutos almacenados a temperatura ambiente y los frutos donde no se aplicó el 1-MCP mostró la mayor actividad antioxidante (Figura 13). Finalmente, en los frutos almacenados por 15 días la actividad incrementó en los frutos donde se aplicó el 1-MCP, comparado con los frutos donde no se realizó ninguna aplicación (Figura 13). Lo anterior indica cierta

tendencia de que la aplicación de 1-MCP favorece una mayor actividad antioxidante, sin embargo, la evidencia no es contundente.

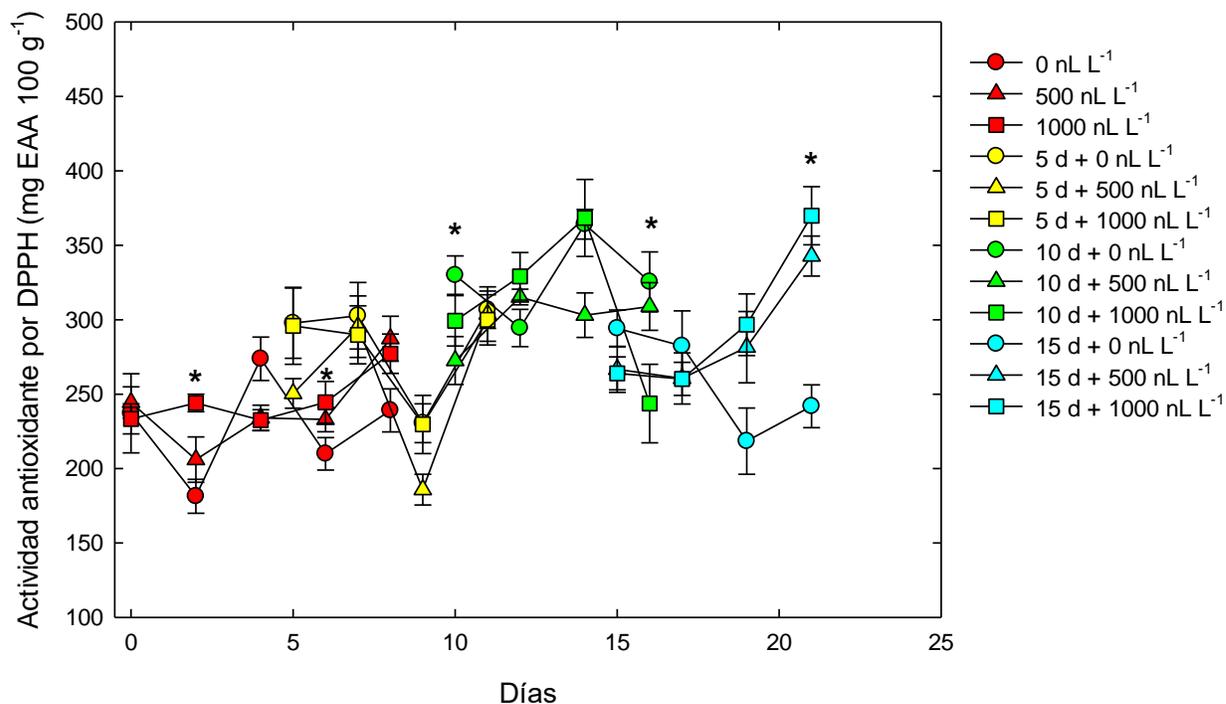


Figura 13. Actividad antioxidante DPPH en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.12 Actividad antioxidante por ABTS

La dinámica de la actividad antioxidante fue de incrementarse durante la maduración (Figura 14). Los frutos testigo sin aplicación de 1-MCP, mostraron significativamente mayor actividad antioxidante por el método de ABTS al segundo y cuarto día después de la aplicación de 1-MCP, posteriormente no se detectaron diferencias entre tratamientos (Figura 14).

Los frutos almacenados a baja temperatura por 5 y 10 días mostraron una dinámica similar a los frutos testigo durante la maduración, solo al cuarto día de evaluación se detectó que los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ mostraron valores menores (Figura

14). Finalmente, en los frutos almacenados por 15 días a temperatura baja la aplicación de 1-MCP retrasó la actividad antioxidante y se mantuvo en valores altos por más de cuatro días comparado con los frutos testigo (Figura 14).

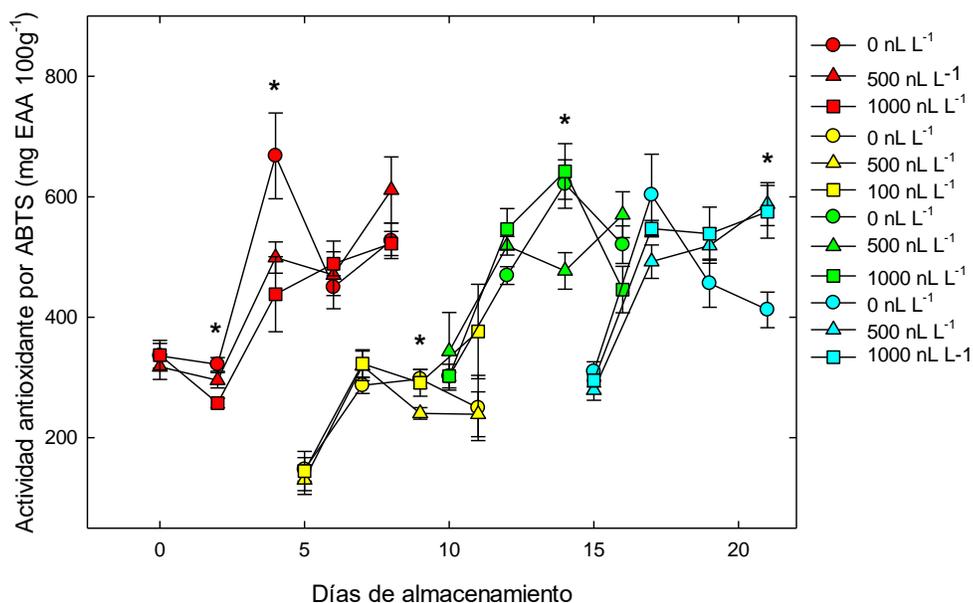


Figura 14. Actividad antioxidante ABTS en frutos de ciruela mexicana ‘Roja’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.1.13 Actividad antioxidante por FRAP

No se detectaron diferencias entre los frutos donde no se aplicó el 1-MCP y los frutos donde se aplicó en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ evaluados a temperatura ambiente (Figura 15).

En los frutos almacenados por 5 días a 12°C no se detectaron diferencias entre tratamientos (Figura 15).

En los frutos almacenados por 10 o 15 días la actividad antioxidante aumentó después de salir del almacenamiento alcanzando un máximo a los 4 o 2-6 días, respectivamente, donde se aprecia que la aplicación de 500 nL L⁻¹ 1-MCP retrasó el

incremento en actividad antioxidante (Figura 15). Con mayor evidencia en los frutos almacenados por 15 días a baja temperatura (Figura 15).

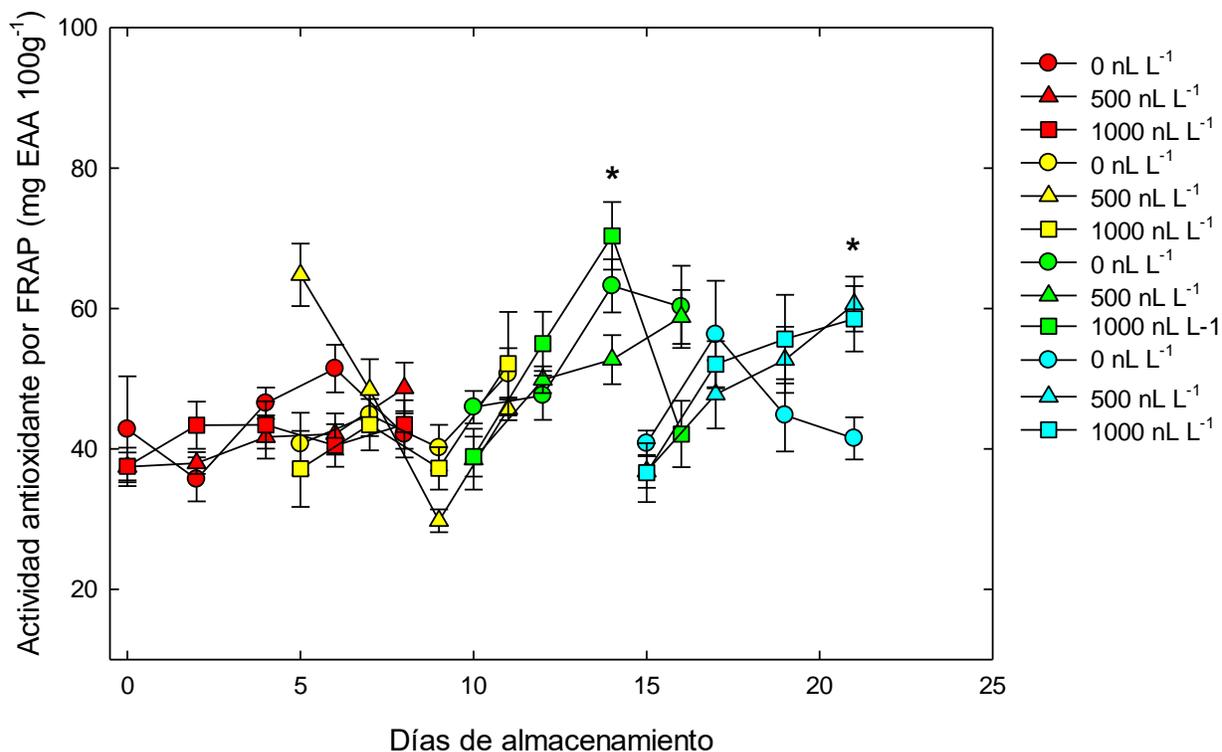


Figura 15. Actividad antioxidante FRAP en frutos de ciruela mexicana 'Roja' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2 'Morada'

5.2.1 Pérdida de peso

La pérdida de peso en los frutos de ciruela mexicana almacenados a temperatura ambiente fue entre 19 y 23 %, después de 8 días, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, aunque se observó mayor pérdida de peso en los frutos sin aplicación de 1-MCP comparado con los frutos donde se aplicó en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ (Figura 16).

Tendencia similar se observó en los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días, donde se cuantificó una pérdida de peso entre 15.5 - 17.8 %, 18.2 - 23 % y 16.4 - 23 %, respectivamente (Figura 16). No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, se observó mayor pérdida de peso en los frutos donde no se aplicó el 1-MCP.

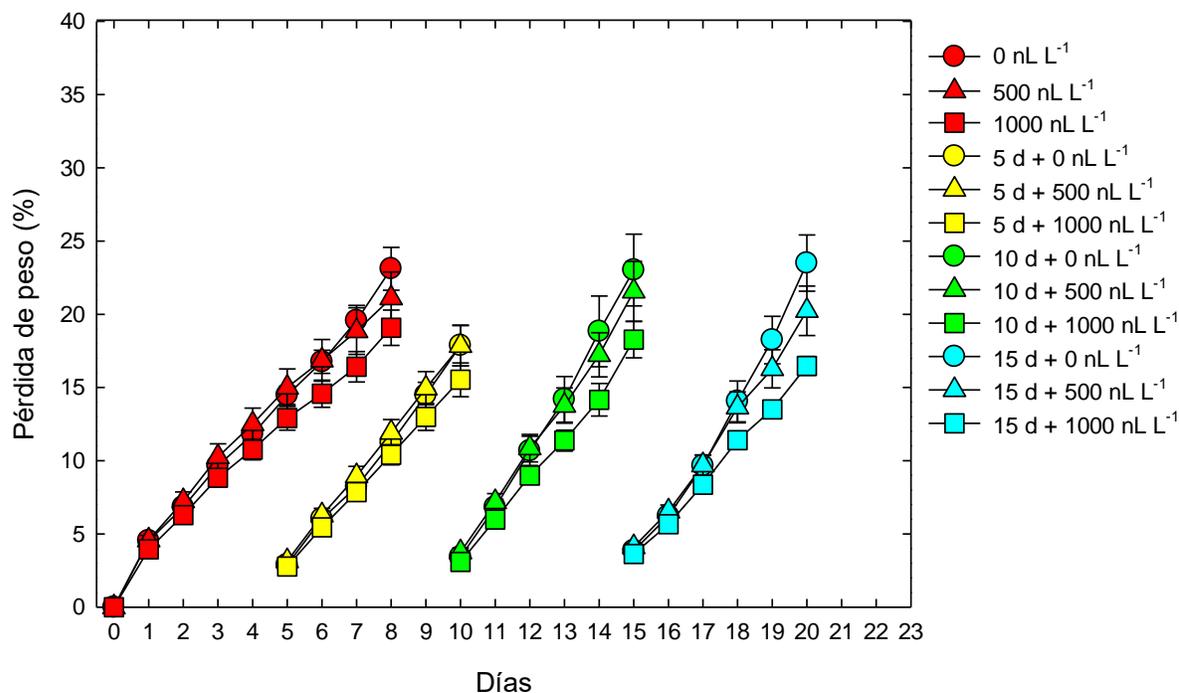


Figura 16. Respiración en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.2 Color: L*, C* y h

Los frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ durante los primeros 4 días, la luminosidad se mantuvo entre L* = 38 - 39.3 y posteriormente disminuyó drásticamente hasta L* = 35.2 y 36.6 alcanzando hasta L* = 34.1 después de 7 y 8 días (Figura 17). Los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹ la luminosidad se incrementó significativamente comparado con los frutos testigo hasta L* = 41 - 41.8 a los 5 días, posteriormente disminuyó hasta llegar a L* = 37.2 - 38.8 después de 7 y 8 días (Figura 17). Los resultados anteriores sugieren que el 1-MCP retrasó en 2 o 3 días la disminución de la luminosidad comparada con los frutos donde no se aplicó el 1-MCP (Figura 17).

En los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ retrasó significativamente la pérdida de luminosidad (Figura 17). Los frutos donde no se aplicó 1-MCP la luminosidad disminuyó durante el periodo de almacenamiento y al salir del mismo, así, en los frutos almacenados por 5 días

disminuyó de $L^* = 36.9$ a 33.1 , en los frutos almacenados por 10 d disminuyó de $L^* = 36.5$ a $L^* = 32.4$ y en los frutos almacenados por 15 d disminuyó de $L^* = 36.9$ a $L^* = 31.1$, en contraste los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 y 1000 $nL L^{-1}$ la luminosidad se mantuvo entre $L = 37.2 - 39.7$ cuando se almacenaron por 5 días, entre $L^* = 34.7 - 39.6$ en los frutos almacenados por 10 d y entre $L^* = 34.3 - 39.5$ en los frutos almacenados por 15 d (Figura 17).

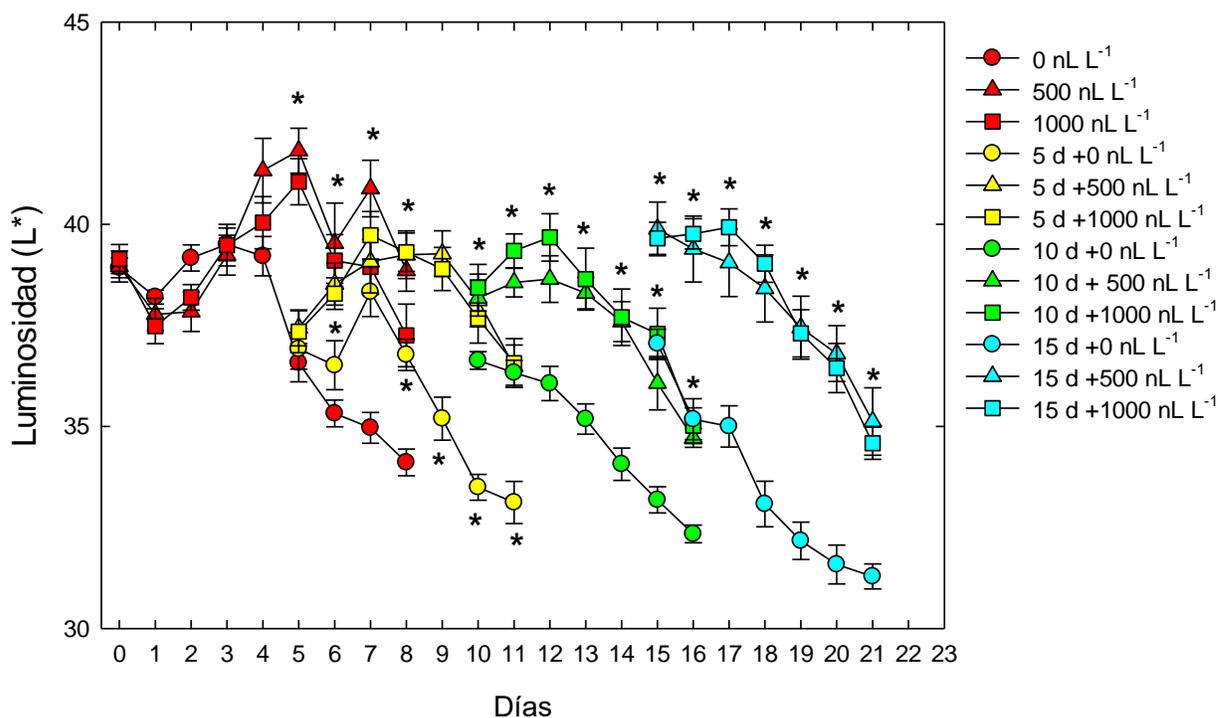


Figura 17. Cambios en la luminosidad de frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 $nL L^{-1}$, (▲) y 1000 $nL L^{-1}$ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

La cromaticidad en los frutos de ciruela mexicana 'Morada' sin aplicación de 1-MCP se incrementó de $C^* = 15.3$ alcanzando un máximo después de $C^* = 36.4$ a los 4 días, para posteriormente disminuir hasta $C^* = 29.6-30.3$ a los 7-8 días (Figura 18). Un comportamiento similar mostró los frutos donde se aplicó 1-MCP con 500 y 1000 $nL L^{-1}$

¹, con excepción que alcanzaron su máximo a los 4 y 7 días, $C^* = 39.0 - 39.5$ y se mantuvieron en valores similares por 8 días (Figura 18).

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C y previa aplicación de 1-MCP, el comportamiento de la cromaticidad fue similar a los frutos que se mantuvieron a temperatura ambiente, es decir los frutos donde no se aplicó 1-MCP al salir del almacenamiento se observó un incremento de la cromaticidad de $C^* = 21.3$ hasta alcanzar $C^* = 21.3$ a los 3 días $C^* = 32.7$ y posteriormente disminuyó hasta $C^* = 28.0$ a los 6 días (Figura 18). Los frutos donde se aplicó el 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ alcanzaron un máximo a los 4 días de salir ($C^* = 35.3 - 36$) del almacenamiento y se mantuvo entre $C^* = 33.1 - 35$ hasta por 6 días (Figura 18).

Los frutos almacenados por 10 días sin aplicación de 1-MCP, la cromaticidad se incrementó de $C^* = 21.7$ hasta $C^* = 31.2$ después de 2 días posteriormente disminuyó hasta $C^* = 27.1$ a los 6 días (Figura 18). Se evidenció que la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ aumentó de $C^* = 20 - 21$ hasta un máximo 3 días, $C^* = 34.5 - 37.5$, manteniéndose entre $C^* = 31.4$ después de 6 días (Figura 18).

Finalmente, en los frutos almacenados por 15 días a 12 °C los frutos donde no se aplicó 1-MCP, la cromaticidad inicial ($C^* = 25.3$) alcanzó hasta $C^* = 29.8$ después de 2 días y posteriormente disminuyó hasta $C^* = 24.7$ a los 6 días de salir del almacenamiento (Figura 18). En contraste, los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹ el máximo de cromaticidad se alcanzó a los 3 días después de salir ($C^* = 36.7 - 38.3$) y se mantuvo entre $C^* = 32$ y 36.5 durante 6 días (Figura 18).

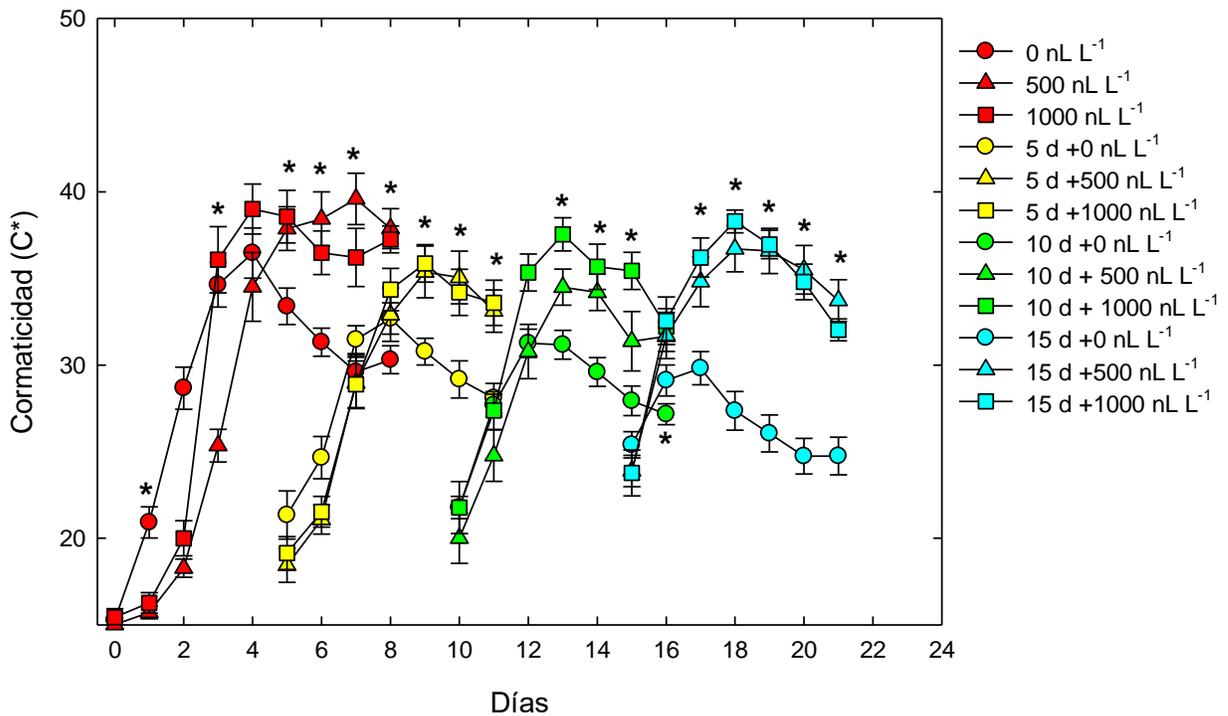


Figura 18. Cambios en la cromaticidad de frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP. (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

Los frutos almacenados a temperatura ambiente sin aplicación de 1-MCP cambiaron de un color amarillo ($h = 62.7$), después de 1 día alcanzó el color naranja ($h = 47$) y 2 días después alcanzó el color rojo ($h = 39.8$), posteriormente en los siguientes 8 días el color rojo fue hacia el rojo púrpura ($h = 29.2 - 36.1$) (Figura 19). Los frutos donde se aplicó el 1-MCP en 500 y 1000 nL L⁻¹ este comportamiento se retrasó significativamente en 2 o 3 días, lo que indica un efecto significativo del 1-MCP en el desarrollo del color (Figura 19).

Comportamiento similar y tendencia se observó en los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días, donde el 1-MCP aplicado en 500 o 1000 nL L⁻¹ retrasó entre 1 o 3 días el alcanzar el color de madurez de consumo que en los frutos donde no se aplicó (Figura

19). Lo anterior confirma el efecto del 1-MCP en el desarrollo de color de la ciruela mexicana.

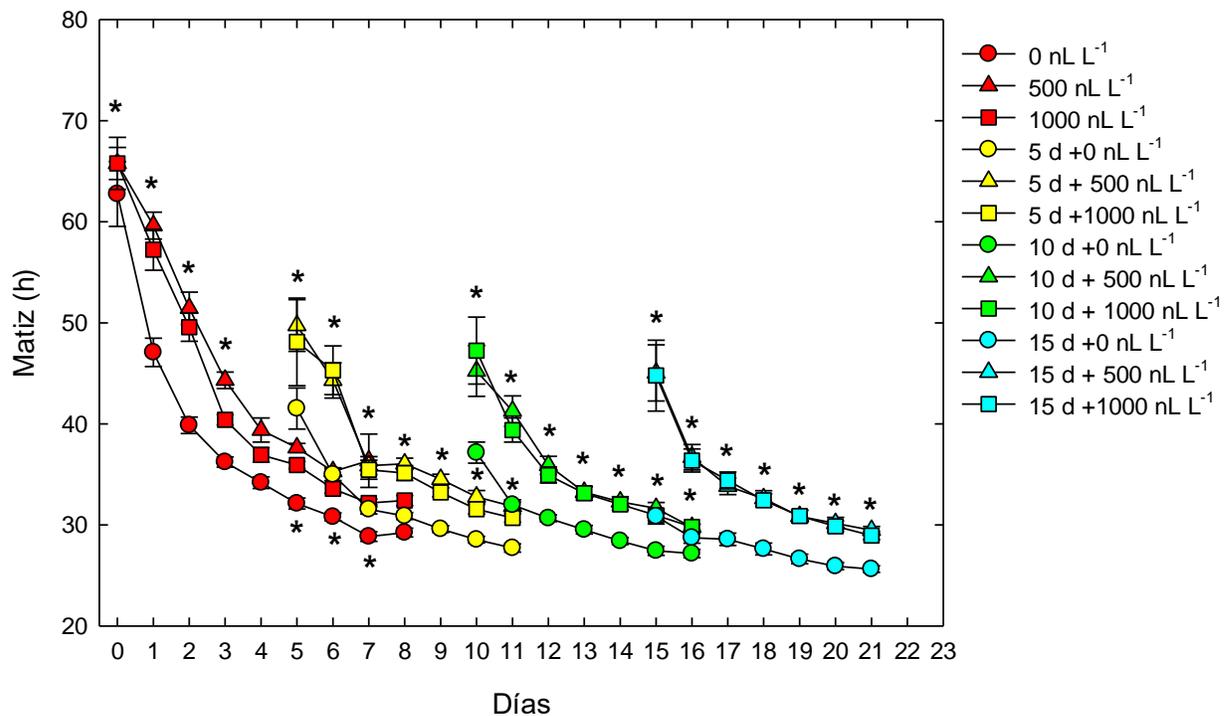


Figura 19. Cambios en el ángulo matiz de frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.3 Respiración

Los frutos de ciruela mexicana almacenados a temperatura ambiente sin aplicación de 1-MCP, mostraron el máximo climaterio entre 2 y 4 días, posteriormente la respiración disminuyó y en el sexto día se incrementó nuevamente de forma constante hasta alcanzar la mayor producción a los 8 días (Figura 20). Similar comportamiento mostró los frutos donde se aplicó el 1-MCP a dosis de 500 o 1000 nL L⁻¹ (Figura 20).

Los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días a 12 °C con o sin aplicación de 1-MCP mostraron el máximo climaterio, entre 4 - 5 d o 1 d al salir del almacenamiento (Figura

20). En los frutos almacenados por 10 y 15 d se observa un incremento posterior, que se atribuye a la falta de oxígeno y la respiración cuantificada probablemente sea parte de la anaerobiosis (Figura 20).

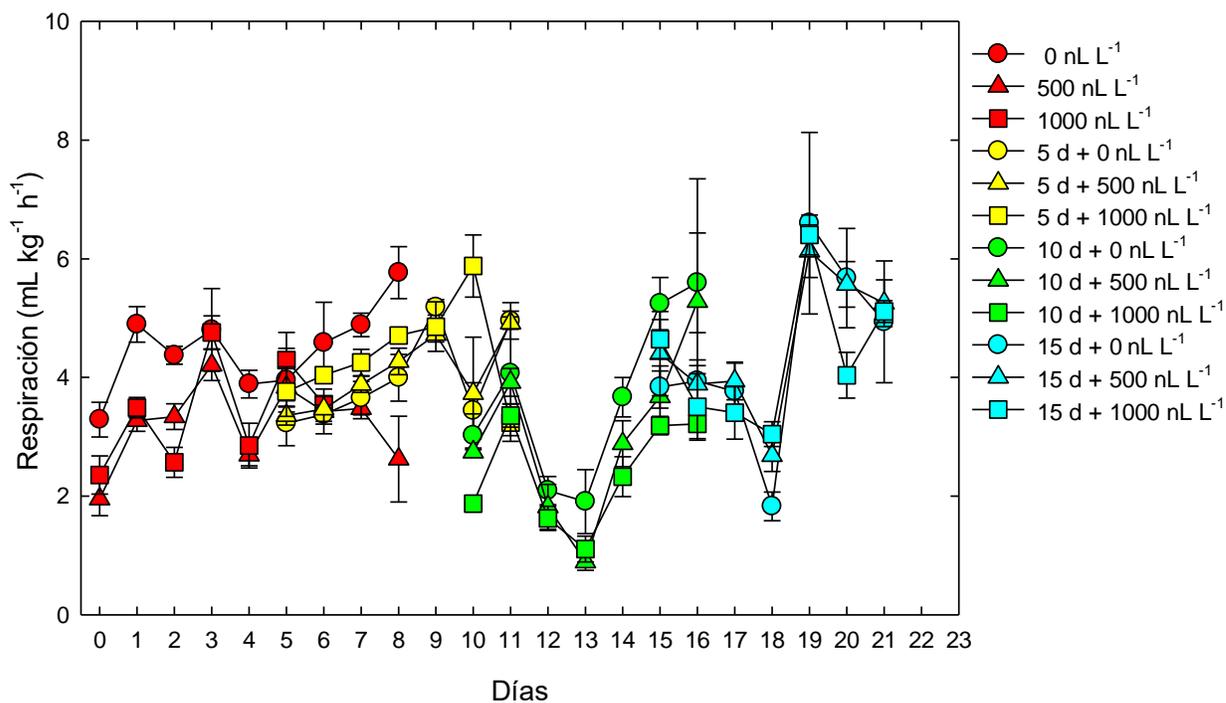


Figura 20. Respiración de frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.4 Etileno

No se detectaron diferencias en la producción de etileno en los frutos de ciruela 'Morada' con y sin aplicación de 1-MCP (Figura 21). La producción en los frutos de los tres tratamientos durante los primeros 3 días se incrementó, alcanzando entre 66 y 113 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, posteriormente disminuyó hasta valores de 14 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ (cuarto día), para volver a incrementarse a valores entre 218 y 231 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Figura 21); se considera que durante los primeros 3 d se presentó el máximo climaterio.

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C el máximo climaterio se alcanzó a los 4, 2 y 7 d en los frutos cuando se aplicó 0, 500 y 1000 nL L^{-1} (Figura 21). El análisis estadístico no detectó diferencias entre los tratamientos (Figura 20). Sin embargo, los resultados sugieren un probable retraso del máximo climaterio atribuido al 1-MCP.

En los frutos almacenados por 10 d, el máximo climaterio se alcanzó a los 4, 4 y 5 d de salir del almacenamiento, en los frutos donde se aplicó 0, 500 o 1000 nL L^{-1} (Figura 21), lo que sugiere un retraso en el máximo climatérico, al menos con la dosis más alta de 1-MCP (Figura 21).

Finalmente, en los frutos almacenados por 15 días el máximo climaterio se alcanzó a los 3, 3, y 4 d después de salir del almacenamiento en los frutos donde se aplicó 0, 500 y 1000 nL L^{-1} de 1-MCP; los frutos donde se aplicó la dosis más alta de 1-MCP obtuvo la menor producción de etileno (Figura 21). En general, los resultados sugieren cierto retraso en alcanzar el máximo de producción de etileno con la aplicación de 1-MCP.

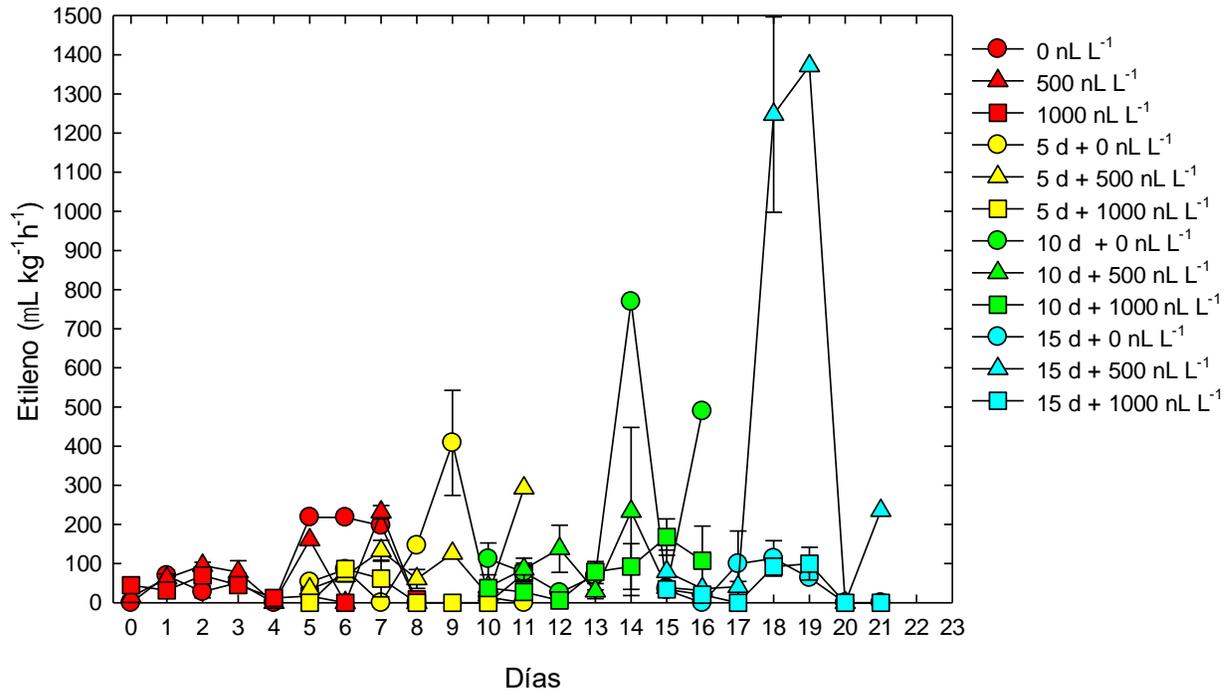


Figura 21. Producción de etileno en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.5 Firmeza

Los frutos almacenados a temperatura ambiente y sin aplicación de 1-MCP disminuyeron su firmeza de 23.1 N en el día inicial a 16.9 N 2 días después, y entre 14 y 13.3 N a los 4 - 6 d (Figura 22). Un comportamiento similar mostró los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ de 1-MCP, no así los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ quienes mantuvieron significativamente mayor la firmeza a los 2 y 4 d con 18.2 y 15.7 N (Figura 22).

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C, los frutos sin aplicación de 1-MCP o con 500 nL L⁻¹ disminuyeron su firmeza constantemente de 20.5 N hasta 5.6 - 8.4 N después de 6 d de salir del almacenamiento (Figura 22). No así los frutos donde se aplicó el 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹, ya que inicialmente mostraron firmeza de

18.9 N y 6 d después de salir de almacenamiento aun tenían 14.4 N en firmeza (Figura 22). Lo anterior indica que el 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹, ayudó a retrasar la firmeza de la ciruela mexicana 'Morada'.

En los frutos almacenados por 10 d, la nula aplicación de 1-MCP ocasionó que la firmeza disminuyera de 16.4 N al salir del almacenamiento a 8.6 N después de 6 d, y la aplicación de 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP retrasó la pérdida de firmeza de 19.4 – 20.4 N a 11.9-12.8 N 6 d después de salir del almacenamiento, lo que confirma que la aplicación de 1-MCP retrasa significativamente la pérdida de firmeza (Figura 22). Finalmente, en los frutos almacenados por 15 d a 12 °C, la pérdida de firmeza se retrasó durante 4 d en los frutos con aplicación de 1-MCP comparado con los frutos sin aplicación (Figura 22).

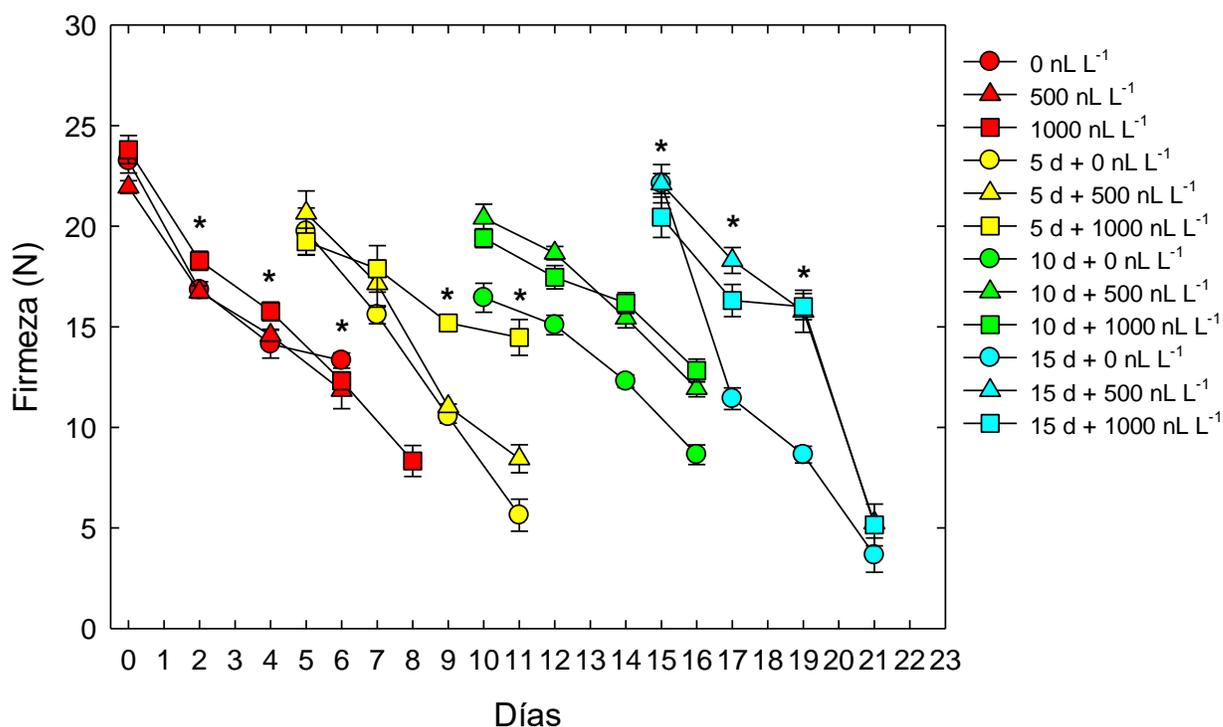


Figura 22. Firmeza en frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.6 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales se incrementaron en los frutos almacenados a temperatura ambiente con aplicación de 500 nL L⁻¹ o sin aplicación de 1-MCP, de 10.4-10.6 °Brix hasta 15.4 °Brix después de 4 d (Figura 23). Similar comportamiento se observó en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ pero con un retraso en la acumulación de los sólidos solubles totales de 2 d, es decir se alcanzó la máxima acumulación (15.4 °Brix) a los 6 d de evaluación (Figura 23).

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C no se detectaron diferencias entre aquellos donde se aplicó el 1-MCP y los frutos donde no se aplicó el 1-MCP (Figura 23). En todos los frutos los sólidos solubles totales se incrementaron de entre 11.6 – 12.4 °Brix hasta 16.1 después de 6 d (Figura 23).

Similar tendencia se determinó en los frutos almacenados por 10 d a 12 °C, es decir, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, y la acumulación de sólidos solubles totales fue de entre 13.6 y 14.6 °Brix al salir del almacenamiento hasta entre 15.7 y 16.7 °Brix después de 6 d (Figura 23).

Finalmente, los frutos almacenados por 15 d, al salir del almacenamiento los sólidos solubles estuvieron entre 14.5 y 16 °Brix y aumentaron entre 15.9 y 17.25, hubo una acumulación significativamente menor de sólidos solubles en los frutos donde se aplicó el 1-MPC en dosis de 1000 nL L⁻¹ (Figura 23).

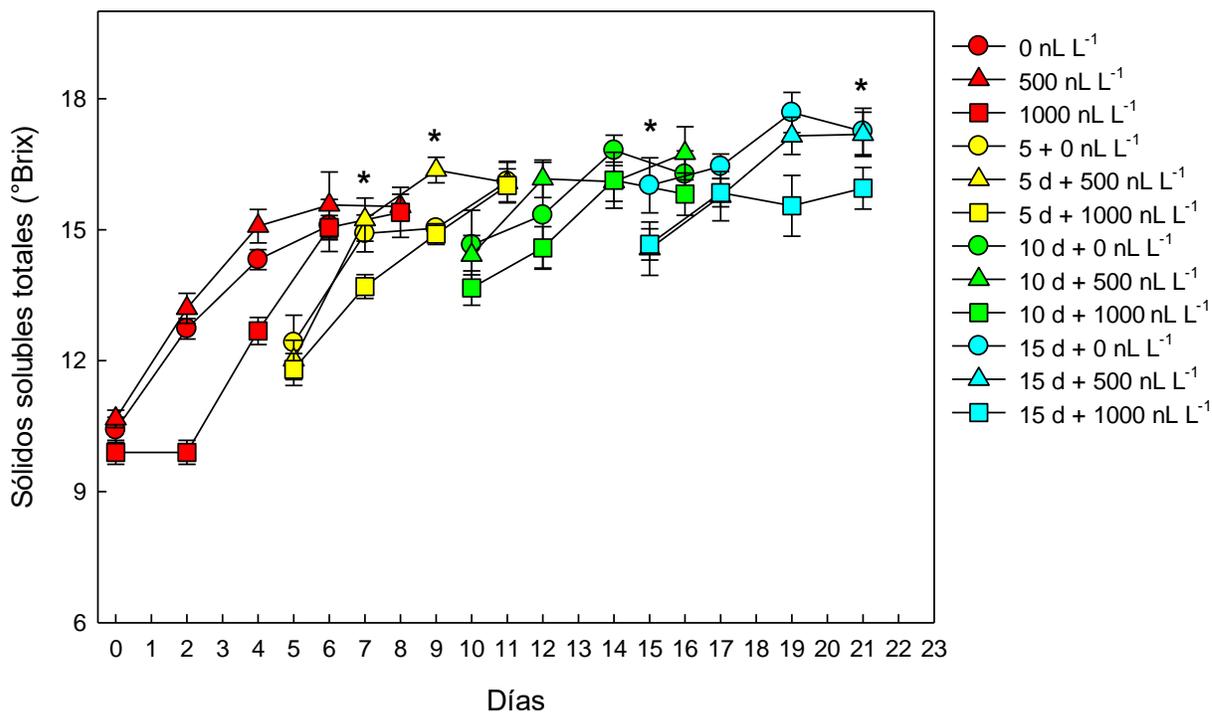


Figura 23. Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.7 Acidez titulable

La acidez titulable en los frutos mantenidos a temperatura ambiente con aplicación y sin aplicación de 1-MCP no mostraron diferencias significativas, a excepción del primer día donde una mayor acidez titulable se determinó en los frutos sin aplicación de 1-MCP y con dosis de 1000 nL L⁻¹ (Figura 24). La acidez se mantuvo entre 0.33 y 0.43 % en los primeros 4 d, posteriormente se incrementó hasta entre 0.51 y 0.53 % a los 6 d y posteriormente disminuyó nuevamente hasta entre 0.30 y 0.37 % (Figura 24). En general, la acidez titulable disminuyó durante el periodo de maduración.

En los frutos almacenados por 5 d a 12 °C la acidez se mantuvo entre 0.33 y 0.40 % durante los 6 d posteriores a salir del almacenamiento (Figura 24). Aunque se determinaron diferencias entre tratamientos, no existió una clara tendencia, así al salir

del almacenamiento los frutos sin aplicación de 1-MCP mostraron la menor concentración, al cuarto día los frutos con aplicación de 1000 nL L⁻¹ mostraron menor acidez titulable y al sexto día de evaluación los frutos con 1-MCP en dosis de 500 nL L⁻¹ mostraron la menor acidez titulable (Figura 24).

En los frutos almacenados por 10 d a 12 °C, la acidez se disminuyó ligeramente de valores iniciales entre 0.40 y 0.46 % hasta 0.30 y 0.38 después de 6 d de evaluación, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 24). Similar tendencia se observó en los frutos almacenados por 15 d a 12 °C, ya que al salir del almacenamiento la acidez fluctuó entre 0.38 y 0.44 % y después de 6 d la acidez estuvo entre 0.38 y 0.47 % (Figura 24).

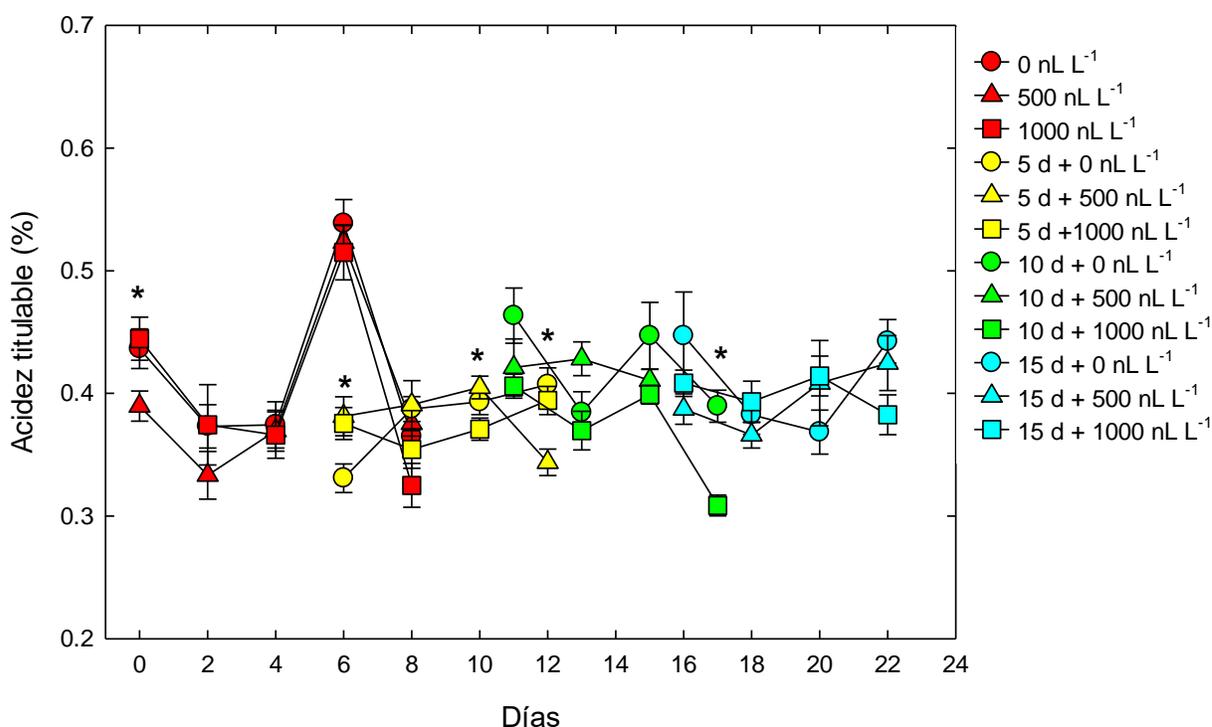


Figura 24. Acidez titulable en frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.8 Índice de sabor

En los frutos madurados a temperatura ambiente el índice de sabor tuvo diferencia significativa entre tratamientos en el inicio de la evaluación con valores de 23.98, 27.49 y 22.44 con aplicación de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente, en los días posteriores no hubo mayor diferencia entre tratamientos si no hasta el día 8 de evaluación en donde el tratamiento de 1000 nL L⁻¹ fue el que registró el mayor valor de índice de sabor con 50.26, mientras que, valores de 42.86 y 41.49 en frutos con 0 y 500 nL de 1-MCP respectivamente.

En los frutos almacenados durante 5, 10 y 15 d no se identificó diferencias significativas entre tratamientos.

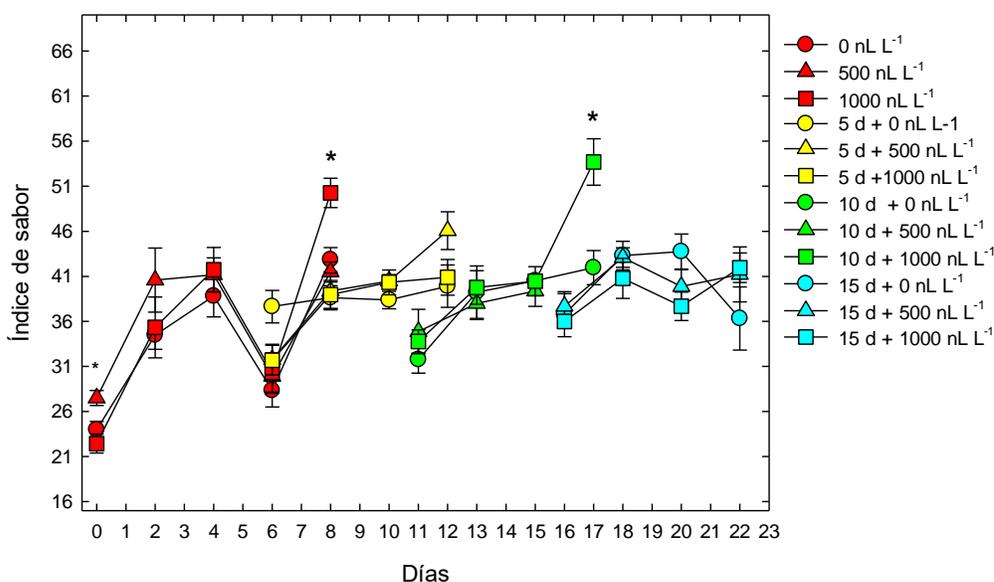


Figura 25. Índice de sabor en frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.9 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se incrementaron durante la maduración de los frutos evaluados con y sin aplicación de 1-MCP a temperatura ambiente, inicialmente mostraron valores entre 181.8 y 231.8 mg EAG 100g⁻¹ y alcanzaron hasta entre 353.8 y 284.3 mg EAG 100g⁻¹ a los 6 y 8 d (Figura 26). Durante el periodo de maduración solo se detectaron diferencias entre los tratamientos a los 4 d donde en los frutos con aplicación de 1-MCP se alcanzó mayor valor que los frutos sin aplicación de 1-MCP (Figura 26).

Similar comportamiento mostró los frutos almacenados por 5 días a 12 °C, donde inició de entre 220.4 - 260.2 mg EAG 100g⁻¹ y alcanzaron entre 342.7 – 360 mg EAG 100g⁻¹ después de 6 d de salir del almacenamiento; solo en el cuarto día se detectaron diferencias entre tratamientos donde los frutos sin aplicación de 1-MCP tuvieron los valores mayores (Figura 26).

Los frutos almacenados por 10 y 15 d, mostraron similar comportamiento en el contenido de compuestos fenólicos, al salir del almacenamiento se tenía entre 234.9 y 297 mg EAG 100g⁻¹ y después de 6 días alcanzaron entre 304.8 y 375.7 mg EAG 100g⁻¹ (Figura 26). No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, a excepción de los frutos almacenados por 10 d cuando salieron del almacenamiento los frutos con aplicación de 500 nL L⁻¹ tuvieron los valores mayores, sin embargo, posteriormente no se detectaron o mantuvieron estas diferencias (Figura 26).

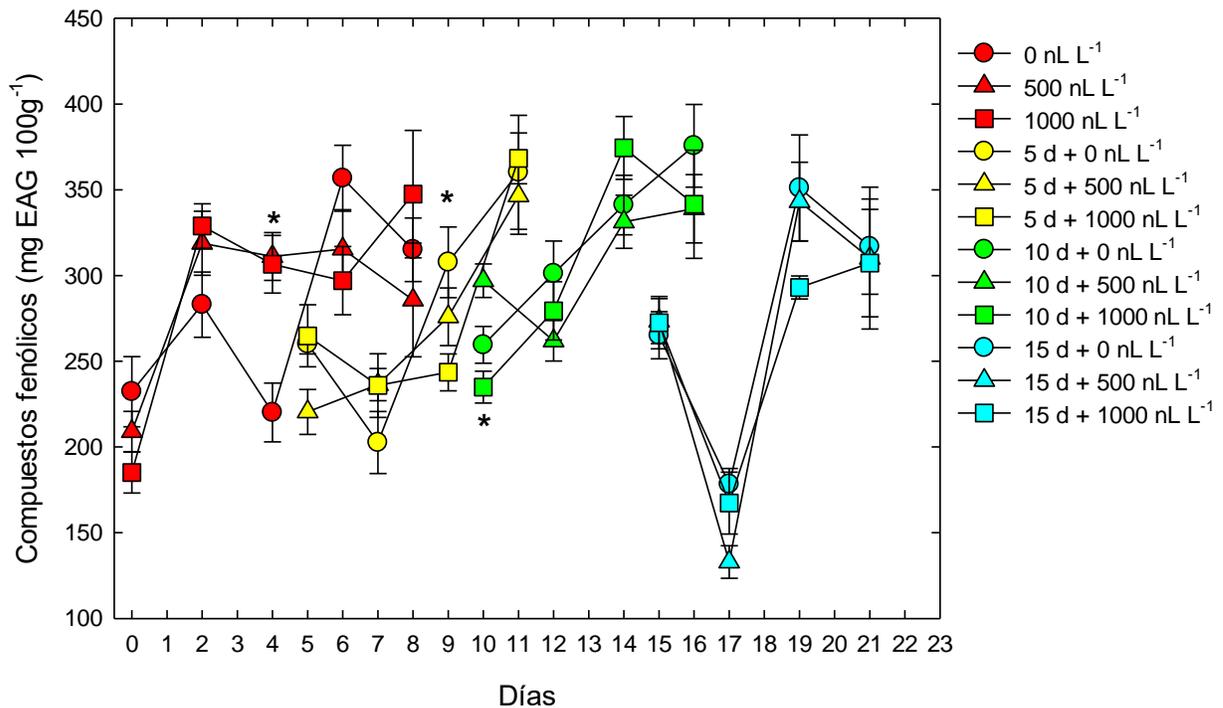


Figura 26. Compuestos fenólicos en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.10 Flavonoides

Los flavonoides disminuyeron constantemente en los frutos almacenados a temperatura ambiente, con y sin aplicación de 1-MCP (Figura 27). Inicialmente se cuantificaron valores entre 97.9 y 108.1 mg EQ 100g⁻¹ y después de 6 u 8 d disminuyeron a valores entre 73.8 y 84.1 mg EQ 100g⁻¹, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 27). En los frutos almacenados por 5, 10 y 15 d a 12 °C no se detectaron diferencias entre tratamientos, pero el comportamiento de los flavonoides en general fue de disminuir durante la maduración, a excepción de los frutos almacenados por 15 d donde se incrementaron significativamente después de 2 d de salir del almacenamiento (Figura 27).

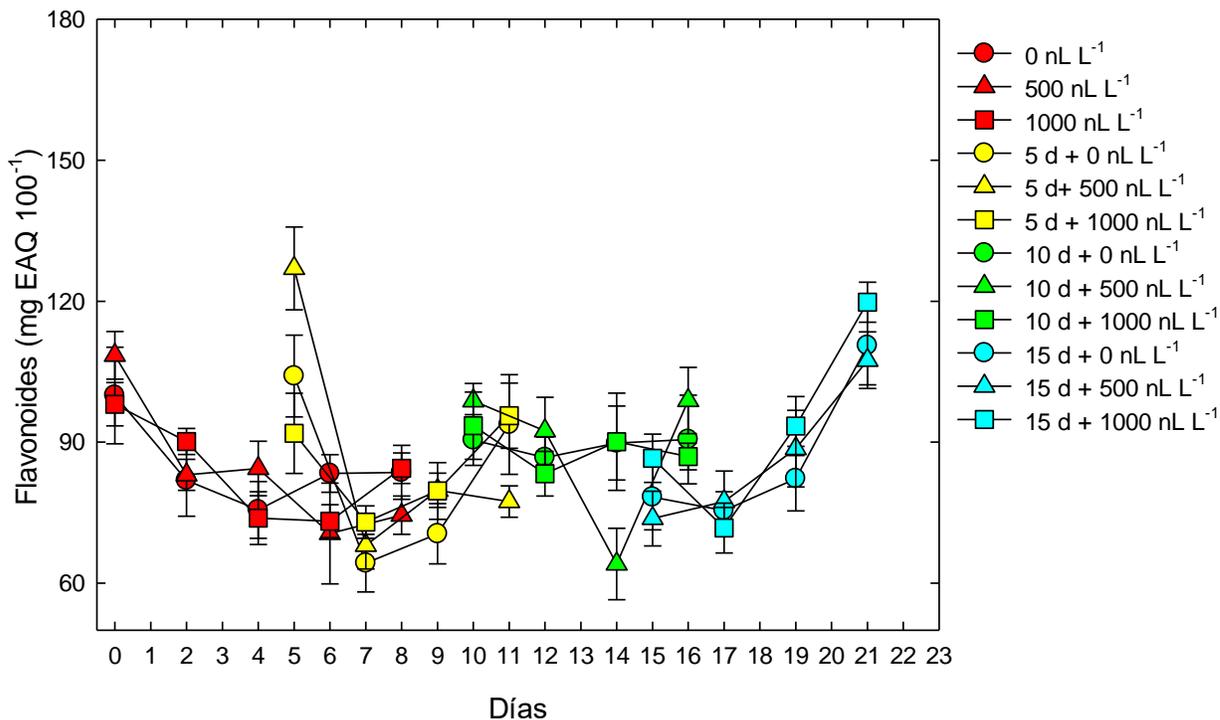


Figura 27. Flavonoides totales en frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.11 Actividad antioxidante por DPPH

La concentración de actividad antioxidante en ciruela mexicana 'Morada' por DPPH fue menor en el día 4 en los frutos sin aplicación de 1-MCP y mayor en las dos dosis aplicadas 500 y 1000 nL L⁻¹ con valores de 196.7, 275.1 y 295.1 respectivamente. Los frutos evaluados después de salir de almacenamiento por 5 días presentaron variación durante la maduración a temperatura ambiente, los primeros 4 d los frutos sin aplicación presentaron mayor concentración de la actividad antioxidante, sin embargo, en el día 6 esta tendencia se invirtió y los frutos con aplicación de 1000 nL L⁻¹ fue el que tuvo la mayor concentración. Resultados similares se apreció en frutos después de salir de almacenamiento por 10 d y sin efecto entre tratamientos después de 15 d.

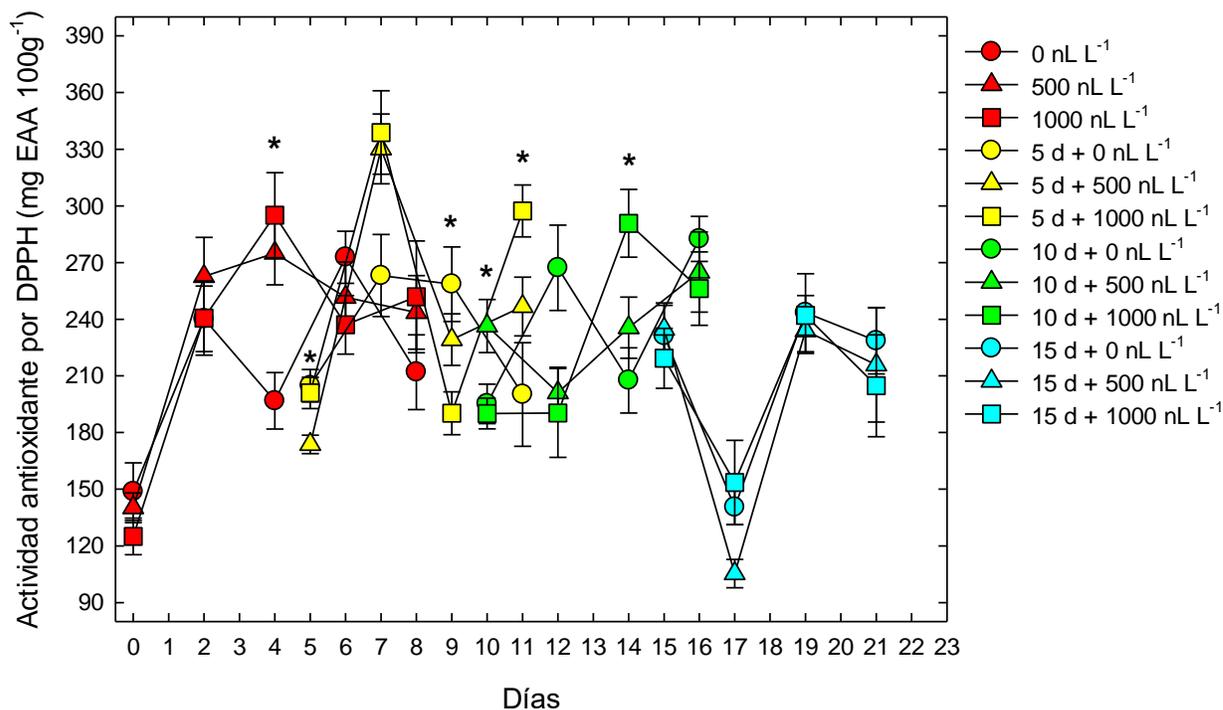


Figura 28. Actividad antioxidante por DPPH en frutos de ciruela mexicana ‘Morada’ almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.12 Actividad antioxidante por ABTS

La actividad antioxidante por ABTS disminuyó en los frutos almacenados a temperatura ambiente de entre 530.8 - 575.4 a 220 - 307.5 mg EAA 100 g⁻¹ después de 4 d, posteriormente se incrementó a valores entre 469.8 y 516.8 mg EAA 100 g⁻¹ (Figura 29), Se detectaron diferencias entre tratamientos a los 2 y 4 d, donde los frutos con aplicación de 1-MCP, mostraron mayor actividad antioxidante (Figura 29).

En los frutos almacenados por 5 d a 12 °C la actividad antioxidante al salir del almacenamiento fue entre 206.4 y 239.2 mg EAA 100g⁻¹ y se incrementó significativamente a los 2 d, hasta entre 631.9 y 657.8 mg EAA 100g⁻¹ en los frutos donde se aplicó 1-MCP, no así en los frutos donde no se aplicó que alcanzó solo 455.6 mg EAA 100g⁻¹, posteriormente en todos los frutos la actividad disminuyó hasta valores

entre 218.2 y 279.3 mg EAA 100g⁻¹ a los 4 d, manteniéndose en valores similares a los 6 d, a excepción de los frutos donde se aplicaron 500 nL L⁻¹ donde nuevamente se incrementó hasta 787.3 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 29).

En los frutos almacenados por 10 y 15 días, la actividad antioxidante por ABTS se incrementó de valores entre 222.2 y 389.8 mg EAA 100g⁻¹ hasta 385 y 530.8 mg EAA 100g⁻¹ h después de 6 d, sin detectarse diferencias significativas entre tratamientos, a excepción de los frutos almacenados por 10 d, sin embargo, en los días posteriores se perdieron dichas diferencias (Figura 29).

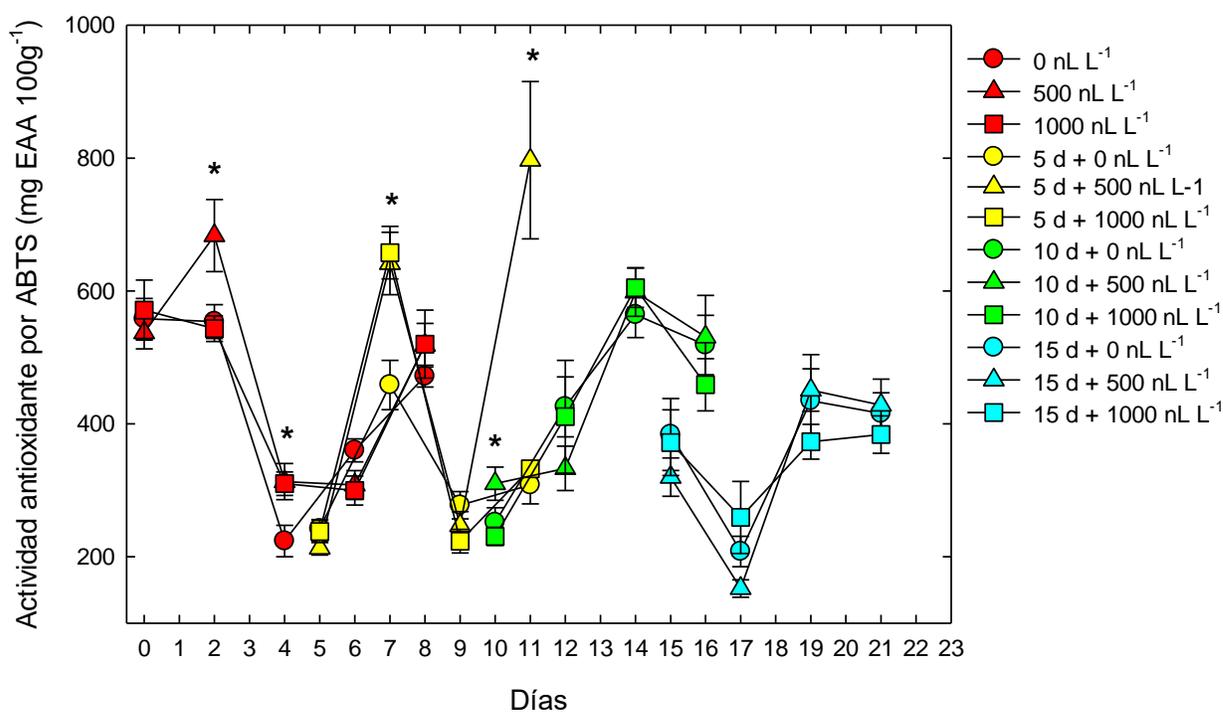


Figura 29. Actividad antioxidante por ABTS en frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.2.13 Actividad antioxidante por FRAP

La actividad antioxidante por FRAP de los frutos almacenados a temperatura ambiente sin aplicación de 1-MCP se incrementó de 119.8 al inicio hasta 153.8 mg EAA 100g⁻¹

2 d después, posteriormente la actividad disminuyó hasta 124.4 mg EAA 100g⁻¹ y se volvió a incrementar constantemente hasta alcanzar 161.6 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 30).

En los frutos donde se almacenaron los frutos a 12 °C por 5 d la actividad antioxidante por FRAP fue de entre 164.8 y 171 mg EAA 100g⁻¹, posteriormente disminuyó hasta entre 136.3 y 144 mg EAA 100g⁻¹ a los 4 días y posteriormente a los 6 d se incrementó escasamente (Figura 30). En los frutos almacenados por 10 d a 12 °C la actividad antioxidante fue significativamente mayor a los 4 d de salir del almacenamiento en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ (Figura 30). Finalmente, en los frutos almacenados por 15 d a 12 °C no se detectaron diferencias entre tratamientos evaluados, la actividad antioxidante se mantuvo entre 116.9 y 143.7 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 30).

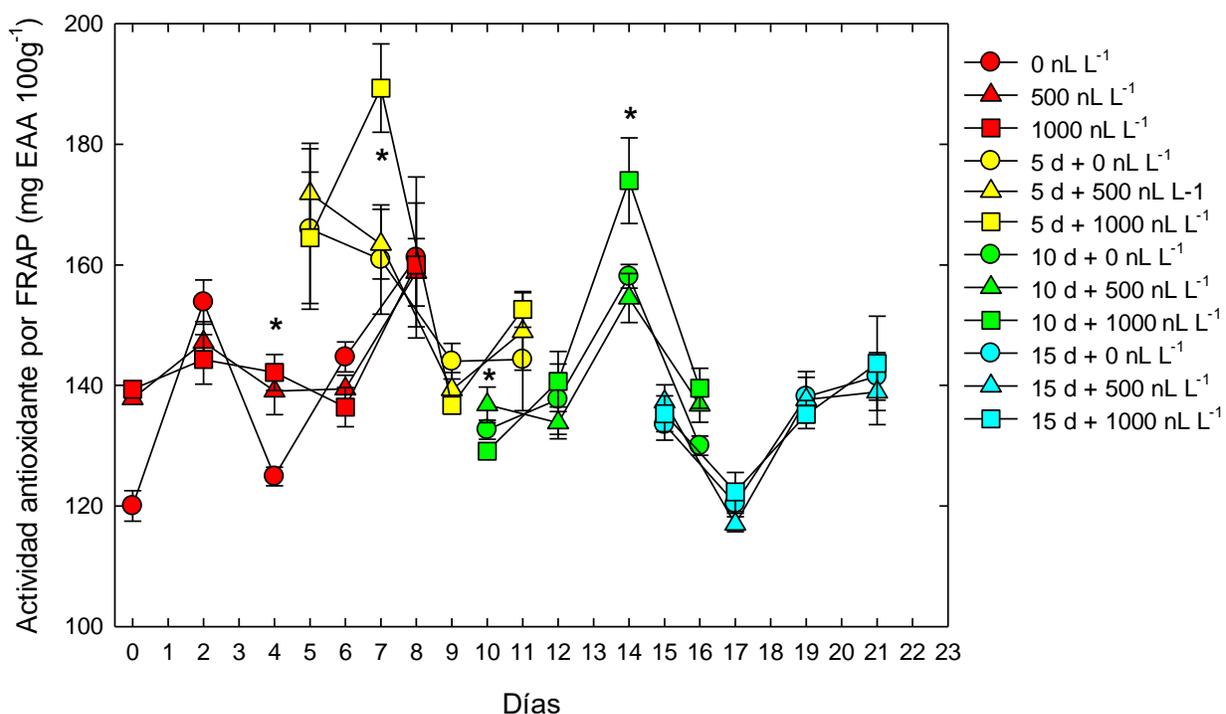


Figura 30. Actividad antioxidante por FRAP en frutos de ciruela mexicana 'Morada' almacenados a temperatura ambiente y 12 °C previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3 'Costeña'

5.3.1 Pérdida de peso

La pérdida de peso mostró un incremento significativo durante la maduración de los frutos almacenados a temperatura ambiente, durante los 6 d de evaluación la pérdida de peso alcanzó entre 7 y 8.3 % (Figura 31). Los frutos almacenados a dosis de 1000 nL L⁻¹ mostró menor pérdida de peso que los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ o donde no se aplicó el 1-MCP (Figura 31).

En los frutos almacenados a baja temperatura por 5, 10 y 15 d, la pérdida de peso fue similar después de 6 d de salir del almacenamiento, ya que fue entre 8 y 8.6 % (Figura 31). No se detectaron diferencias significativas en la velocidad de pérdida de peso entre los tratamientos evaluados (Figura 31).

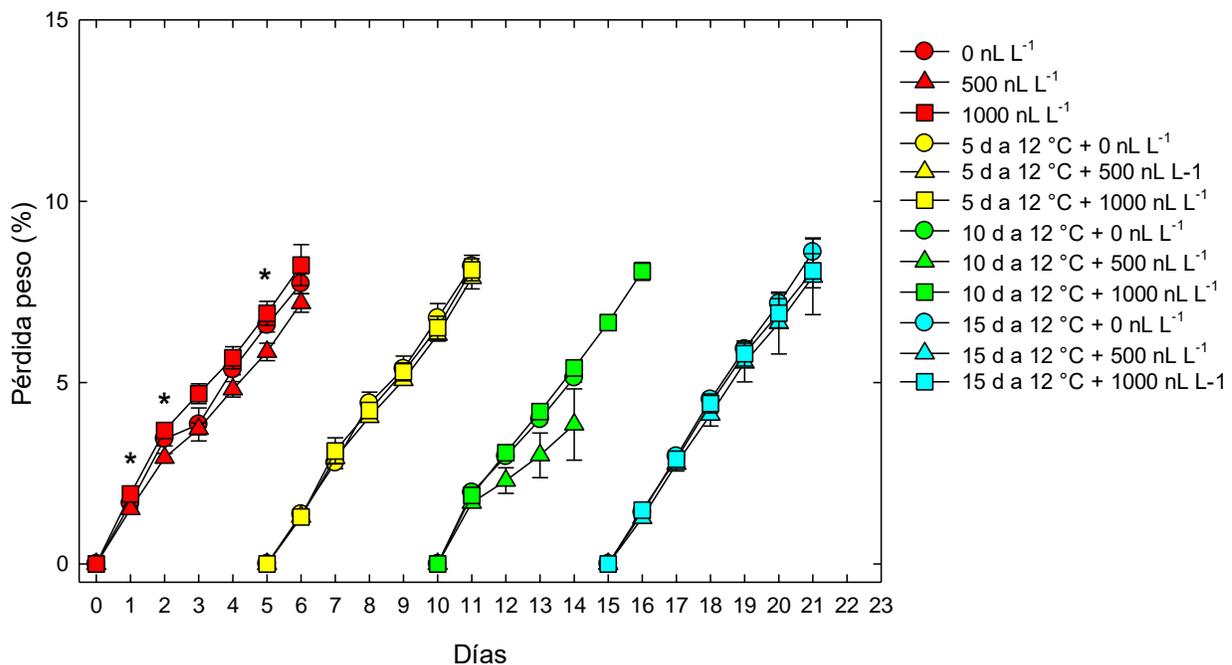


Figura 31. Pérdida de peso en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenados a temperatura ambiente y a 12 °C con previa aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.2 Color: L*, C* y h

La luminosidad en los frutos almacenados a temperatura ambiente se mantuvo entre $L^* = 45.2$ y 46.9 después de 3 d y con aplicación de 1-MCP, posteriormente la luminosidad disminuyó y se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, donde los frutos con aplicación de 1000 nL L^{-1} mantuvieron valores mayores de luminosidad ($L = 39.6- 47.1$) comparado con los frutos sin aplicar 1-MCP y donde se aplicó la dosis de 500 nL L^{-1} ($L^* = 38-45$) (Figura 32).

Los frutos almacenados a $12 \text{ }^\circ\text{C}$ por 5 d mostraron una disminución de la luminosidad drástica ($L^* = 47.5- 50.3$), 2 d después de salir del almacenamiento, esto fue más evidente en los frutos donde no se aplicó el 1-MCP hasta el cuarto día a temperatura ambiente (Figura 32). Posteriormente no se detectaron diferencias entre tratamientos y la luminosidad alcanzó valores entre $L^* = 29$ y 31 (Figura 32).

Un comportamiento similar se observó en los frutos almacenados por 10 d, ya que la luminosidad disminuyó de una inicial de $L = 48-50$ a valores de $L = 37.4 - 40.4$ después de un día, posteriormente la disminución en luminosidad fue menos drástica, con valores mayores en los frutos donde se aplicó 500 nL L^{-1} ($L^* = 37 - 39$; a los 3-4 d) comparado con los frutos donde se aplicó 1000 nL^{-1} y sin aplicación de 1-MCP ($L^* = 31-34$) (Figura 32).

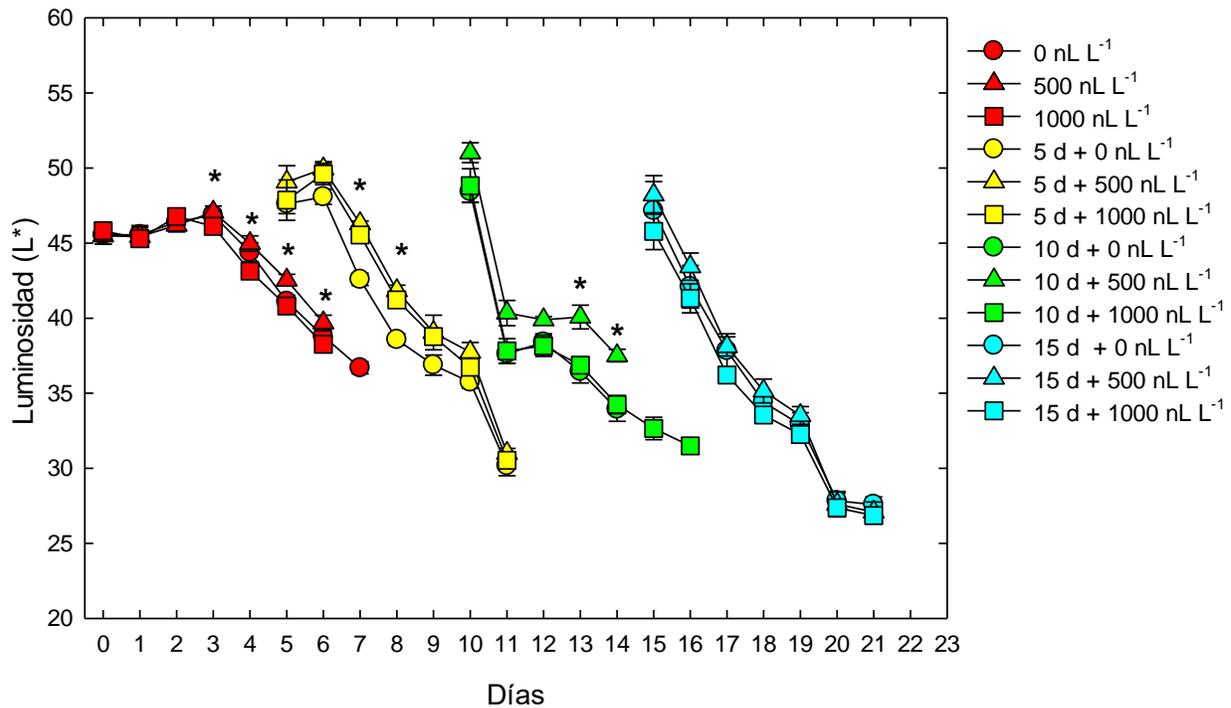


Figura 32. Cambios de luminosidad en la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

La cromaticidad en los frutos donde no se aplicó 1-MCP, mostró un incremento de C* = 27.4 al inicio de las evaluaciones hasta C* = 48.3 después de 3 d y posteriormente disminuyó hasta C* = 38.5, mostrando un comportamiento tipo campana (Figura 33). Comportamiento similar mostraron los frutos donde se aplicó 1-MCP, detectándose una mayor aceleración en alcanzar la mayor pureza del color en menos tiempo (Figura 33).

En los frutos almacenados por 5 y 15 d a 12 °C, no se determinaron diferencias entre tratamientos una vez transferidos a temperatura ambiente, el comportamiento de campana, se va perdiendo conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, mostrando una disminución continua en el periodo de mayor tiempo de almacenamiento (Figura 33).

Por otra parte, en los frutos almacenados por 10 d a 12 °C se observó que los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ mostró un mayor mantenimiento de la pureza del color comparado con los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ y los frutos sin aplicación de 1-MCP (Figura 33).

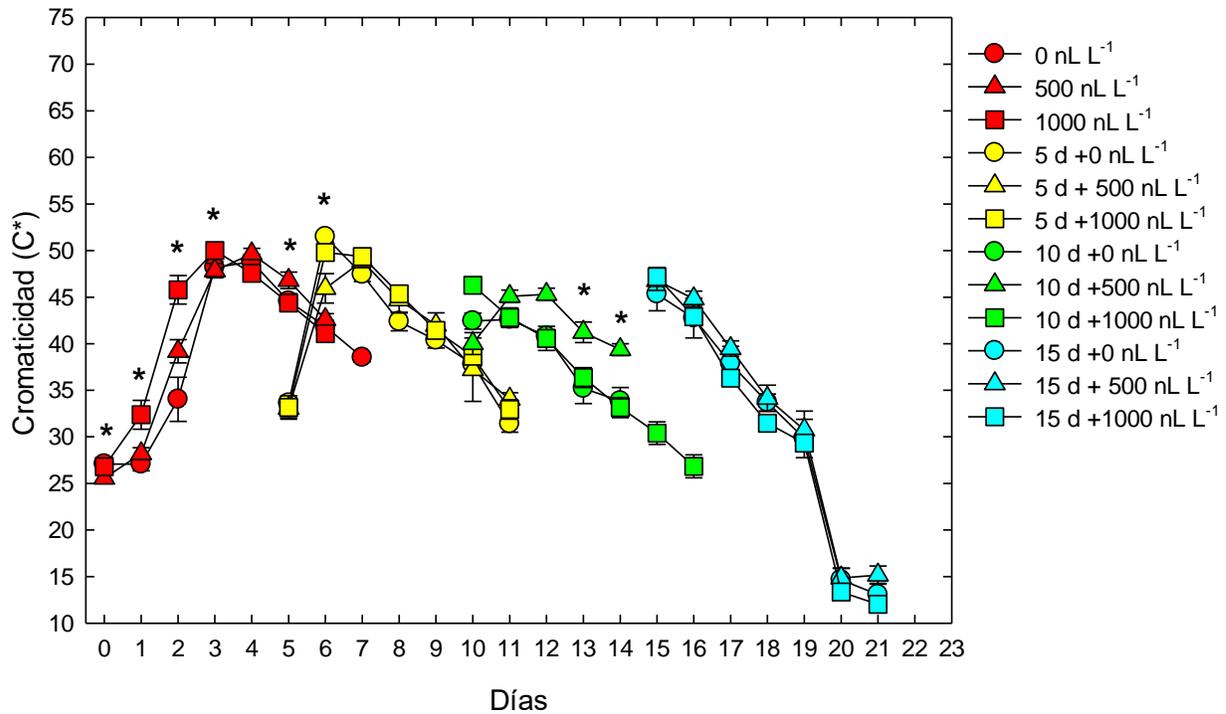


Figura 33. Cambios de cromaticidad en la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

El ángulo de matiz cambió de un color verde amarillento (h= 70.3 – 75.3) a un color rojo (h=36.9-41.8) después de 3 d, posteriormente el color se siguió modificando hacia un rojo púrpura (h= 31-33.5) (Figura 34). La aplicación de 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ retrasó significativamente el cambio de color, fue en los primeros 3 d donde se observó con mayor claridad dicho fenómeno (Figura 34).

En los frutos almacenados por 5 y 10 d el cambio de color en los frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ mostró una tendencia similar a lo observado en los frutos

almacenados a temperatura ambiente (Figura 34). Se detectó que los tratamientos de 500 nL L⁻¹ y 1000 nL L⁻¹ retrasaron significativamente el cambio de color, comparado con los frutos donde no se aplicó el 1-MCP; con mayor evidencia en los frutos donde se aplicó la dosis mayor (Figura 34).

Finalmente, los frutos almacenados por 15 d a baja temperatura no mostraron diferencias entre tratamientos y frutos sin aplicación de 1-MCP, con tonos rojizos al salir de almacenamiento (h= 39.0 – 43.0) llegando a alcanzar un tono rojo púrpura al sexto día de evaluación (h= 15.6-17.2) (Figura 34)

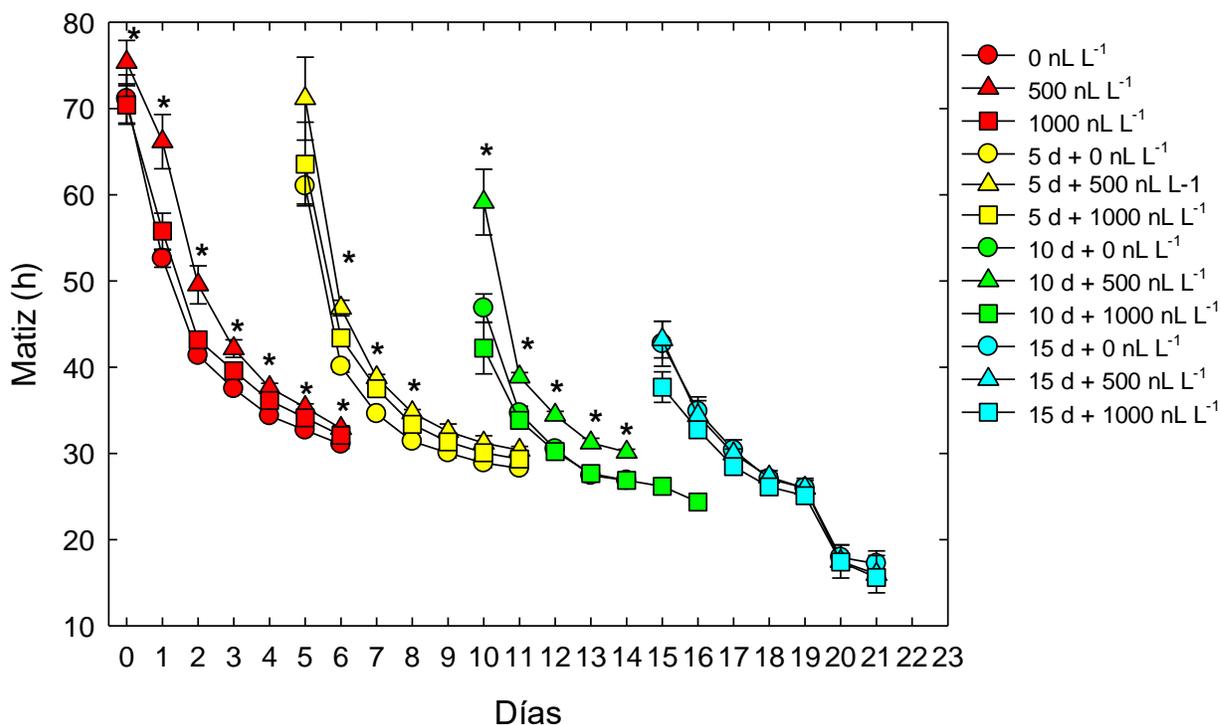


Figura 34. Cambios en matiz de la epidermis del fruto de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.3 Respiración

Los frutos de ciruela mexicana 'Costeña' mantenidos a temperatura ambiente no mostraron diferencias entre tratamientos en la velocidad de respiración, a excepción del primer día de evaluación donde los frutos con 1000 nL L⁻¹ mostraron significativamente valores mayores (Figura 35). Los frutos donde no se aplicó 1-MCP, 500 o 1000 nL L⁻¹, alcanzaron el máximo de respiración a los 3, 4 y 5 d, respectivamente. Esto sugiere que la aplicación del 1-MCP retrasó en 1 o 2 d el alcanzar el máximo de respiración en comparación con los frutos sin aplicar el 1-MCP (Figura 35).

En los frutos almacenados por 5 d y posteriormente madurar a temperatura ambiente, se observó que la aplicación de 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ redujo la respiración, aunque solo se detectó significativamente al final de los muestreos (Figura 35). Similar tendencia se observó en los frutos almacenados por 10 y 15 d, es decir la aplicación del 1-MCP retrasó y disminuyó la respiración, con mayor evidencia en los frutos almacenados por un periodo mayor, sin detectarse diferencias significativas entre tratamientos (Figura 35).

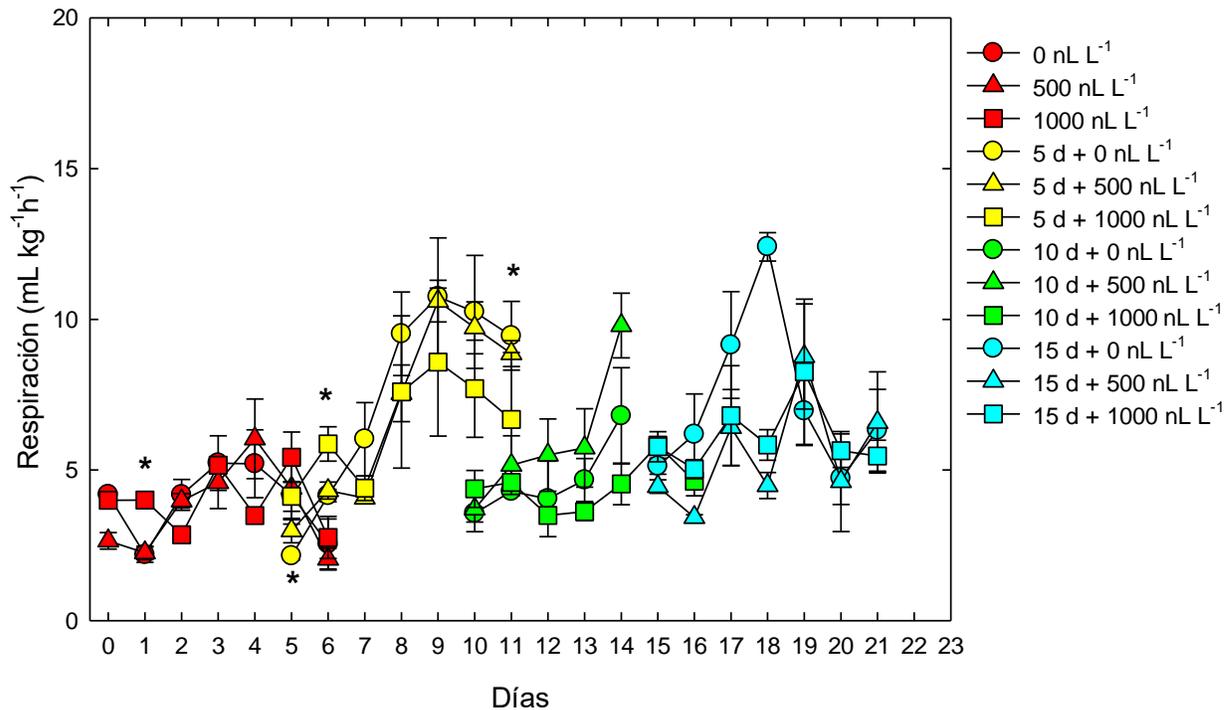


Figura 35. Respiración en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.4 Etileno

La producción de etileno se incrementó en los frutos almacenados a temperatura ambiente, sin embargo, no se detectaron diferencias entre tratamiento, solo los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ alcanzaron su mayor producción de etileno a los 6 d (Figura 36). Esto sugiere que la aplicación de 1-MCP en la dosis mayor retrasó la producción de etileno, ya que la detección de esta molécula se determinó después de 1 ó 2 d (Figura 36).

No se detectaron diferencias entre tratamientos en la cantidad de producción de etileno, sin embargo, se observa claramente que la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹, retrasaron en 1 ó 2 d el máximo de producción (Figura 36). Así, en los frutos almacenados por 5 d a 12 °C, el máximo climatérico se alcanzó a los 4, 5 y

6 d cuándo se aplicó 1-MCP en dosis de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹, respectivamente (Figura 36). Similar comportamiento se observó cuando se almacenaron por 10 y 15 d.

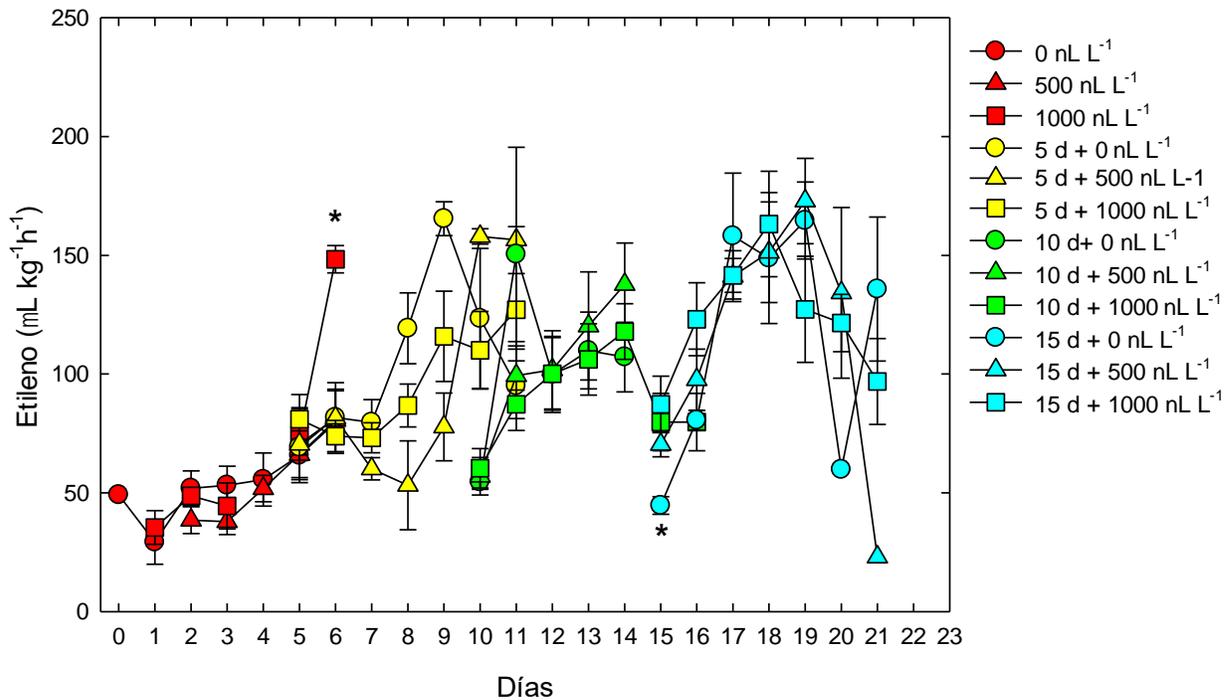


Figura 36. Producción de etileno en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.5 Firmeza

La firmeza en los frutos almacenados a temperatura ambiente sin aplicación de 1-MCP disminuyeron de 23.4 N al inicio del experimento a 13.2 N después de 2 d alcanzando hasta 11.6 - 9.2 N a los 4 - 6 d (Figura 37). En los frutos donde se aplicó 500 o 1000 nL L⁻¹ retrasó la pérdida de firmeza a los 2 d de maduración, posteriormente no se detectaron diferencias con los frutos donde no se aplicó 1-MCP (Figura 37).

Los frutos almacenados por 5, 10 y 15 d a 12 °C y madurados a temperatura ambiente, la aplicación de 1-MCP retrasó significativamente la pérdida de la firmeza lo cual se evidenció entre los 2 y 6 d después de salir del almacenamiento. Así, los frutos donde

no se aplicó 1-MCP su firmeza disminuyó de entre 8.3-11.18 N a 3.5-5.5 N en un lapso de 6 d, en tanto que en los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 nL L⁻¹ la disminución fue de entre 9.3-12.6 N a 5.8 - 7.5 N en 6 d o hasta 7 - 14 N cuando la dosis fue de 1000 nL L⁻¹ (Figura 37).

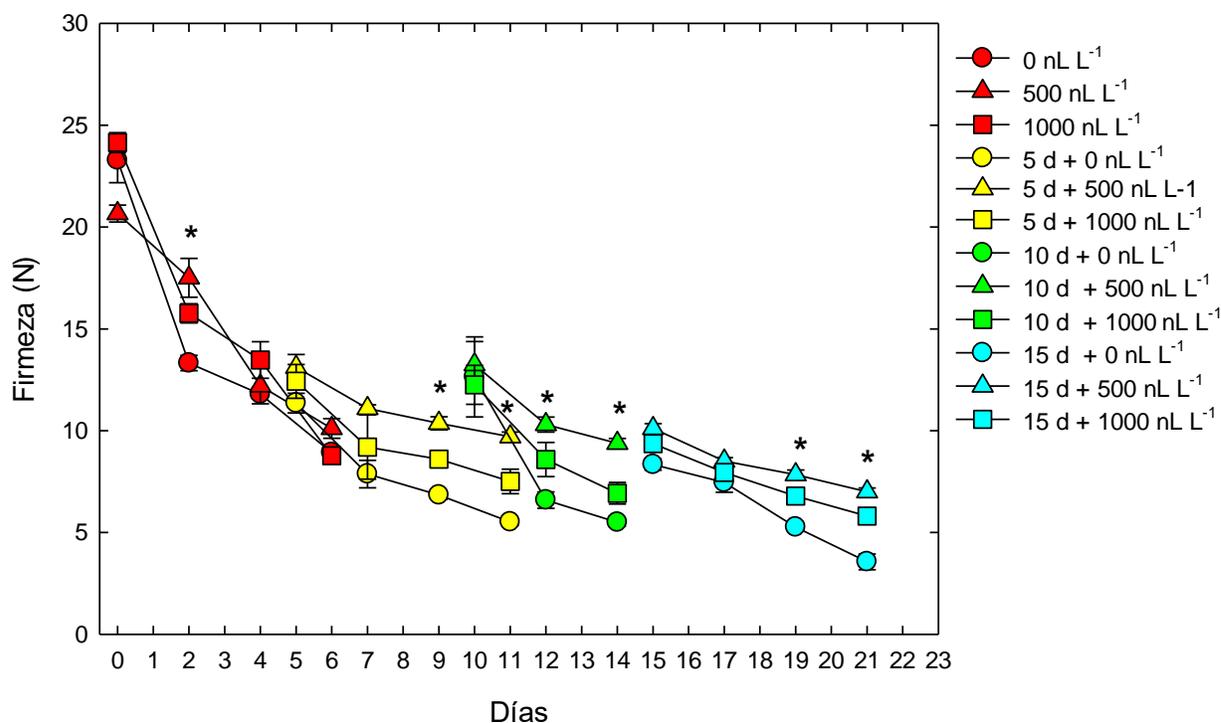


Figura 37. Comportamiento de la firmeza en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.6 Sólidos solubles totales

En la variedad 'Costeña' los sólidos solubles totales se incrementaron de valores iniciales entre 9.9 – 11.3 °Brix hasta entre 15.1 – 15.6 °Brix después de 6 d, con excepción de los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ los cuales alcanzaron hasta 12.7 °Brix (Figura 38). En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C los sólidos solubles se incrementaron de 12.8 °Brix hasta 14.6 a los 4 días, los frutos donde se aplicó el 1-MCP al salir del almacenamiento mostraron valores de 12.2 °Brix aumentando hasta

15.1 °Brix 6 días después cuando se aplicó 1000 nL L⁻¹, en tanto que los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹ los sólidos solubles no superaron los 13.1 °Brix (Figura 38).

En los frutos almacenados por 10 días no se detectaron diferencias entre tratamientos, los sólidos solubles e incrementaron ligeramente de entre 11.9 -12.7 a 13.8 – 14.3 °Brix (Figura 38). En los frutos almacenados por 15 días los sólidos solubles totales mostraron un incremento significativo durante la maduración, ya que inicialmente mostraron valores entre 12.3 y 13 °Brix y después de 4 días llegaron a entre 15.4 y 17.6 °Brix, donde la aplicación de 1000 nL L⁻¹ ocasionaron la menor acumulación de sólidos solubles totales. Posteriormente los sólidos solubles totales disminuyeron hasta entre 13.3 – 13.7 (Figura 38).

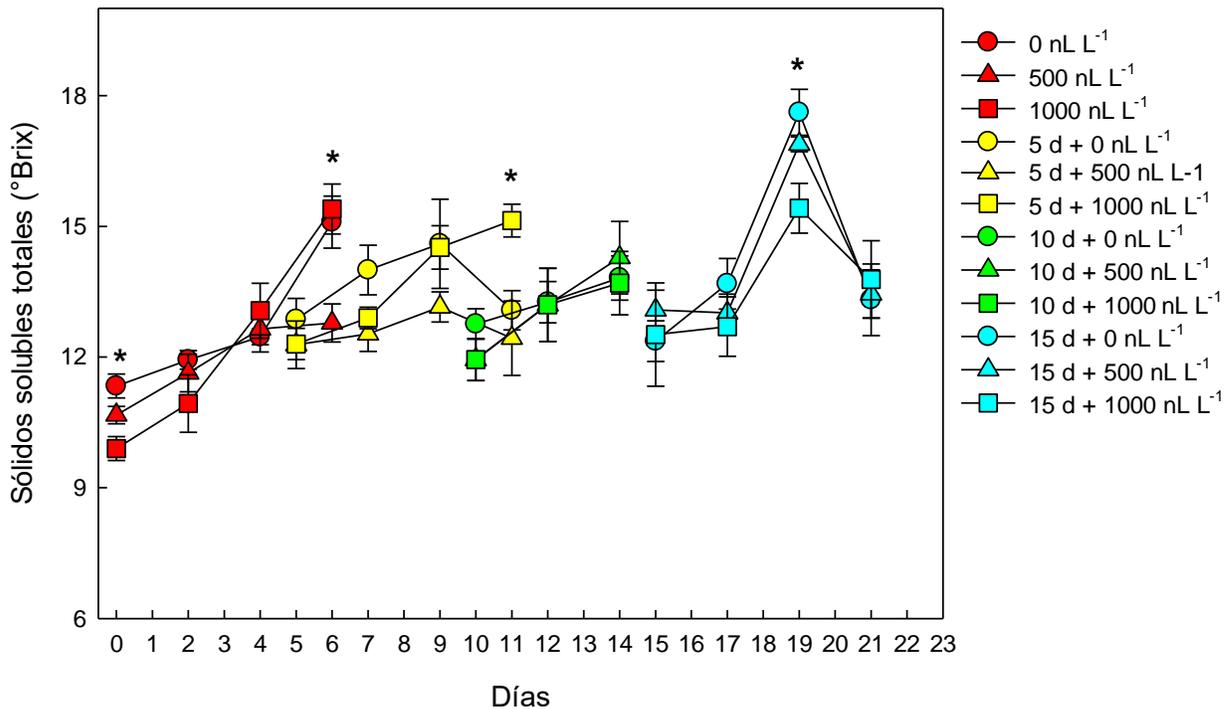


Figura 38. Comportamiento de los sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.7 Acidez titulable

La acidez titulable en los frutos almacenados a temperatura ambiente y sin aplicación de 1-MCP, se incrementó de 0.43 % a 0.58 % después de 6 días, en tanto que en los frutos donde se aplicó 1-MCP en 500 y 1000 nL L⁻¹ disminuyó en el mismo periodo de entre 0.42 - 0.49 % hasta entre 0.33 - 0.37 % en 6 días (Figura 39). Los frutos testigo fueron significativamente mayores en acidez titulable a los 4 y 6 días (Figura 39).

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C, la acidez se mantuvo entre 0.34 y 0.45 % después de salir del almacenamiento, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 39). La acidez titulable en los frutos almacenados por 10 días a 12 °C, mostraron una disminución en la acidez titulable de valores iniciales entre 0.35 – 0.45 % a valores entre 0.29 y 0.37 %, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 39).

En los frutos almacenados por 15 días a 12 °C la mayor acidez titulable se observó en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP, superando entre 20 a 33 % a los frutos donde se aplicó 1-MCP en 500 nL L⁻¹ o sin aplicación de 1-MCP (Figura 39). En general no es claro el efecto del 1-MCP en la acidez titulable.

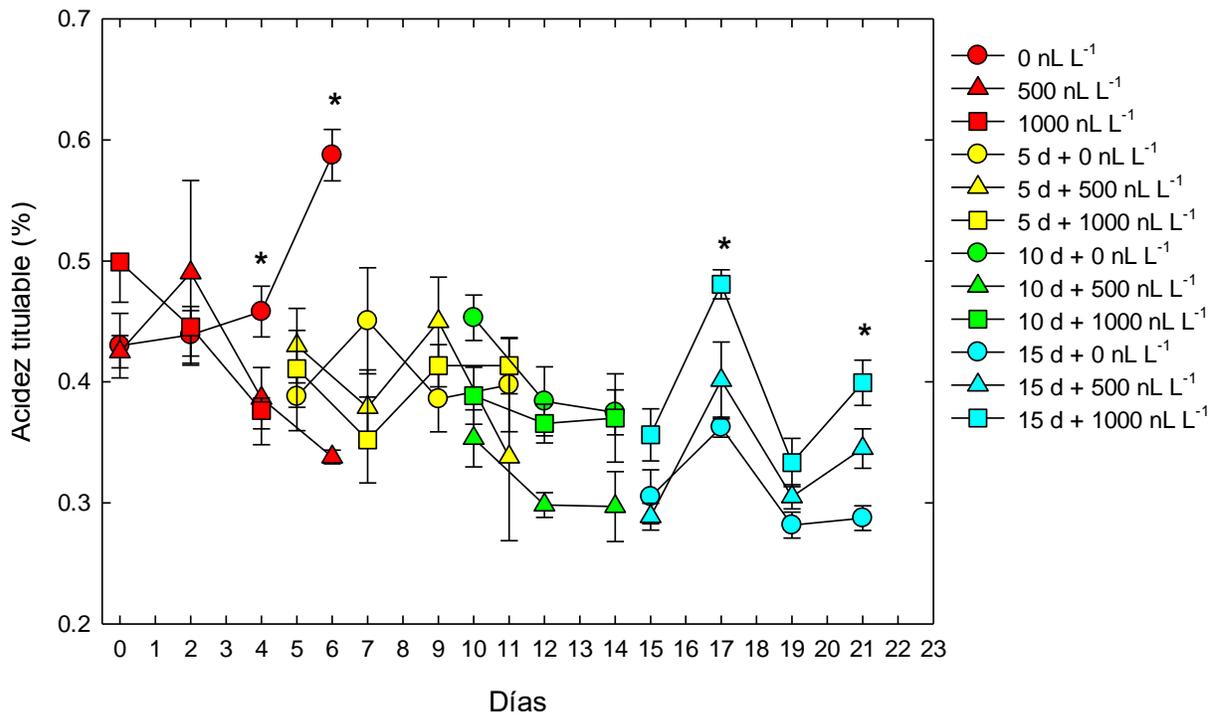


Figura 39. Comportamiento de la acidez titulable en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.8 Índice de sabor

El índice de sabor en los frutos sin aplicación de 1-MCP se mantuvo sin cambios durante la maduración a temperatura ambiente, entre 28.3 y 30 (Figura 40), no así en los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹ donde se incrementó hasta entre 41.2 y 42.1 después de 6 días, estos tratamientos fueron significativamente mayores que los frutos sin aplicación de 1-MCP (Figura 40).

En los frutos almacenados por 5 ó 10 días a 12 °C no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos el índice de sabor se mantuvo entre 31 y 42.1, y al salir del almacenamiento escasos incrementos se observaron (Figura 40).

En los frutos almacenados por 15 días a 12 °C se observó incrementó significativo de valores iniciales entre 36.6 - 45.5 hasta 50 - 62 a los 4 días, donde los frutos sin aplicación de 1-MCP tuvieron significativamente la mayor concentración (Figura 40).

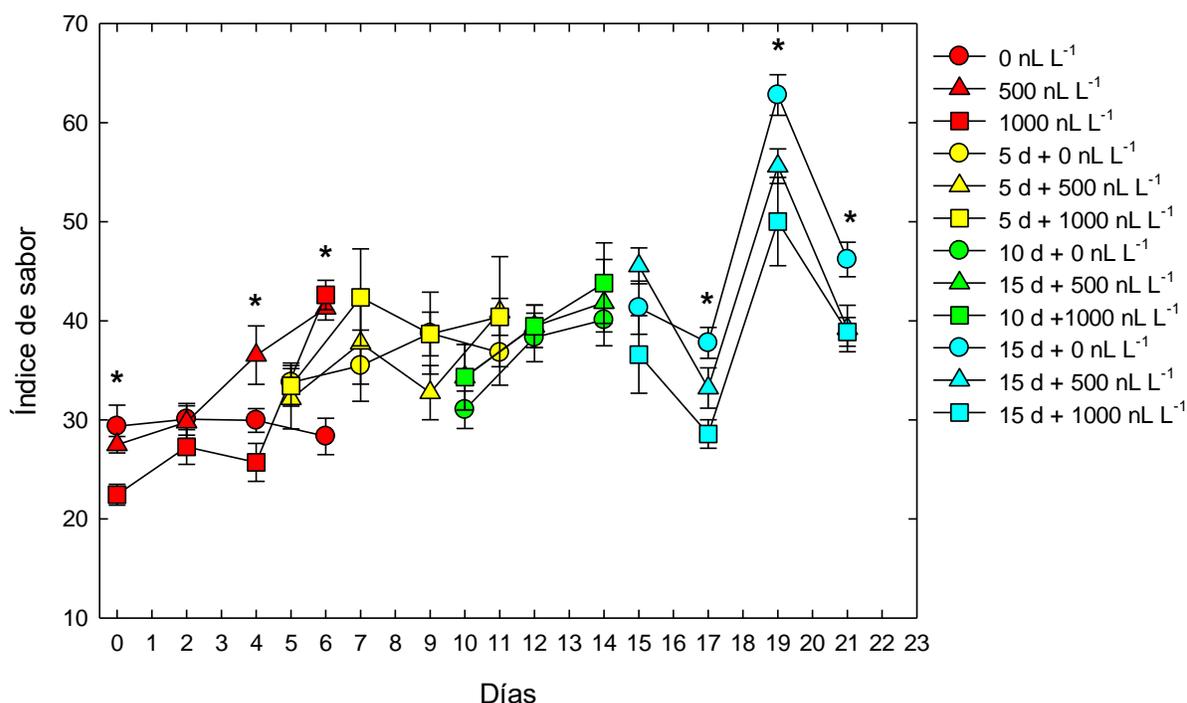


Figura 40. Comportamiento del índice de sabor en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.9 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos en los frutos sin aplicación de 1-MCP a temperatura ambiente tuvieron entre 142.5 y 171.2 mg EAG 100g⁻¹ durante los primeros 2 días de evaluación, posteriormente se incrementó hasta 275.2 mg EAA 100g⁻¹ al cuarto día para finalmente disminuir en el sexto día hasta 141.9 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 41). En los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 nL L⁻¹, los compuestos fenólicos se incrementaron de 121.9 hasta 214 mg EAA 100g⁻¹ después de 2-4 días, para posteriormente disminuir hasta 134-154 mg EAA 100g⁻¹ a los 6 -8 días; en tanto que

los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ los compuestos fenólicos disminuyeron constantemente de 210.8 mg EAA 100g⁻¹ al inicio del experimento hasta 153.4 mg EAA 100g⁻¹ a los 4 días, posteriormente se incrementó ligeramente hasta 184.8 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 41). Los frutos sin aplicación de 1-MCP mostraron el mayor contenido de compuestos fenólicos.

En los frutos almacenados por 5, 10 y 15 d a 12 °C no se detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados, en general los fenoles se incrementaron durante la maduración, sin efecto del 1-MCP (Figura 41).

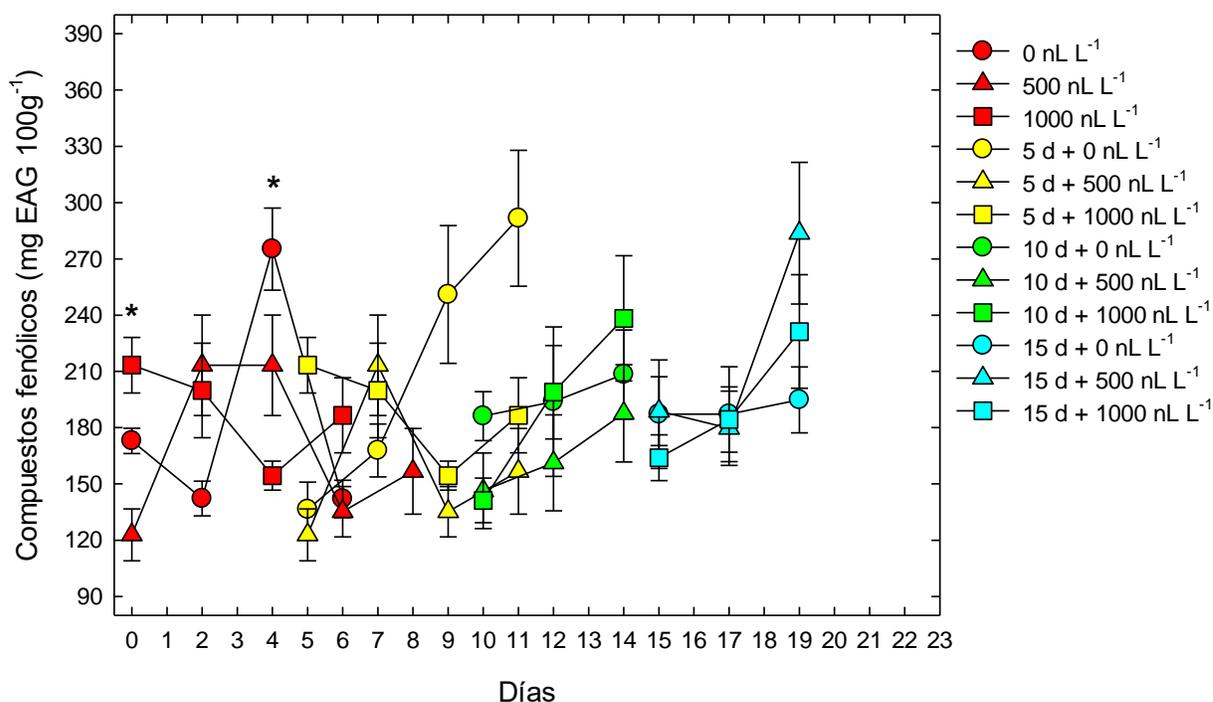


Figura 41. Comportamiento de compuestos fenólicos en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.10 Flavonoides totales

Los flavonoides totales disminuyeron en todos los frutos almacenados a temperatura ambiente tratados con 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹, de 67.4 y 51.3 mg EQ

100g⁻¹ hasta 42.1 – 50.9 mg EQ 100g⁻¹ (Figura 42). En contraste en los frutos sin aplicación de 1-MCP se mantuvieron entre 34.7 y 42.19 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 42). El análisis de varianza solo detectó diferencias en el primer día de evaluación donde los frutos sin aplicación mostraron significativamente menor contenido de flavonoides totales, aunque en los días posteriores esta diferencia no se detectó (Figura 42).

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C el contenido de compuestos fenólicos se incrementó considerablemente de entre 58.6 – 63.2 mg EQ 100g⁻¹ hasta entre 78.8 y 98.2 mg EQ 100g⁻¹ después de 6 días, y fue al final de la evaluación donde se detectó significativamente mayor contenido de fenoles en los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ (Figura 42). Similar tendencia se determinó en los frutos almacenados por 10 días a 12 °C, aunque no se detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados.

Los frutos almacenados por 15 días a 12 °C el incremento del contenido de fenólicos durante la maduración no fue tan evidente como en los tiempos de almacenamiento antes mencionados, manteniéndose los niveles entre 46 y 72.7 mg EQ 100g⁻¹ (Figura 42).

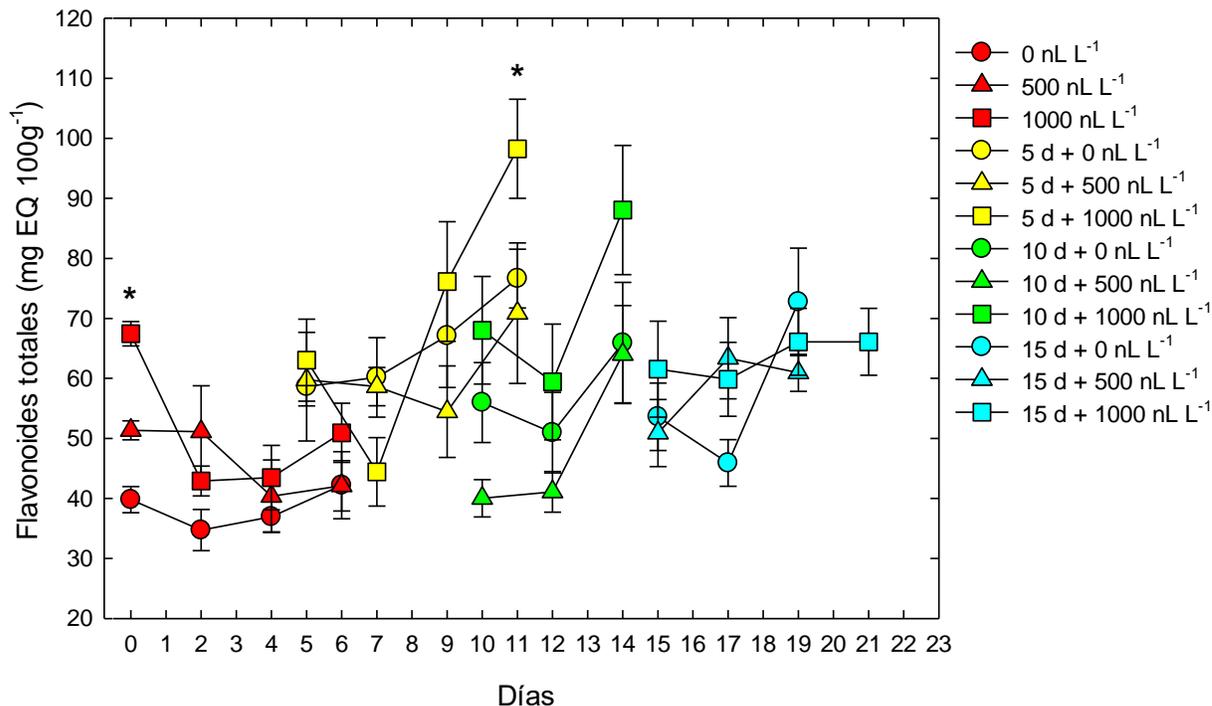


Figura 42. Flavonoides totales en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.11 Actividad antioxidante por DPPH

La actividad antioxidante por DPPH mostró incrementos significativos en los frutos almacenados a temperatura ambiente, así los frutos donde no se aplicó el 1-MCP, inició con valores entre 111.9 – 134.5 mg EAA 100g⁻¹ en los primeros 2 días, posteriormente se incrementó hasta 230.9 mg EAA 100g⁻¹ al día 4 y posteriormente disminuyó hasta 108.7 mg EAA 100g⁻¹ (Figura 43). En los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹, el comportamiento de la actividad antioxidante por DPPH fue similar a los frutos donde no se aplicó el 1-MCP, alcanzando su máximo contenido a los 2 días, pero fue significativamente similar a los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹, posteriormente la actividad antioxidante disminuyó (Figura 43).

En los tratamientos almacenados por 5, 10 y 15 días, la actividad antioxidante se incrementó durante la maduración, pero no se detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados (Figura 43). Lo que sugiere que no hubo efecto de la aplicación de 1-MCP en la actividad antioxidante por DPPH.

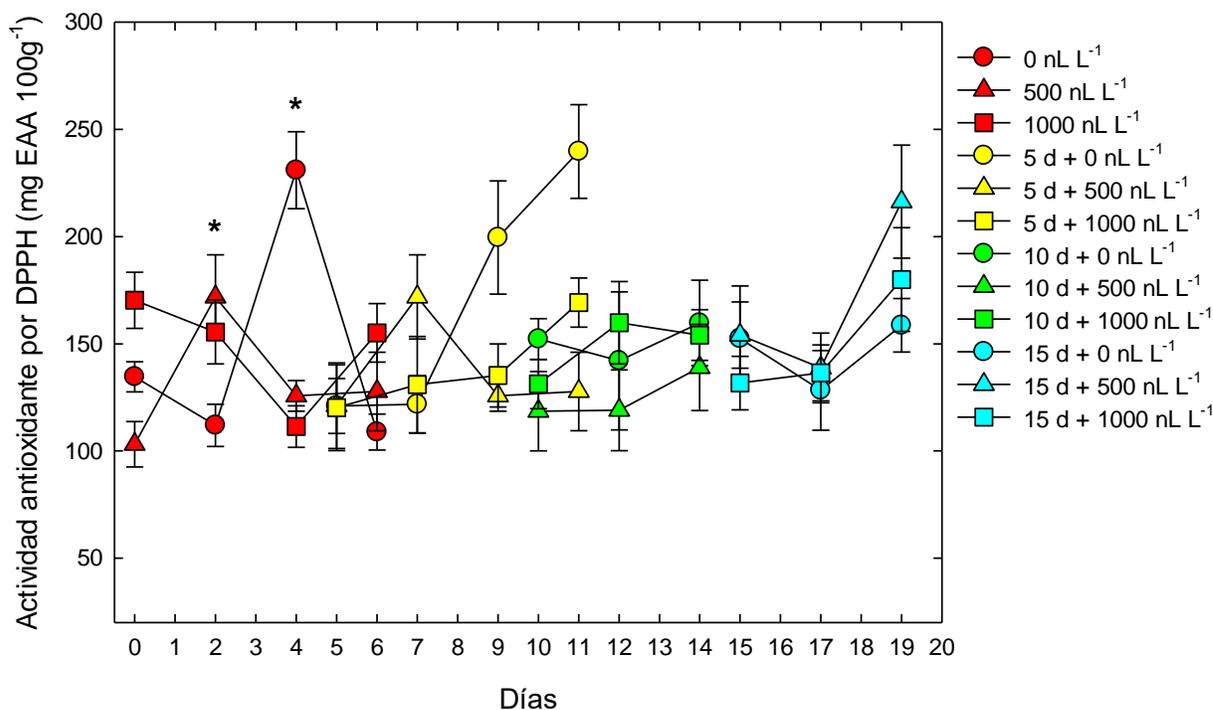


Figura 43. Actividad antioxidante por DPPH en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.12 Actividad antioxidante por ABTS

La actividad antioxidante por ABTS en los frutos testigo fue muy similar en comportamiento comparada con la actividad por DPPH, la similitud es también en las diferencias estadísticas; en general la actividad se incrementó durante la maduración con mayor intensidad en los frutos donde no se aplicó 1-MCP (Figura 44).

En los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días a 12 °C la actividad antioxidante por ABTS se incrementó una vez que salieron del almacenamiento, sin embargo, no se detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados (Figura 44). Lo anterior indica que no existió efecto significativo de la aplicación de 1-MCP en la actividad por ABTS de ciruela mexicana ‘Costeña’ a temperatura ambiente y con refrigeración.

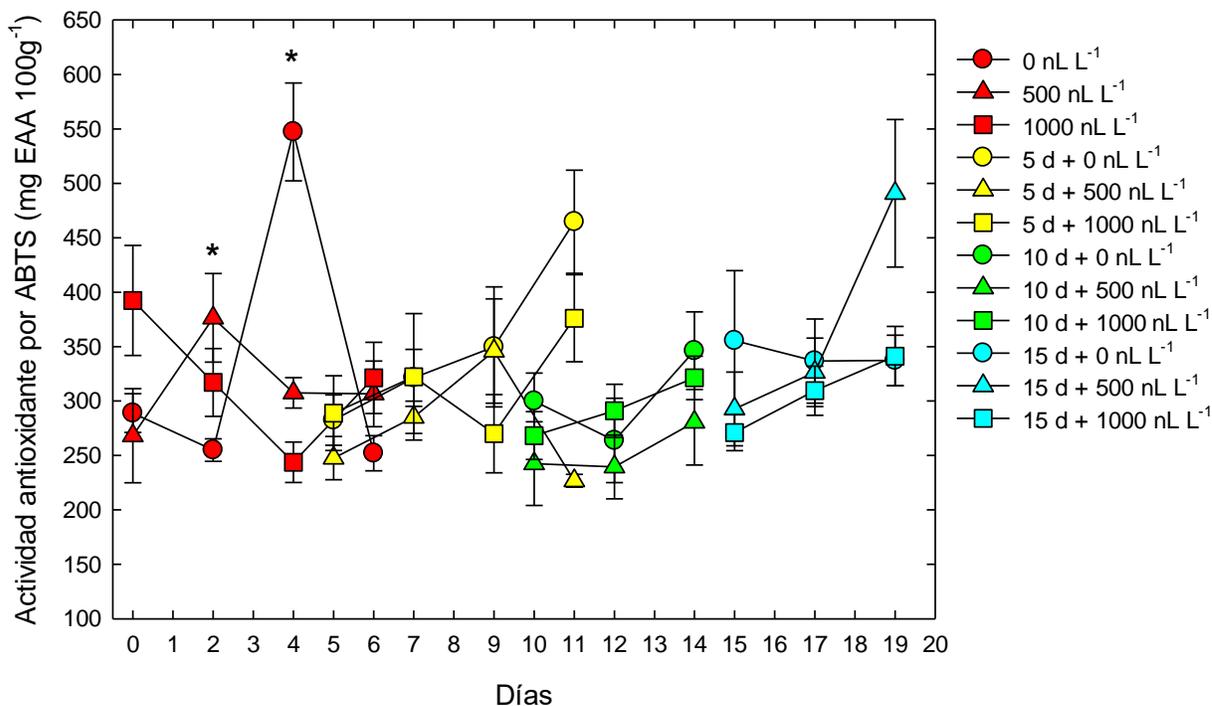


Figura 44. Actividad antioxidante por ABTS en frutos de ciruela mexicana ‘Costeña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.3.13 Actividad antioxidante por FRAP

La actividad antioxidante evaluada por el método de FRAP mostró el mismo comportamiento que la actividad antioxidante evaluada por DPPH o ABTS, en la evaluación a temperatura ambiente (Figura 45). La actividad en los frutos sin aplicación de 1-MCP mostraron la mayor actividad al cuarto día de evaluación, mientras que en

los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 o 1000 nL L⁻¹ la actividad fue significativamente menor durante la maduración (Figura 45).

En los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días a 12 °C, la aplicación de 1-MCP no provocó ningún efecto en la actividad antioxidante evaluada por FRAP, en general la actividad antioxidante se incrementó durante la maduración, pero no se detectó efecto de la aplicación de 1-MCP (Figura 44).

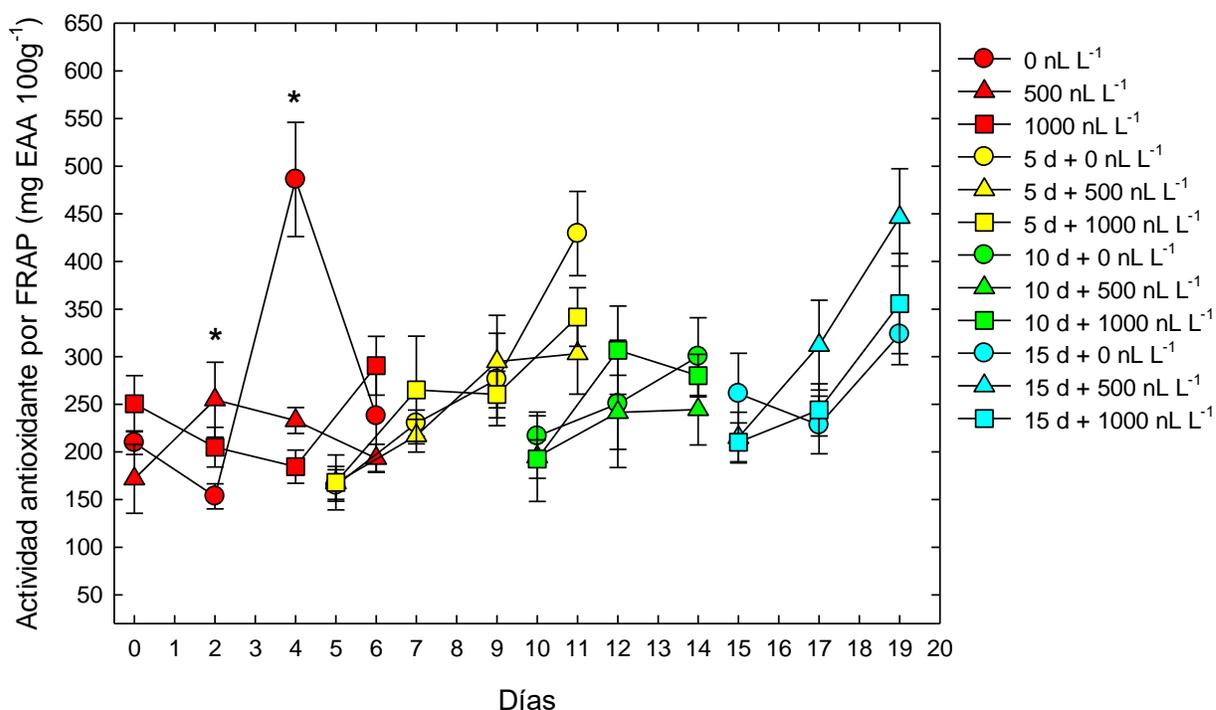


Figura 45. Actividad antioxidante por FRA en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4 'Amarilla'

5.4.1 Pérdida de peso

El análisis de varianza no detectó diferencia entre los frutos donde se aplicó 1-MCP comparado con los frutos sin aplicación; y la refrigeración no afectó este comportamiento (Figura 46). En los frutos almacenados a temperatura ambiente la pérdida de peso mostró un comportamiento lineal, la pérdida de peso diaria fue entre 2.4 y 2.9 %, alcanzando entre 14.9 y 20.7 % de pérdida total entre 6 y 7 días después de aplicar el tratamiento (Figura 46).

En los frutos almacenados a baja temperatura y posteriormente madurados a temperatura ambiente la pérdida de peso en 6 días después de salir del almacenamiento fue de 17.3, 15.8 y 13.6 % para los frutos donde se aplicó 0, 500 y 100 nL L⁻¹, esto indica que la pérdida diaria fue de 2.2, 2.6 y 2.8, respectivamente (Figura 46).

Cuando los frutos fueron almacenados por 10 días a 12 °C y posteriormente madurados a temperatura ambiente la pérdida de peso fue entre 13.6 y 16.2 en 6 días, indicando pérdida de peso diaria entre 2.2 y 2.7 % (Figura 46).

Finalmente, los frutos almacenados por 15 días a 12 °C y posteriormente madurados a temperatura ambiente, la pérdida de peso diaria fue entre 2.1 y 3.0 %, es decir se tuvo una pérdida de 12.6 % en los frutos donde se aplicaron 1000 nL L⁻¹ y entre 17.1 y 18.4 % en los frutos sin aplicación de 1-MCP y donde se aplicaron 500 nL L⁻¹ (Figura 46). El análisis de varianza solo detectó diferencias en el último día de evaluación entre estos tratamientos (Figura 46).

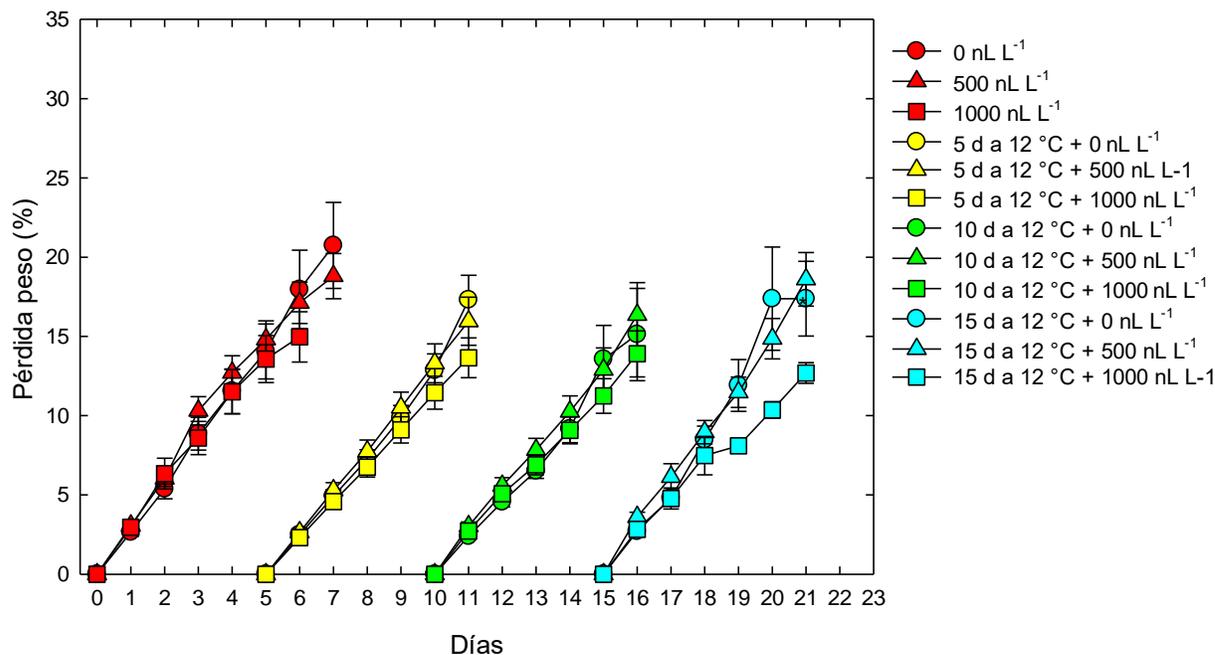


Figura 46. Pérdida de peso en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.2 Color: L*, C* y h

En la variedad amarilla el efecto del 1-MCP en los parámetros de color durante la maduración fue evidente (Figura 47).

La luminosidad de la variedad ‘Amarilla’ sin aplicar 1-MCP a temperatura ambiente inicialmente mostró valores de L* = 55.5 y posteriormente se incrementó hasta valores de L* = 68.5 a los 3 días y posteriormente disminuyó constantemente hasta alcanzar valores de L* = 55.4 (Figura 47). La aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹, retrasó significativamente el máximo de luminosidad, en ambos casos se alcanzó a los 5 días, pero los valores fueron mayores, L* = entre 67.4 y 70.2, posteriormente la luminosidad disminuyó, pero no tan pronunciado como en los frutos donde se aplicó 1-MCP, ya que los valores solo disminuyeron hasta entre L* = 60.9 y 62.3 (Figura 47).

Esto indica que el 1-MCP a temperatura ambiente retrasa en 2 días los cambios de la luminosidad.

En los frutos almacenados a baja temperatura por 5 días los frutos testigo alcanzaron el valor máximo ($L^* = 66.4$) a los 2 días de salir del almacenamiento y posteriormente se redujo drásticamente; en tanto que los frutos donde se aplicó 500 o 1000 $nL L^{-1}$ el máximo de la luminosidad se alcanzó 4 días después de salir del almacenamiento a baja temperatura (Figura 47).

Similar comportamiento se observó en los frutos almacenados por 10 y 15 días a 12 °C después de la aplicación del 1-MCP (Figura 47), ya que en los frutos donde no se aplicó el 1-MCP la máxima luminosidad se alcanzó a los 2 días o al salir del almacenamiento, en tanto que en los frutos donde se aplicó el 1-MCP la máxima luminosidad se mantuvo entre 3 a 4 días, es decir, retrasó significativamente la disminución de los valores de luminosidad (Figura 47).

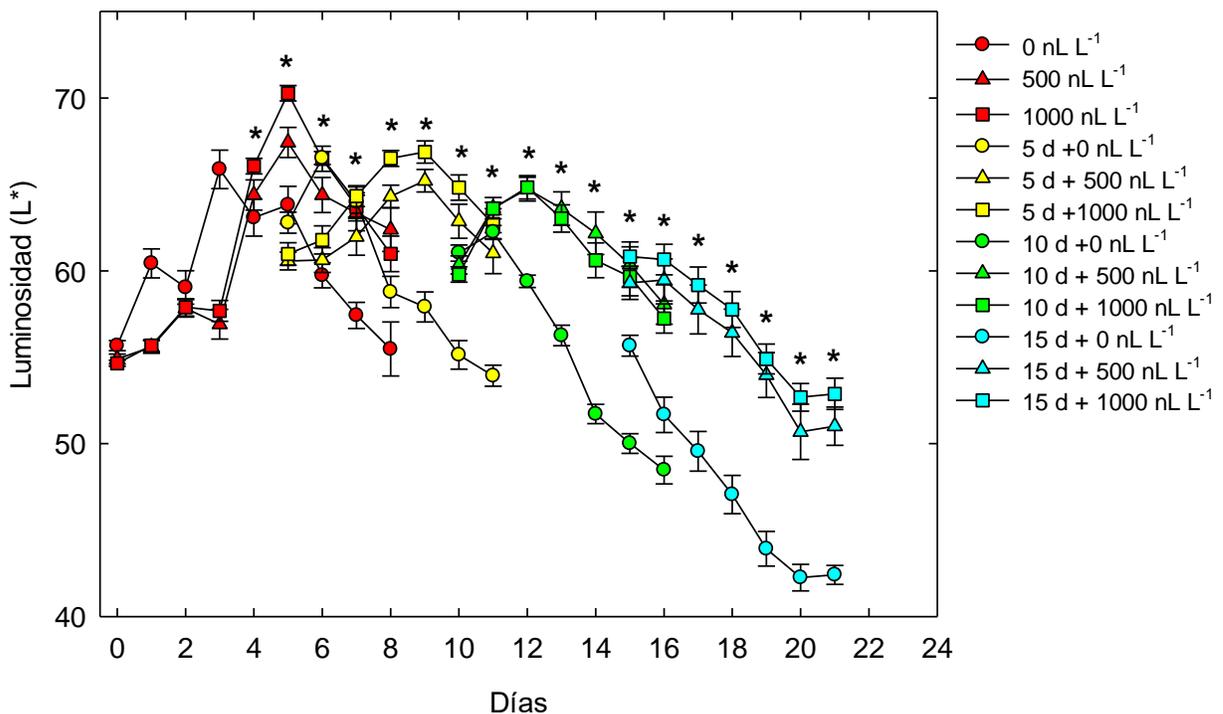


Figura 47. Cambio en la luminosidad de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 $nL L^{-1}$, (▲) y 1000 $nL L^{-1}$ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

La cromaticidad en los frutos almacenados a temperatura ambiente y sin aplicación de 1-MCP, mostró un súbito incremento de valores iniciales de $C^* = 38.9$ hasta $C^* = 58$ después de 2 días y posteriormente disminuyó hasta valores de $C^* = 52.6$ a los 6-8 días (Figura 48). En los frutos donde se aplicó el 1-MCP en dosis de 500 o 1000 nL, los máximos se obtuvieron a los 5 días con valores entre $C^* = 61.3$ y 65.5 , posteriormente la disminución no superó valores de $C^* = 56.5 - 59.4$ (Figura 48). Esto indica que la aplicación de 1-MCP retrasó el cambio de la cromaticidad asociada a la maduración de los frutos de ciruela mexicana 'amarilla'

Similar comportamiento se observó en los frutos almacenados a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 5, 10 y 15 días, donde los frutos donde no se aplicó 1-MCP el máximo de cromaticidad se alcanzó al salir o 1 día después de salir del almacenamiento y posteriormente disminuyó drásticamente (Figura 48). Esto fue contrastante en los frutos donde se aplicó el 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L^{-1} donde la cromaticidad se mantuvo por más tiempo, entre 4-5 días (Figura 48). Estos resultados indican claramente que el 1-MCP retrasa significativamente la disminución de la cromaticidad en los frutos de ciruela 'Amarilla'.

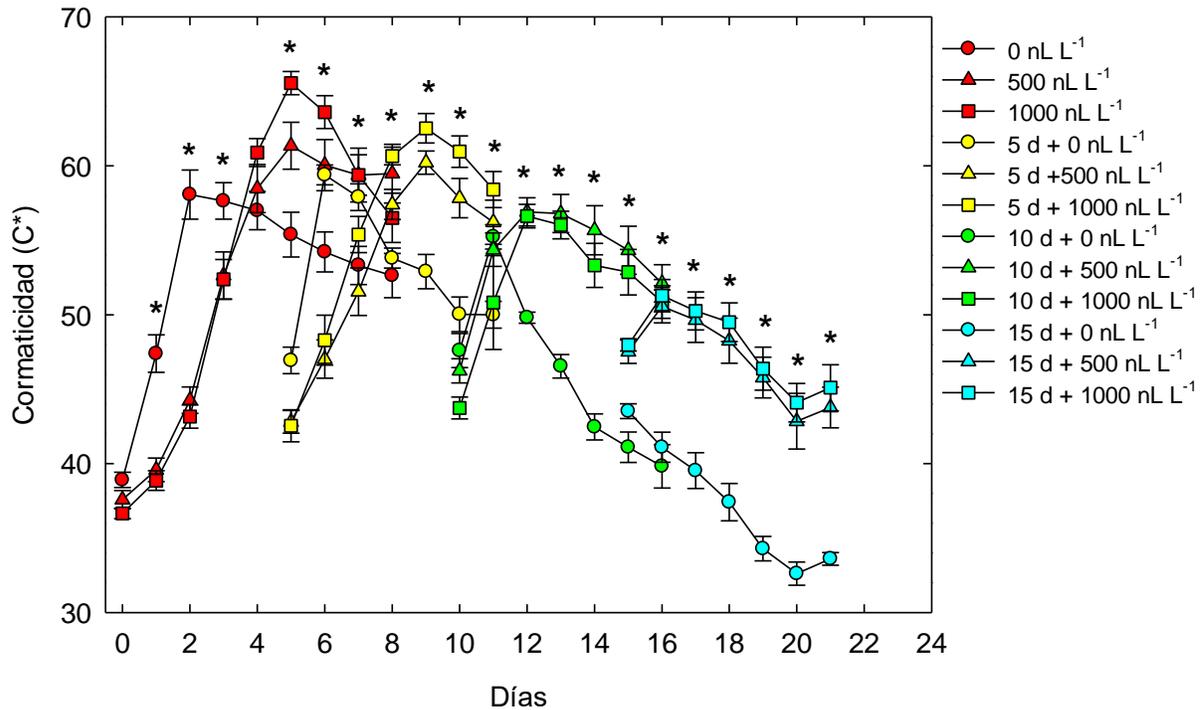


Figura 48. Cambio en la luminosidad de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

Los cambios de color en el matiz de los frutos donde no se aplicó 1-MCP y que se mantuvo a temperatura ambiente se modificó de color tendiente al verde ($h = 88.8$) hacia un color amarillo ($h = 72$) después de 3 días, posteriormente el color disminuyó ligeramente, pero se mantuvo cercano al amarillo ($h = 66.4 - 70.4$) (Figura 49). En los frutos donde se aplicó el 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ el color amarillo se alcanzó hasta después los 5 días ($h = 71.5$), es decir con un retraso de 2 días comparado con los frutos donde no se aplicó el 1-MCP (Figura 49).

En los frutos almacenados a baja temperatura por 5, 10 y 15 días el color amarillo se alcanzó al salir o un día después de salir del almacenamiento a baja temperatura y posteriormente disminuyó levemente a valores no mayores de ($h = 62 - 63$) a excepción de los frutos almacenados por 15 días donde el color después de 1 día a temperatura

ambiente disminuyó hasta $h=58$ y posteriormente alcanzó hasta $h=54$, es decir un color tendiente al naranja (Figura 49).

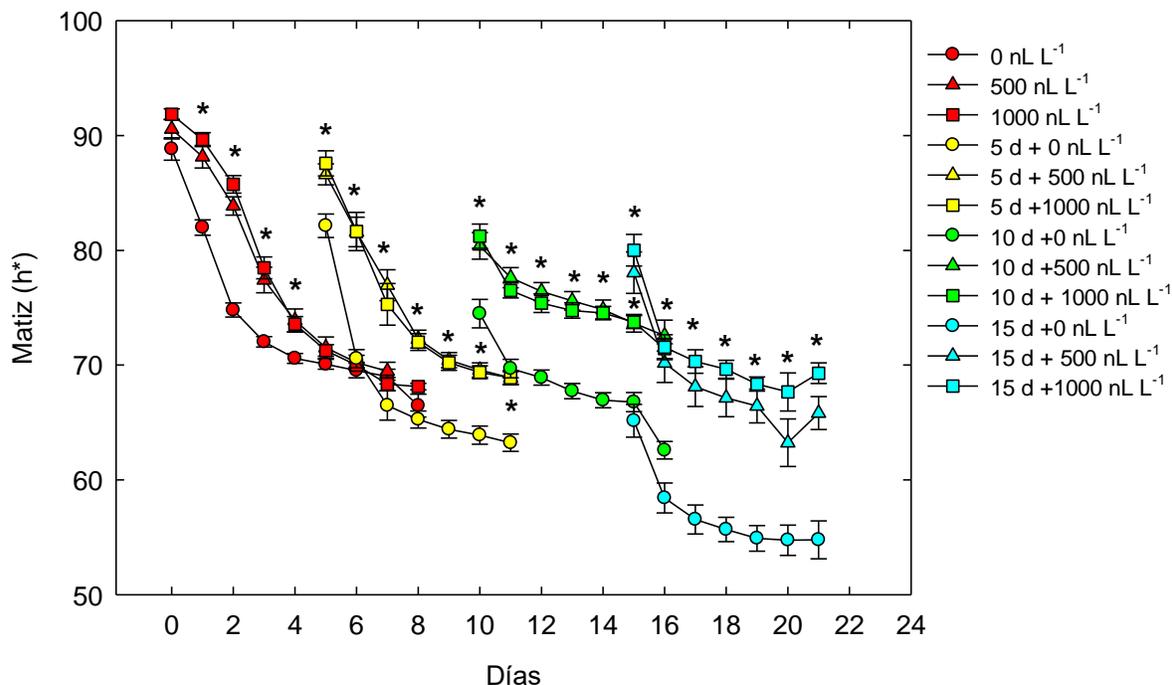


Figura 49. Cambio en el ángulo de matiz de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.3 Respiración

En los frutos a temperatura ambiente con y sin aplicación de 1-MCP se observó una velocidad de respiración entre 4.4 - 5.1 mL kg⁻¹h⁻¹ los primeros 3 días, posteriormente disminuyó significativamente entre 3.5 -3.8 mL kg⁻¹h⁻¹ entre los 4 - 5 días, para finalmente incrementarse hasta entre 4.9 - 6.5 mL kg⁻¹h⁻¹ entre los 7-8 días (Figura 50). Se observó ligeramente menor respiración en los frutos donde se aplicó la dosis de 1000 nL L⁻¹, sin embargo, no solo se detectaron diferencias significativas a los 5 d (Figura 50).

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C, no se detectaron diferencias significativas entre los frutos donde se aplicó 1-MCP y aquellos donde no se aplicó este gas; el máximo de producción se observó a los 2 días de salir del almacenamiento, alcanzando valores entre 5.0 - 5.7 mL kg⁻¹h⁻¹, para posteriormente disminuir (Figura 50).

En los frutos almacenados a 12 °C por 10 días, a pesar de que se detectó diferencias significativas un día después de salir del almacenamiento, esta tendencia no se mantuvo durante la maduración, por lo que se considera que no hubo efecto del 1-MCP. El máximo de respiración se obtuvo 2-3 d después de salir del almacenamiento (Figura 50).

Finalmente, en los frutos almacenados por 15 días, los frutos donde se aplicó 0 ó 500 nL L⁻¹ al salir del almacenamiento disminuyeron su velocidad de respiración por 5 días, posteriormente se incrementó en los últimos tres días de evaluación; en tanto que en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP el máximo de respiración se obtuvo 1 día después de salir del almacenamiento y posteriormente disminuyó y en el día 5 se incrementó nuevamente; los aumentos después de los 5 días, probablemente se atribuyan a efecto de la senescencia (Figura 50). En general se observó poco efecto del 1-MCP en la respiración de la ciruela 'Amarilla'.

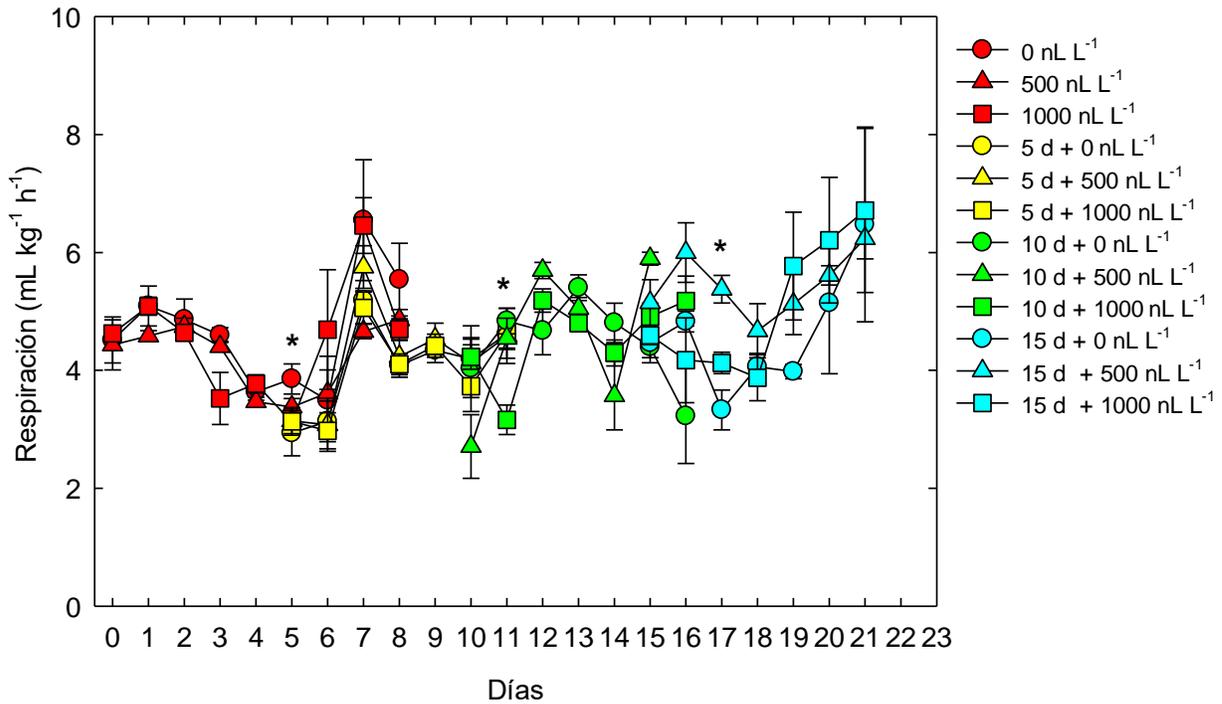


Figura 50. Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.4 Etileno

A temperatura ambiente en los frutos donde no se aplicó el 1-MCP, el etileno se incrementó el día 1, manteniéndose en valores altos entre los días 3 y 7; un comportamiento similar se observó en los frutos donde se aplicó 500 nL L⁻¹, pero en los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ el etileno se incrementó a partir del día 4 y alcanzando su máximo a los 8 días (Figura 51). Lo anterior sugiere un retraso en la producción de etileno por la aplicación de 1-MCP.

En los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días a 12 °C después de aplicar o no el 1-MCP, no se detectaron diferencias significativas durante la maduración, incluso los máximos de producción de etileno no fueron claros (Figura 51). Lo anterior sugiere

escaso efecto del 1-MCP en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ después de su refrigeración.

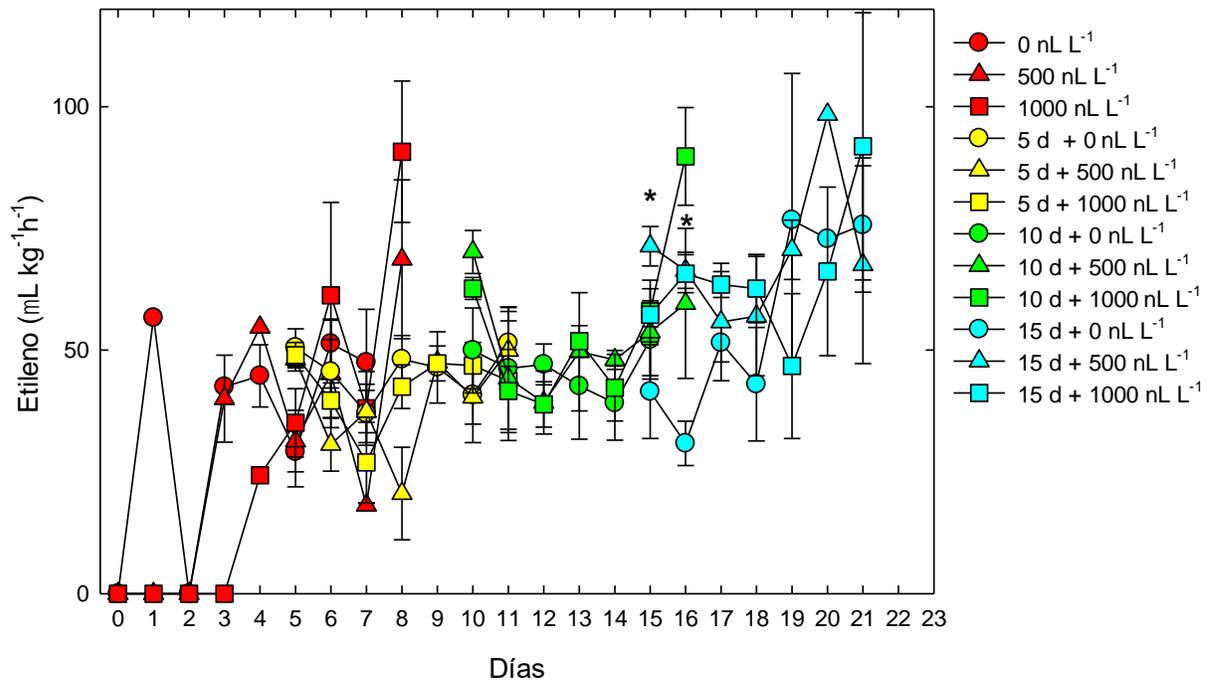


Figura 51. Producción de etileno de frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.5 Firmeza

La firmeza fue afectada significativamente por la aplicación de 1-MCP (Figura 52). En los frutos almacenados a temperatura ambiente, la aplicación de 1-MCP en dosis de 500 ó 1000 nL L⁻¹ retrasó entre 1.0 y 3.8 N la pérdida de firmeza comparado con los frutos donde no se aplicó 1-MCP (Figura 52).

En los frutos almacenados a por 5, 10 ó 15 días a 12 °C el retraso en la pérdida de firmeza fue entre 2-4 N, comparando los frutos almacenados donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ contra los frutos donde no se aplicó 1-MCP (Figura 52).

Lo anterior indica que el 1-MCP es un potente inhibidor de los procesos asociados a la pérdida de firmeza en los frutos de ciruela 'Amarilla'.

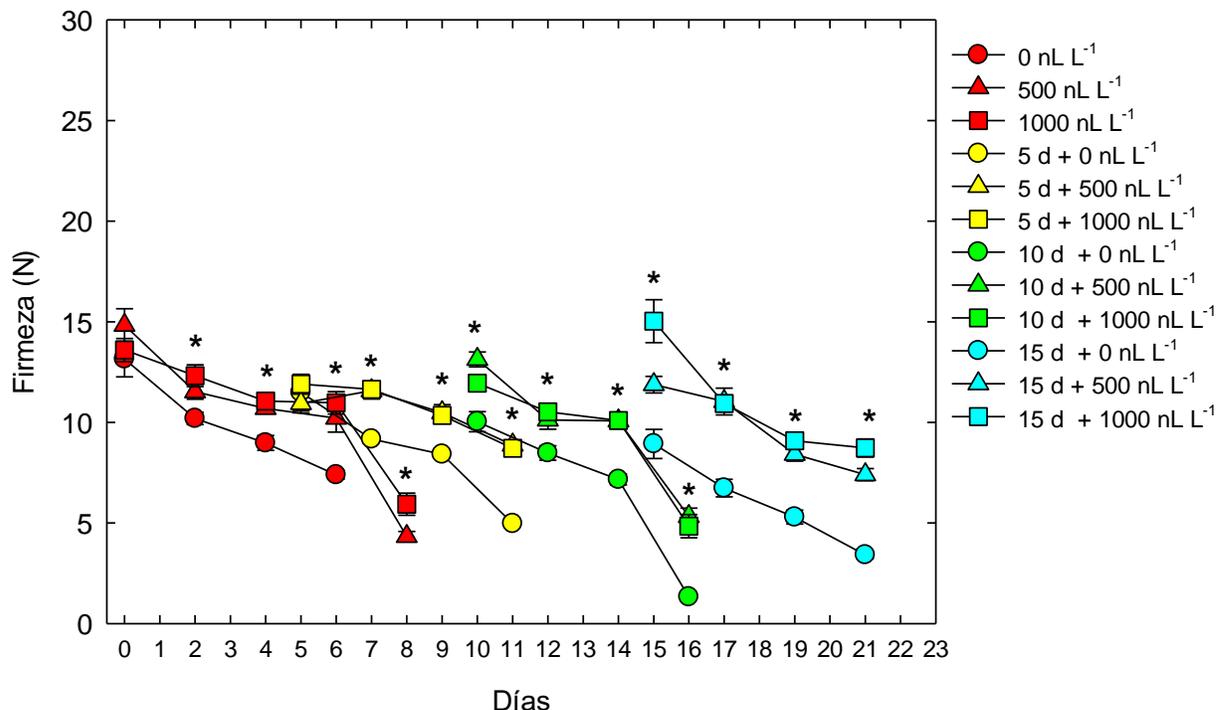


Figura 52. Firmeza de frutos de ciruela mexicana 'Amarilla' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.6 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales se incrementaron durante la maduración de los frutos de ciruela 'Amarilla' cuando se almacenaron a temperatura ambiente, de valores iniciales entre 11.3 y 12.0 °Brix hasta entre 17.8 y 20.0 °Brix después de 9 días (Figura 53). Los frutos donde no se aplicó 1-MCP mostraron significativamente los valores mayores de sólidos en el último día de evaluación (Figura 53).

En los frutos almacenados a 5, 10 y 15 días a 12°C donde no se aplicó 1-MCP el incremento en los sólidos solubles totales fue menor que en los almacenados a

temperatura ambiente, ya que solo se alcanzó hasta 18.8 °Brix (Figura 53). Se detectaron diferencias significativas entre los frutos donde se aplicó 1-MCP y aquellos donde no se aplicó, sobre todo al final de los días de evaluación, es decir después de 6 días de salir de la condición de almacenamiento; con la excepción de los frutos almacenados por 10 días, donde la diferencia se observó después de 2 días de salir del almacenamiento (Figura 53).

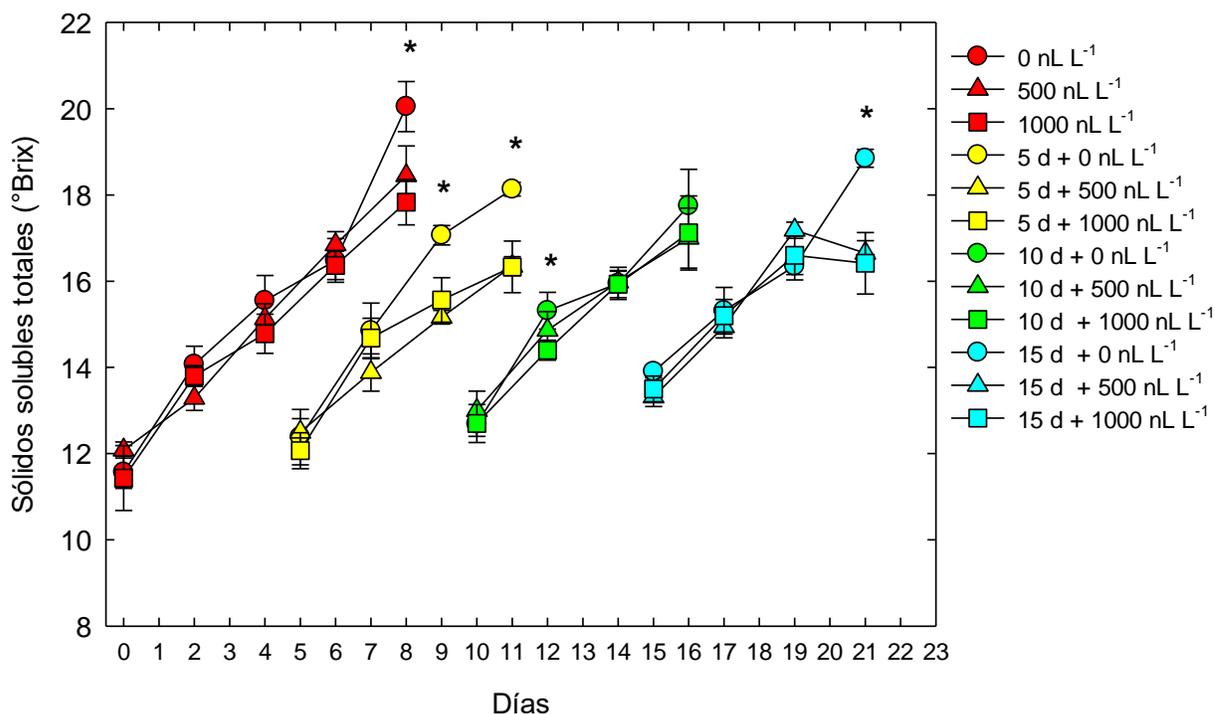


Figura 53. Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.7 Acidez titulable

La acidez titulable en ciruela ‘Amarilla’ no fue afectada significativamente por la aplicación de 1-MCP cuando se mantuvieron a temperatura ambiente y después de la refrigeración por 10 ó 15 días (Figura 54). Solo en los frutos almacenados por 5 días a 12 °C se observaron diferencias significativas al final de la evaluación (Figura 54).

En los frutos almacenados a temperatura ambiente se mantuvo entre 0.25 y 0.32 % durante los 6-8 días (Figura 54). Los frutos almacenados por 5 días a 12 °C la acidez titulable se incrementó de 0.25 a 0.34 % después de 6 días de salir del almacenamiento, con mayor evidencia en los frutos donde no se aplicó 1-MCP (Figura 54). Finalmente, los frutos almacenados por 10 ó 15 días la acidez se incrementó de 0.28 a 0.32 y de 0.26 a 0.37 %, respectivamente (Figura 54). Lo anterior, sugiere escaso efecto del 1-MCP en el comportamiento de la acidez titulable en la maduración de ciruela ‘Amarilla’.

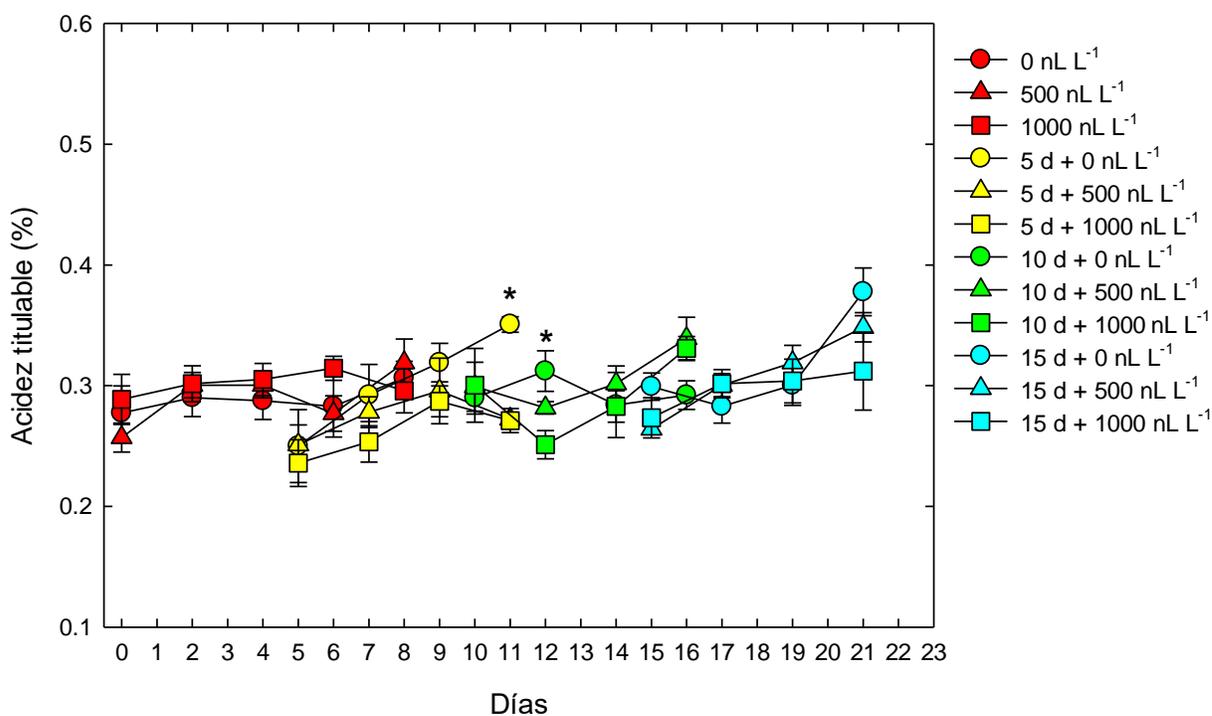


Figura 54. Acidez titulable en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.8 Índice de sabor

El índice de sabor fue significativamente mayor en los frutos donde no se aplicó el 1-MCP a temperatura ambiente, y cuando se aplicó el 1-MCP la dosis mayor fue la que

mostró menores valores de índice de sabor, con mayor evidencia a los 4 y 8 días (Figura 55). En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C y con aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ mostró incremento significativo al final de las evaluaciones (6 días), no así en los frutos almacenados por 10 días, donde los frutos testigo mostraron los valores mayores de índice de sabor (Figura 55). Finalmente, en los frutos almacenados por 15 d, el índice de sabor mostró ligero incremento durante la maduración, sin diferencias entre tratamientos (Figura 55).

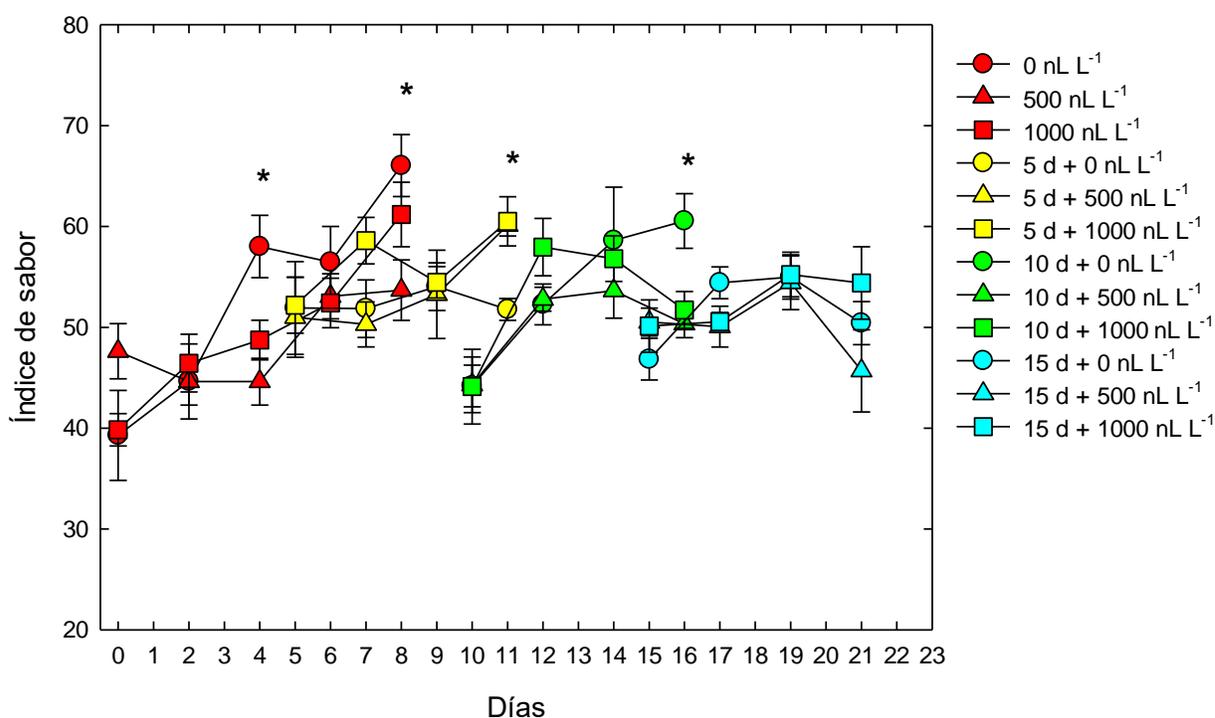


Figura 55. Índice de sabor en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.9 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se incrementaron durante la maduración de los frutos de ciruela ‘Amarilla’ almacenados a temperatura ambiente, similar comportamiento mostró los frutos donde se aplicó 1-MCP a dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹, pero con valores

significativamente mayores (Figura 56). En los frutos almacenados por 5 días no se detectaron diferencias significativas, a pesar de que en los frutos donde no se aplicó 1-MCP mostró los máximos valores a los 4 días de salir del almacenamiento, los frutos tratados con 1-MCP mostraron valores menores (Figura 56). En los frutos almacenados por 10 y 15 días, los frutos donde no se aplicó 1-MCP tuvieron incrementos mayores o antes que los frutos donde se aplicó 1-MCP, pero no se detectaron diferencias significativas (Figura 56). Lo anterior sugiere cierto efecto del 1-MCP en el metabolismo de los fenoles, principalmente al retrasar el proceso de maduración.

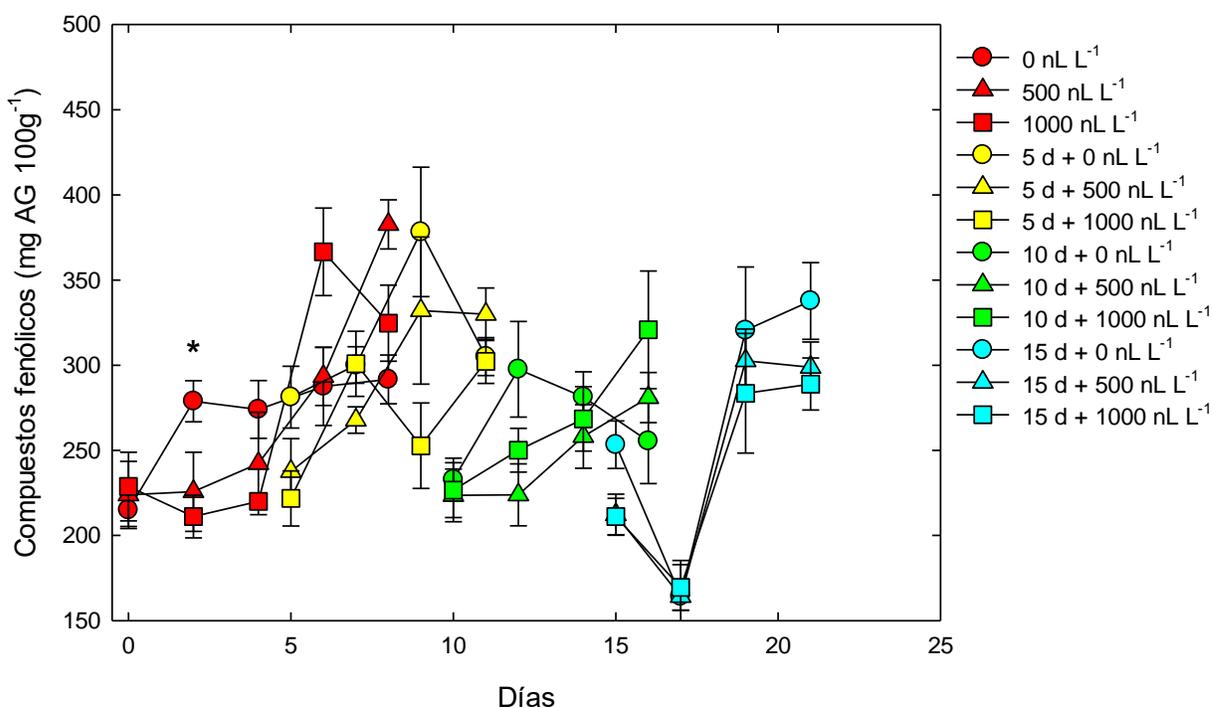


Figura 56. Compuestos fenólicos en frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.10 Flavonoides totales

No se observó efecto de la aplicación del 1-MCP en el contenido o dinámica de los flavonoides durante la maduración con o sin refrigeración (Figura 57). La tendencia de

los flavonoides no es clara durante la maduración, ya que a temperatura ambiente los flavonoides disminuyeron y posteriormente alcanzaron un máximo, en los frutos donde no se aplicó 1-MCP (Figura 57). En los frutos donde se aplicó 1-MCP a 500 nL L⁻¹, el máximo se retrasó al compararlo con frutos sin aplicación de 1-MCP, en tanto que en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ los flavonoides disminuyeron (Figura 57).

En los frutos donde se refrigeraron por 5, 10 y 15 días a 12 °C, el comportamiento no es claro, ya que se mantiene, disminuye o aumenta en algunos casos como en los frutos almacenados por 10 d a 12 °C y con 1000 nL L⁻¹ (Figura 57). Estos resultados indican poco efecto del 1-MCP en el metabolismo de flavonoides.

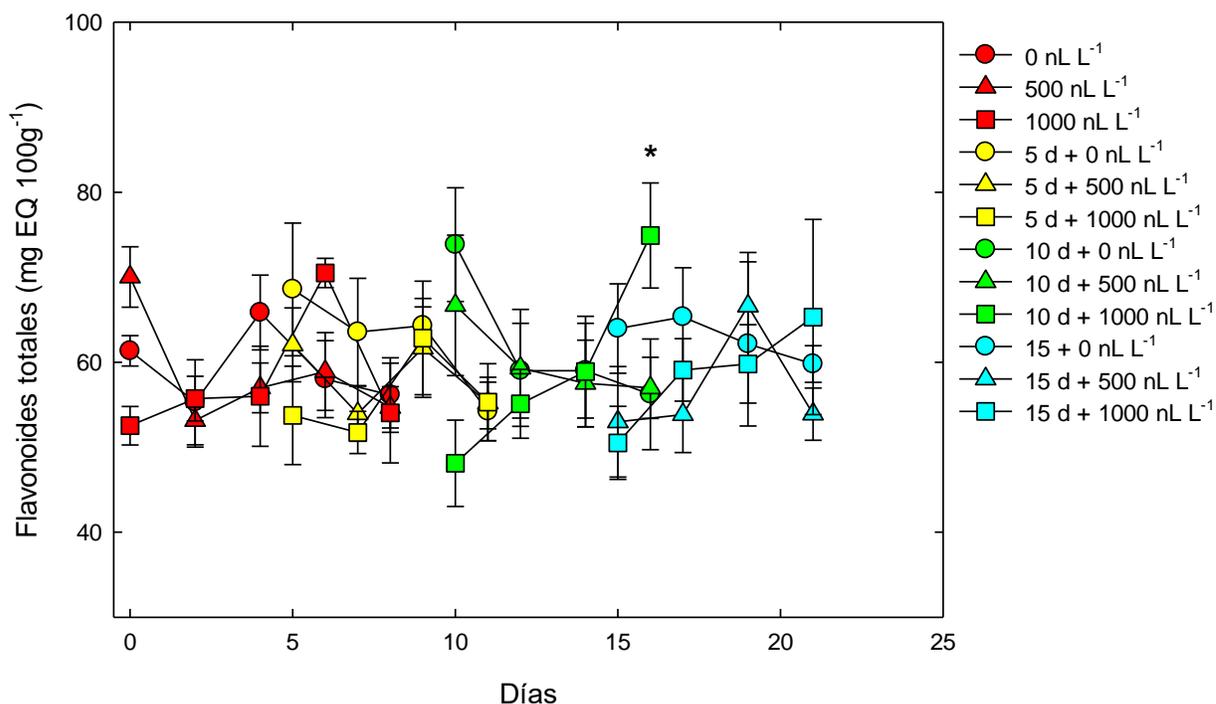


Figura 57. Flavonoides totales en frutos de ciruela mexicana 'Amarilla' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹ (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.11 Actividad antioxidante por DPPH

En los frutos sin aplicación de 1-MCP almacenados a temperatura ambiente la actividad antioxidante por DPPH se incrementó al día 2 y 4, posteriormente disminuyeron constantemente; en contraste los frutos donde se aplicó 1-MCP a 500 o 1000 nL L⁻¹ la actividad se incrementó constantemente durante la maduración alcanzado su máximo valor a los 6 u 8 días (Figura 58).

Similar comportamiento se observó en los frutos almacenados por 5 días a 12 °C (Figura 58). Sin embargo, los frutos almacenados por 10 y 15 d la tendencia fue a tener menor actividad y el incremento durante la maduración fue escaso o muy baja (Figura 58). Lo anterior sugiere un efecto del 1-MCP en la actividad antioxidante por DPPH asociada a la maduración en condiciones de temperatura ambiente o almacenados por 5 d a 12 °C, ya que periodos de almacenamiento mayores (10 ó 15 d) la actividad antioxidante disminuyó (Figura 58).

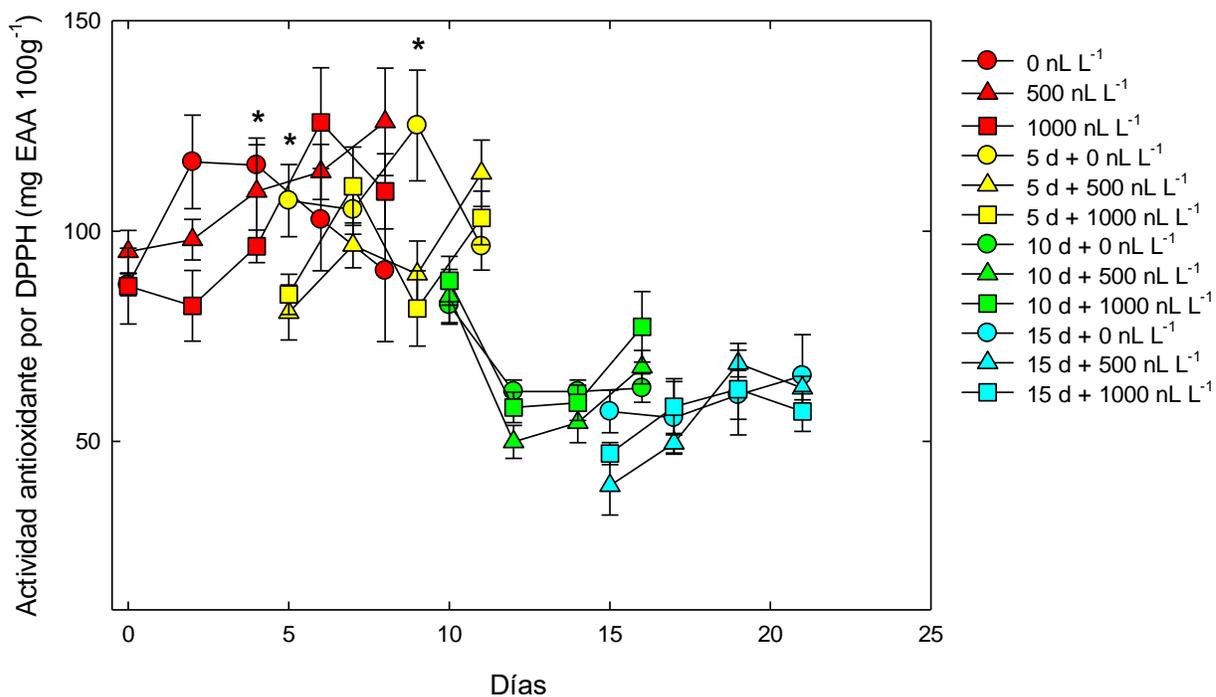


Figura 58. Actividad Antioxidante por DPPH en frutos de ciruela mexicana 'Amarilla' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.12 Actividad antioxidante por ABTS

La actividad antioxidante por ABTS fue afectada por la aplicación de 1-MCP en los frutos almacenados a temperatura ambiente (Figura 59). La máxima actividad antioxidante por ABTS se observó a los 4 días en los frutos donde se aplicó 1-MCP en 0 o 500 nL L⁻¹ y posteriormente disminuyó (Figura 59), en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP la actividad antioxidante se mantuvo significativamente menor comparada con los demás tratamientos (Figura 59).

En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C y donde no se aplicó 1-MCP la máxima actividad fue a los 4 días, mientras tanto los frutos donde se aplicó 1-MCP la actividad antioxidante por ABTS fue menor (Figura 59). En los frutos almacenados por 10 y 15 d la actividad antioxidante se incrementó durante la maduración, pero no se detectaron diferencias entre tratamientos (Figura 59).

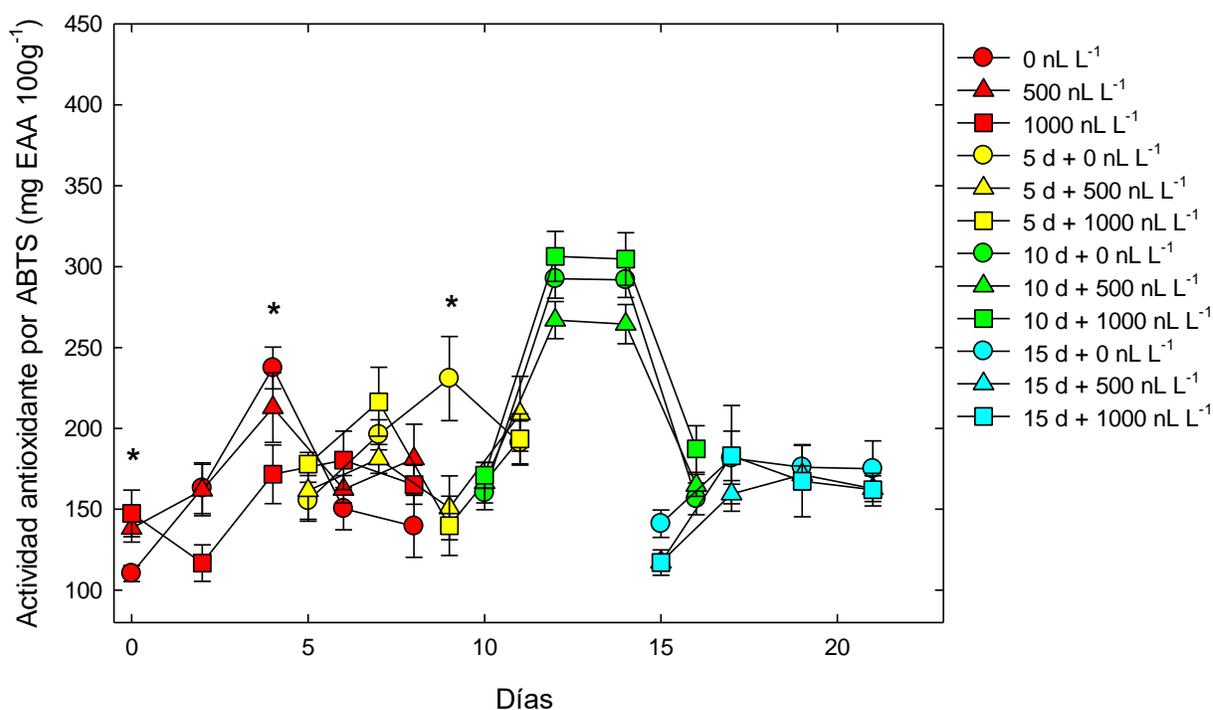


Figura 59. Actividad Antioxidante por ABTS en frutos de ciruela mexicana 'Amarilla' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.4.13 Actividad antioxidante por FRAP

La actividad antioxidante por FRAP se incrementó durante la maduración en los frutos almacenados a temperatura ambiente o por 5, 10 y 15 días a 12 °C, solo se detectaron escasas diferencias en los tratamientos, sugiriendo escaso efecto del 1-MCP en la actividad antioxidante en la ciruela 'Amarilla'.

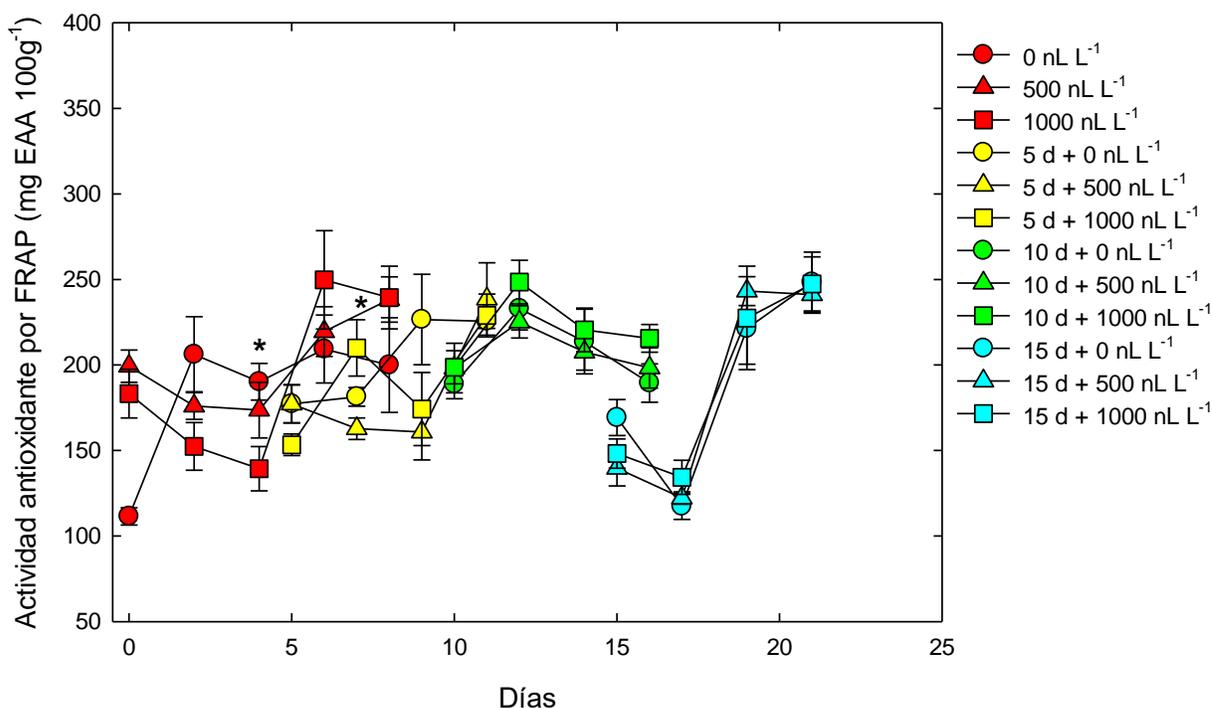


Figura 60. Actividad Antioxidante por FRAP en frutos de ciruela mexicana 'Amarilla' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP, (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)). Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5 'Cuernavaqueña'

5.5.1 Pérdida de peso

En las dos evaluaciones (septiembre y octubre) la pérdida de peso promedio diaria fue entre 1.9 y 2.4 %, pero la pérdida de peso acumulada en 5 a 6 días de maduración fue entre 11.5 a 14.8 %, con una pérdida de peso ligeramente mayor en octubre en las evaluaciones a temperatura ambiente (Figura 61). Sin embargo, el análisis de varianza solo detectó diferencias en los frutos almacenados por 5 días a 12 °C en septiembre, pero no fue consistente en los demás periodos de almacenamiento (Figura 61). En general se puede sugerir que la aplicación de 1-MCP no afectó la pérdida de peso en la ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' (Figura 61).

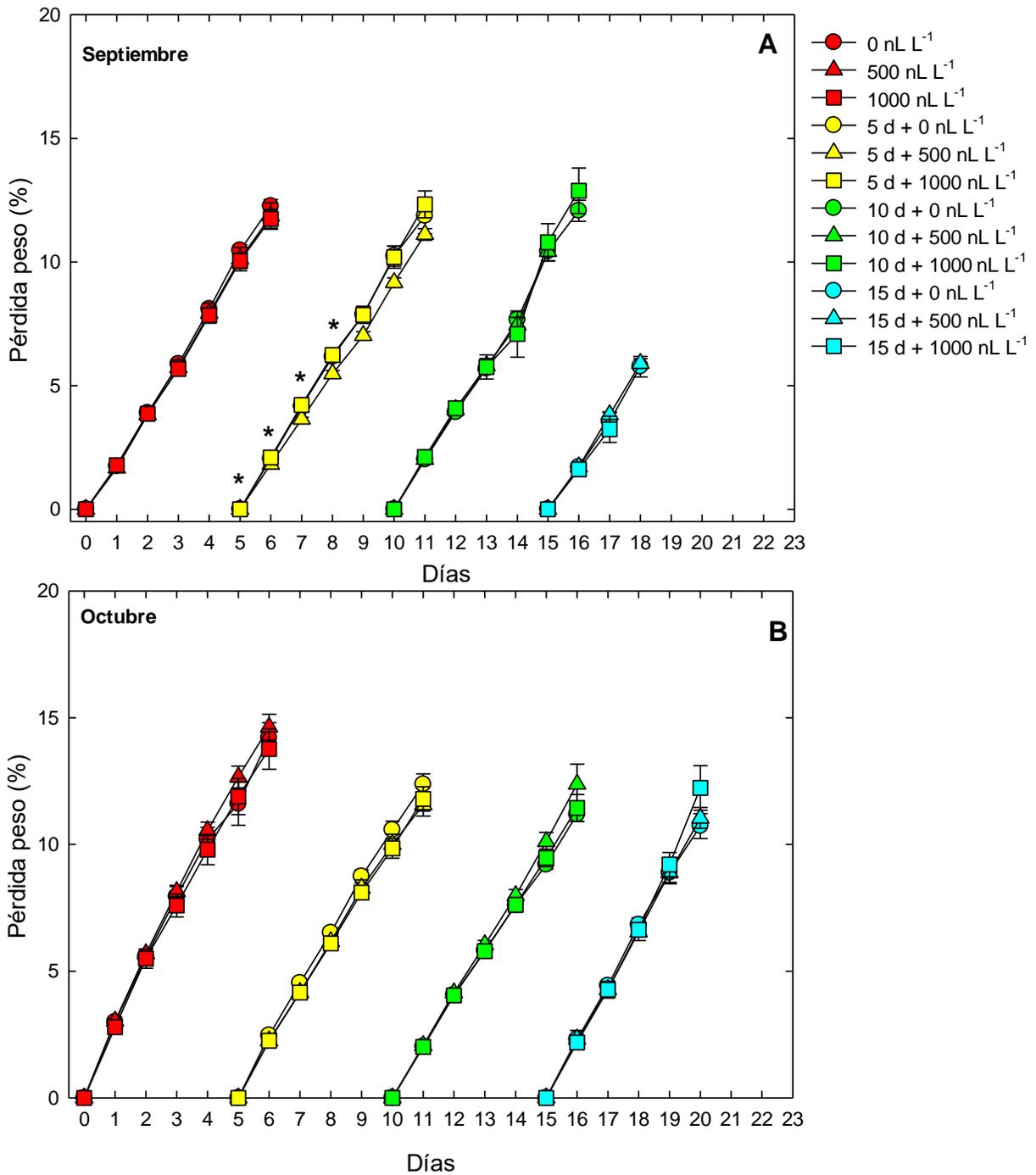


Figura 61. Pérdida de peso en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.2 Parámetros de color: L*, C* y h

La luminosidad de los frutos de ciruela ‘Cuernavaqueña’ se incrementó durante la maduración en las dos épocas de cosecha, septiembre y octubre (Figura 62 A). En septiembre no se detectaron diferencias significativas entre los frutos donde se aplicó el 1-MCP, comparado con los frutos donde no se aplicó (Figura 62 A). En octubre se observó que la aplicación de 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ retrasó significativamente el incremento de la luminosidad, con mayor evidencia en los frutos almacenados a temperatura ambiente, o refrigerados por 5 y 15 días (Figura 62 B).

La cromaticidad se incrementó durante la maduración de los frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’, en septiembre los frutos almacenados a temperatura ambiente donde se aplicó 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ mostraron mayor pureza de color, pero esto no se repitió en los frutos almacenados a baja temperatura por 5, 10 y 15 días (Figura 63 A). En octubre solo se detectaron diferencias en los frutos almacenados por 5 d a 12 °C, donde la aplicación de 1000 nL L⁻¹ retrasó significativamente el incremento de la pureza del color (Figura 63 B).

Finalmente, el ángulo de matiz de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ cambió de un color verde (h= 82-90) a amarillo con tendencia al naranja (h= 65.8). En septiembre los frutos almacenados por 10 días a 12 °C y con aplicación de 1-MCP retrasaron significativamente el desarrollo del color (Figura 64 A), mientras que en los frutos de octubre esto se observó en los frutos almacenados a temperatura ambiente y en los frutos almacenados por 10 d a 12 °C, y no fue tan evidente en los frutos almacenados por 5 y 15 días (Figura 64 B).

Los resultados sugieren cierto efecto retardante del 1-MCP en el desarrollo de los parámetros de color de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’.

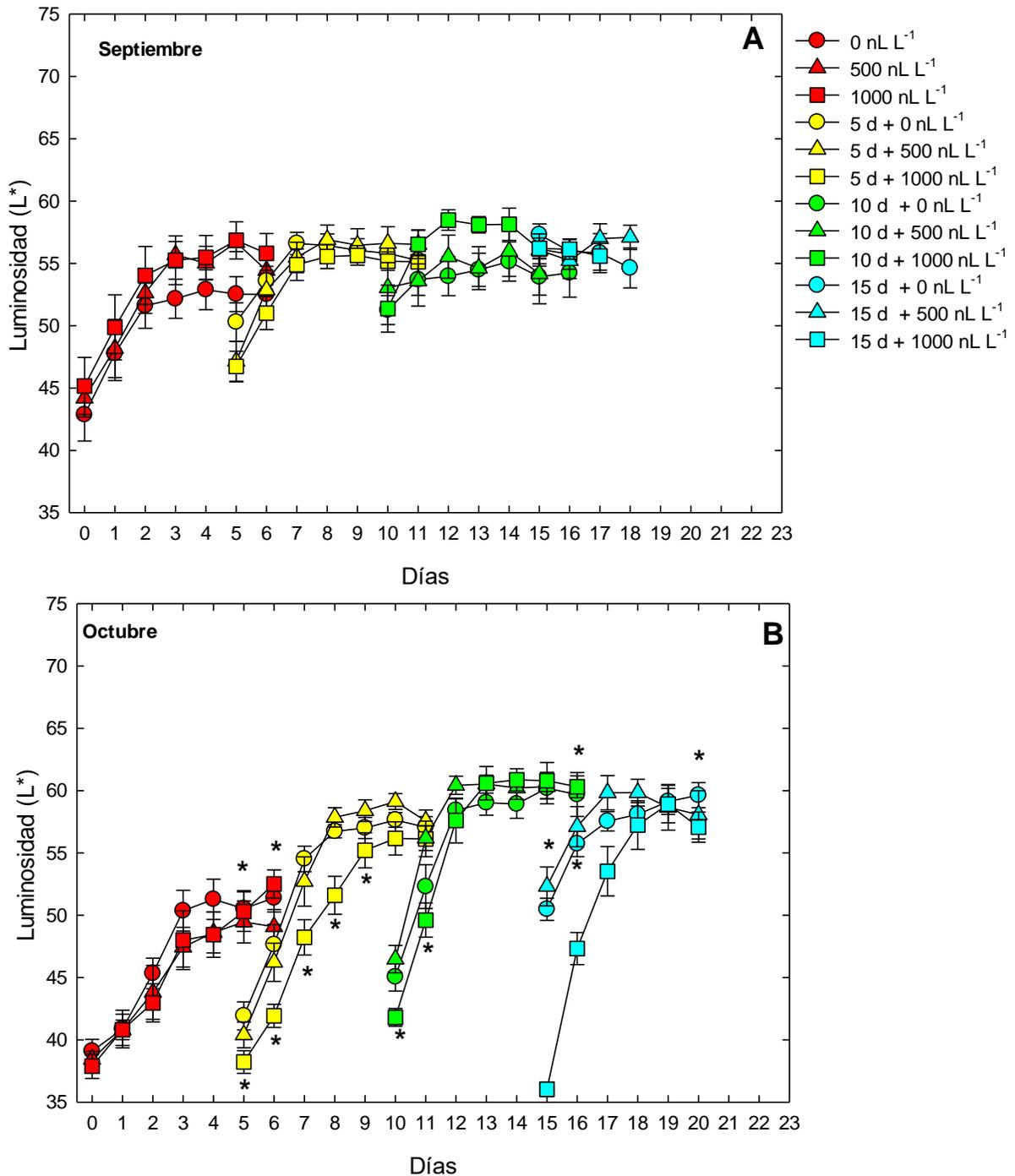


Figura 62. Luminosidad en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

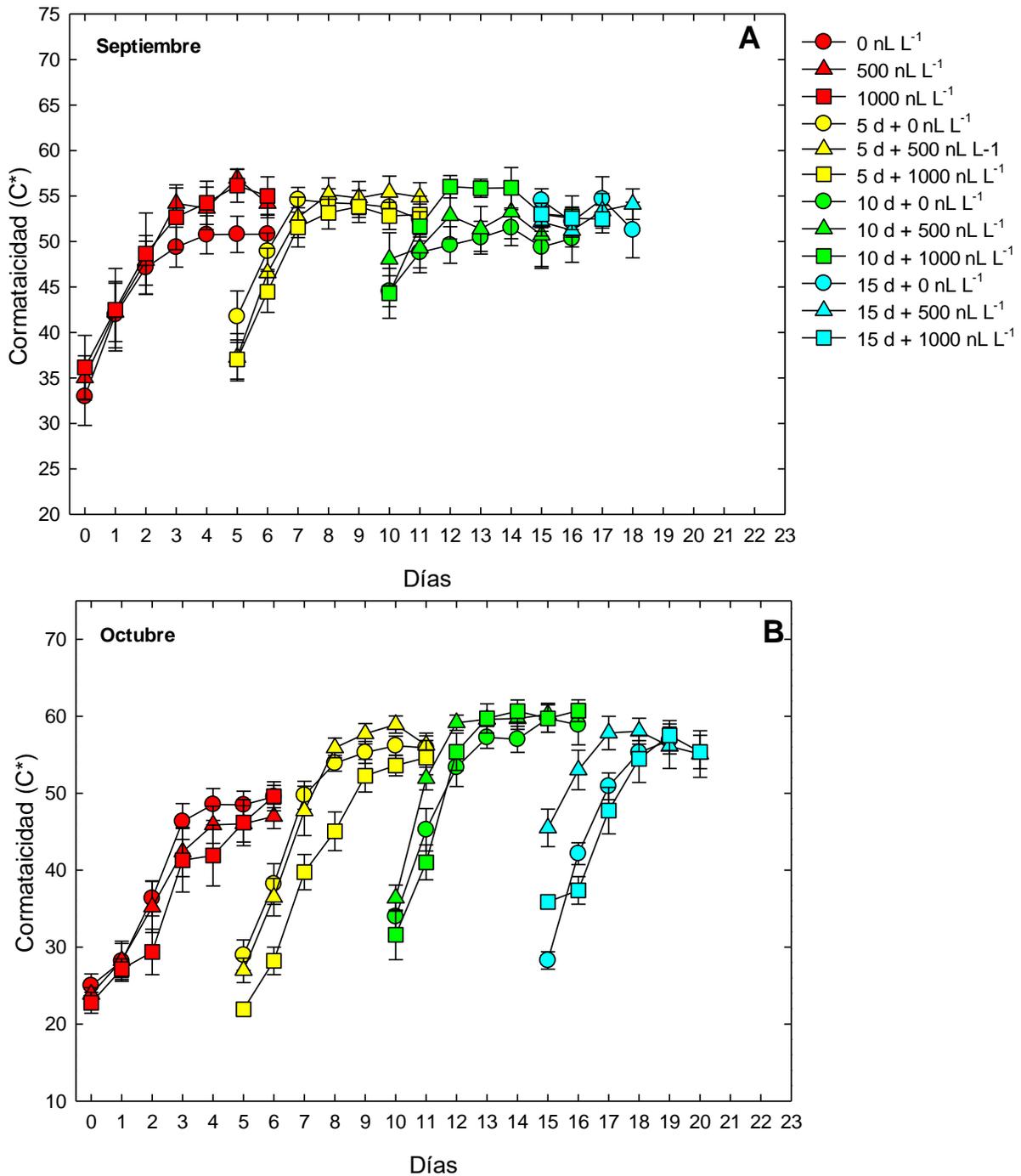


Figura 63. Cromaticidad en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

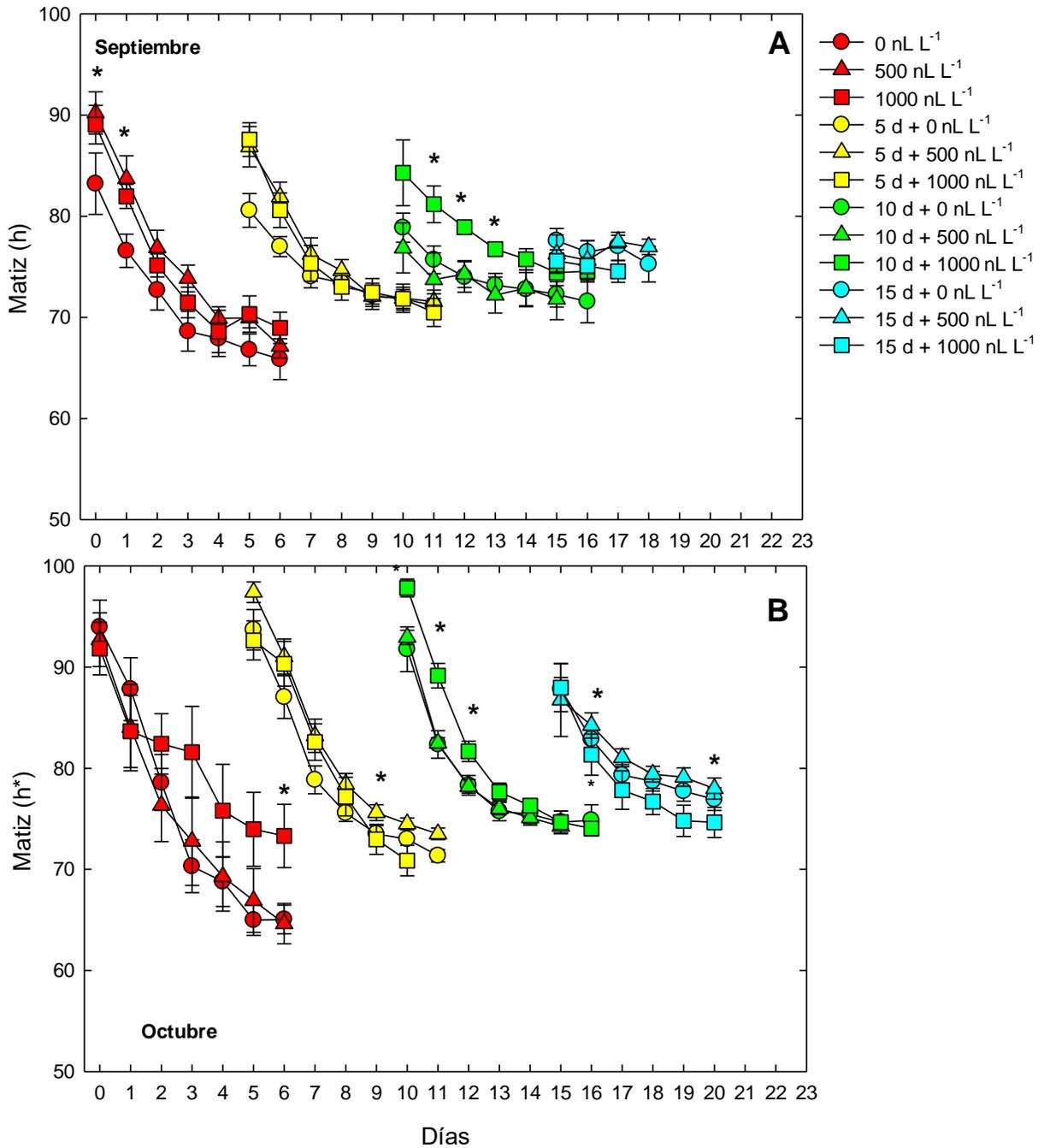


Figura 64. Cambios de matiz en epidermis de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.3 Respiración

La respiración de los frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' de septiembre donde no se aplicó 1-MCP y se mantuvieron almacenados a temperatura ambiente mostraron pocos cambios, manteniéndose entre 1.6 y 2.0 mL kg⁻¹h⁻¹, solo en los frutos donde se aplicó el 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹, la respiración disminuyó hasta 0.6 mL kg⁻¹h⁻¹ (Figura 65 A). En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C se observó el comportamiento climatérico, donde los frutos sin aplicación de 1-MCP alcanzaron el pico climatérico (4.5 mL kg⁻¹h⁻¹) a los 5 días de salir del almacenamiento, los frutos donde se aplicó 500 y 1000 nL L⁻¹ alcanzaron su pico climatérico al quinto día, pero en menor intensidad (2.8 y 3.6 mL kg⁻¹h⁻¹) (Figura 65 A). El comportamiento climatérico se observó con mayor intensidad en los frutos almacenados por 10 días a 12 °C alcanzaron su pico climatérico a los 4-5 días después de salir del almacenamiento, con valores entre 5.6 y 7.5 mL kg⁻¹h⁻¹ (Figura 65 A). Finalmente, los frutos almacenados por 15 días, la respiración fue similar en los frutos con y sin aplicación de 1-MCP con valores entre 3.3 y 6.6 mL kg⁻¹h⁻¹ (Figura 65 A). Lo anterior sugiere que el almacenamiento a baja temperatura ocasionó un incremento en la respiración de los frutos de septiembre, el 1-MCP solo tuvo cierto efecto en los frutos almacenados a temperatura ambiente y por 5 días a 12 °C.

En los frutos de octubre la respiración se incrementó durante la maduración de los frutos almacenados a temperatura ambiente de 0.5-0.9 mL kg⁻¹h⁻¹ al inicio de la evaluación a entre 3.0 y 3.6 mL kg⁻¹h⁻¹ después de 6 días, sin detectarse diferencias por la aplicación o no del 1-MCP (Figura 65 B). En los frutos almacenados por 5 días a 12 °C se observó menor respiración en los frutos donde se aplicó 1-MCP y retraso en alcanzar el máximo climatérico en 1 día (Figura 65 B). En los frutos almacenados por 10 días a 12 °C y con aplicación de 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP la respiración fue mayor, comparado con los frutos donde se aplicó 0 ó 500 nL L⁻¹(Figura 65 B). En los frutos almacenados a 12 °C por 15 días, los frutos donde se aplicó 500 ó 1000 nL L⁻¹ se detectó mayor respiración que los frutos sin aplicación de 1-MCP (Figura 65 B). Los resultados sugieren que la respiración es afectada por la temperatura a 12 °C y que la aplicación de 1-MCP incrementa dicho proceso metabólico.

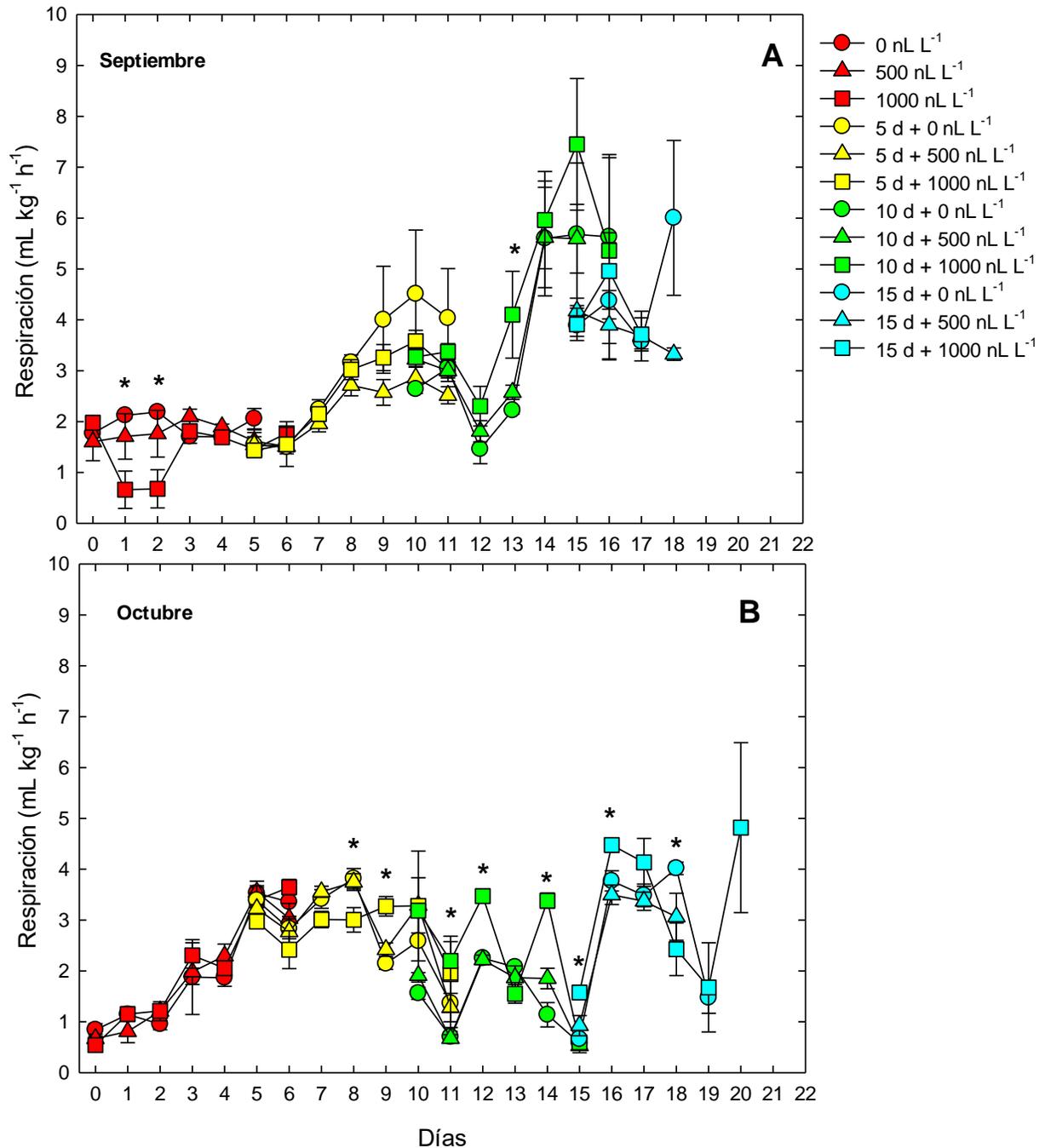


Figura 65. Respiración de frutos de ciruela mexicana ‘Cuemavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.4 Etileno

En septiembre los frutos donde se aplicó 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ mostraron disminución en la producción de etileno (Figura 66 A). En los frutos almacenados a temperatura ambiente el pico climatérico se alcanzó a los 3 días, en tanto que los frutos donde se aplicó 1-MCP en 500 o 1000 nL L⁻¹ el máximo climatérico se alcanzó a los 4 días y con menor intensidad (Figura 66 A). Similar comportamiento se observó en los frutos almacenados por 5, 10 y 15 días a 12 °C donde la aplicación de 1-MCP disminuyó y retrasó la aparición del pico climatérico de etileno (Figura 66 A).

En octubre los frutos donde se aplicó el 1-MCP mostró valores menores de producción de etileno, tanto en los frutos almacenados a temperatura ambiente como los frutos almacenados a 5, 10 y 15 días por 12 °C (Figura 66 B). Esto indica que la aplicación de 1-MCP disminuyó la producción de etileno y ayudo a retrasar la maduración.

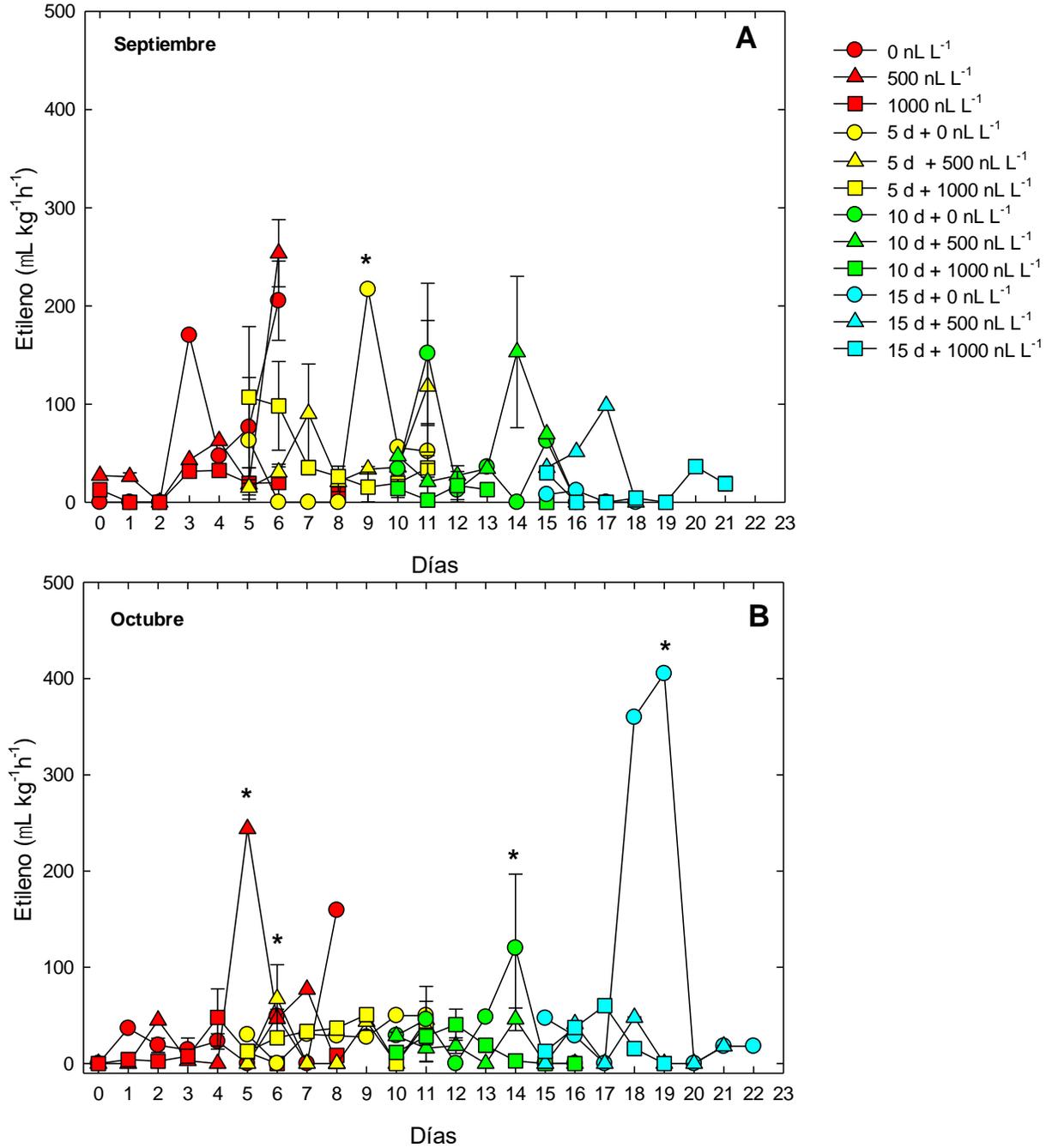


Figura 66. Producción de etileno en frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L^{-1} , (▲) y 1000 nL L^{-1} (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 10 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.5 Firmeza

En ambos experimentos realizados en septiembre (A) y octubre (B), la firmeza disminuyó durante la maduración de valores entre 20 y 24 N hasta entre 4 y 10 N después de 4 a 6 días (Figura 67). En ambos experimentos la firmeza se retrasó con la aplicación del 1-MCP con mayor evidencia en los frutos donde se aplicó la dosis de 1000 nL L⁻¹ y la respuesta fue similar ya sea en los frutos almacenados a temperatura ambiente como en los frutos con refrigeración a 12 °C por 5, 10 y 15 días (Figura 67). Estos resultados indican que la dosis de 1000 nL L⁻¹ es la más efectiva en retrasar la pérdida de firmeza en ciruela mexicana 'Cuernavaqueña'.

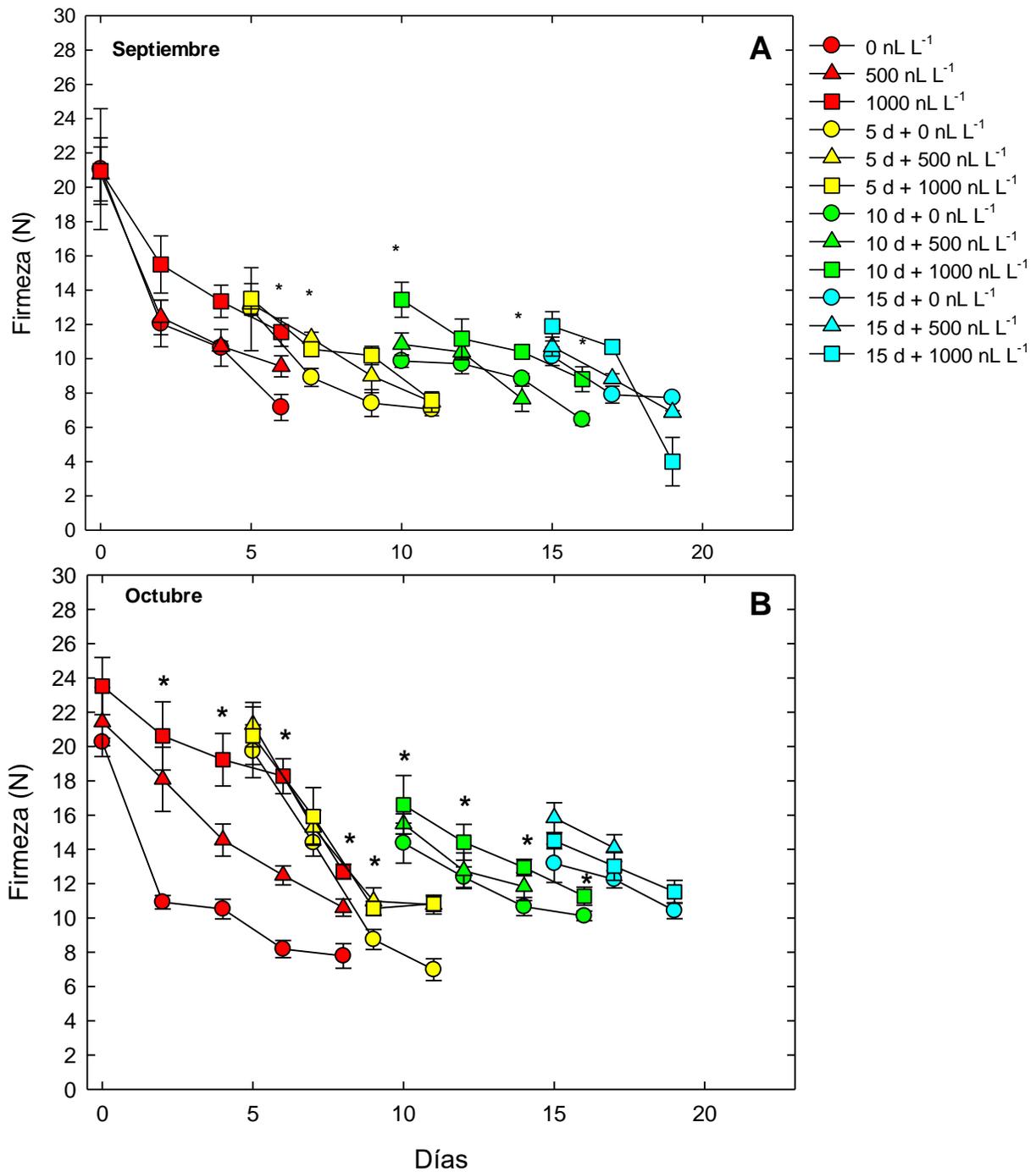


Figura 67. Firmeza en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.6 Sólidos solubles totales (°Brix)

Durante la maduración de la ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada a temperatura ambiente y sin aplicación de 1-MCP los sólidos solubles totales se incrementaron de valores iniciales de entre 16.9 y 18.8 °Brix hasta 23 °Brix en septiembre y de entre 12.5 y 13.4 °Brix hasta 24.9 °Brix en octubre (Figura 68). La aplicación de 1-MCP en dosis de 500 o 1000 nL L⁻¹ retrasó y disminuyó la acumulación de los sólidos solubles totales con mayor evidencia en los frutos almacenados a temperatura ambiente en septiembre y octubre y aquellos almacenados por 5 y 10 días en octubre y por 15 d en septiembre (Figura 68). Estos resultados sugieren que el 1-MCP afecta el metabolismo de acumulación de los sólidos solubles totales.

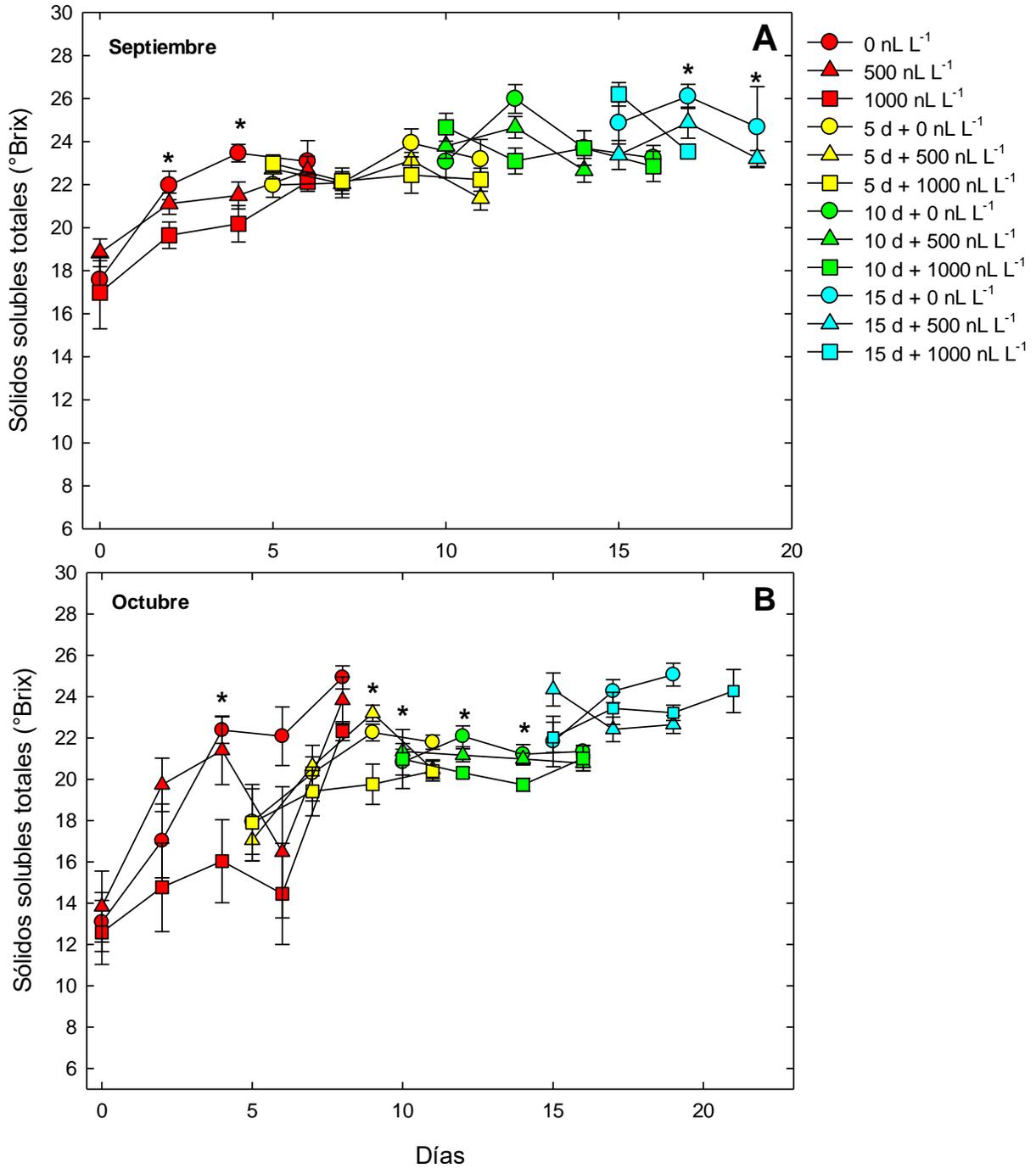


Figura 68. Sólidos solubles totales en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.7 Acidez titulable (%)

La acidez titulable durante la maduración de la ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' disminuyó de valores 0.33 a 0.27 % en septiembre, mientras que en octubre disminuyó de 0.37 a 0.31 % en los frutos almacenados a temperatura ambiente y sin aplicación de 1-MCP. Similar comportamiento se observó en los frutos donde se aplicó 1-MCP, detectándose pocas diferencias significativas (Figura 69). Del mismo modo, no se detectó un efecto en la acidez titulable por la aplicación de 1-MCP en los frutos almacenados a baja temperatura, tanto en septiembre como en octubre (Figura 69).

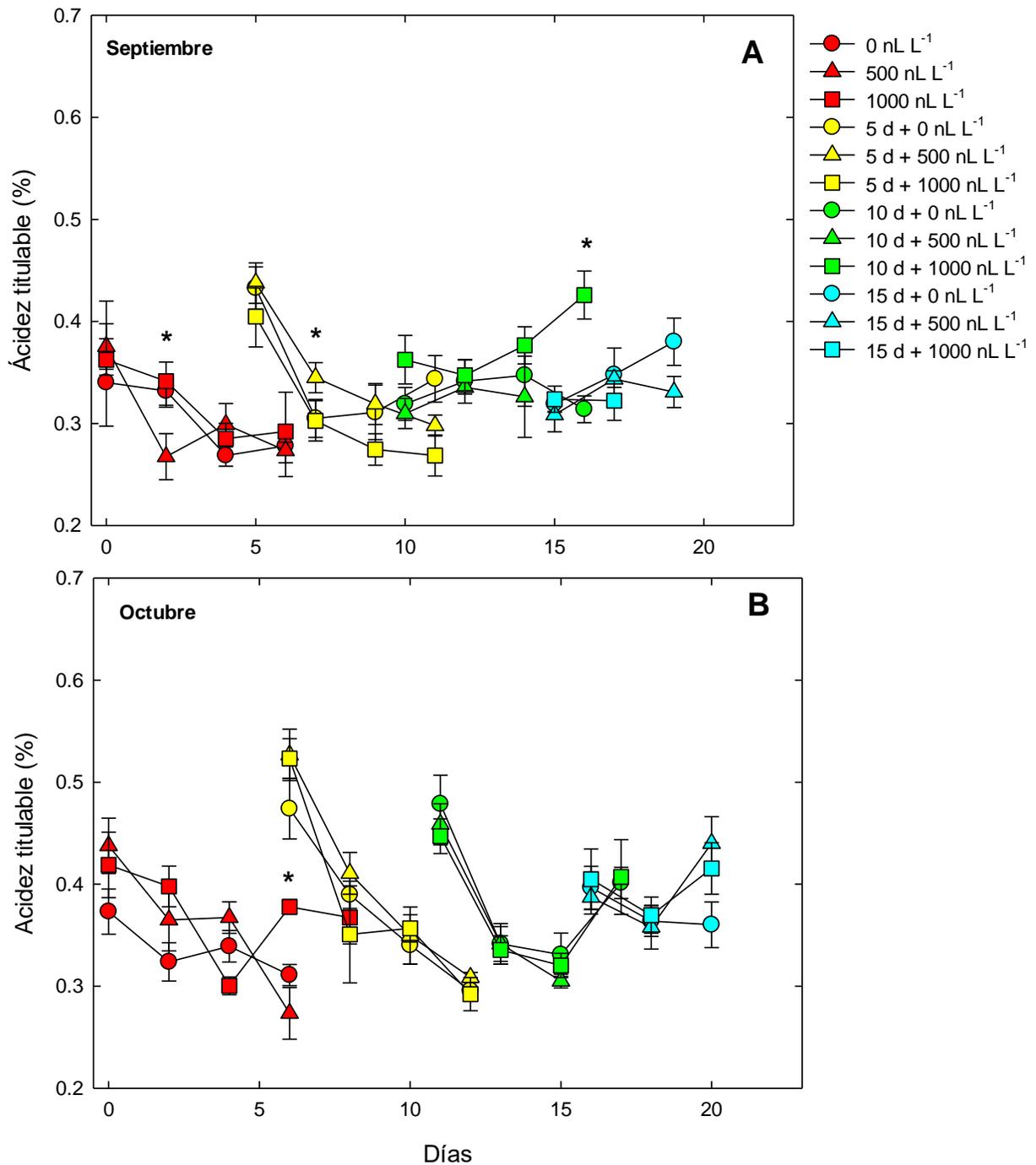


Figura 69. Acidez titulable en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.8 Índice de sabor

El índice de sabor se incrementó durante la maduración de la ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' de 56.8 a 84.2 en septiembre y de 35.5 a 71.6 en octubre en los frutos donde no se aplicó 1-MCP y estuvieron almacenados a temperatura ambiente (Figura 70). La aplicación de 1-MCP retrasó el incremento del índice de sabor, esto fue evidente en los frutos donde se aplicó 1000 nL L⁻¹ en el mes de septiembre y octubre de los frutos almacenados a temperatura ambiente y en refrigeración por 5 y 10 días a 12 °C en el mes de septiembre, ya que en octubre el efecto en los frutos bajo refrigeración no se observó claramente (Figura 70).

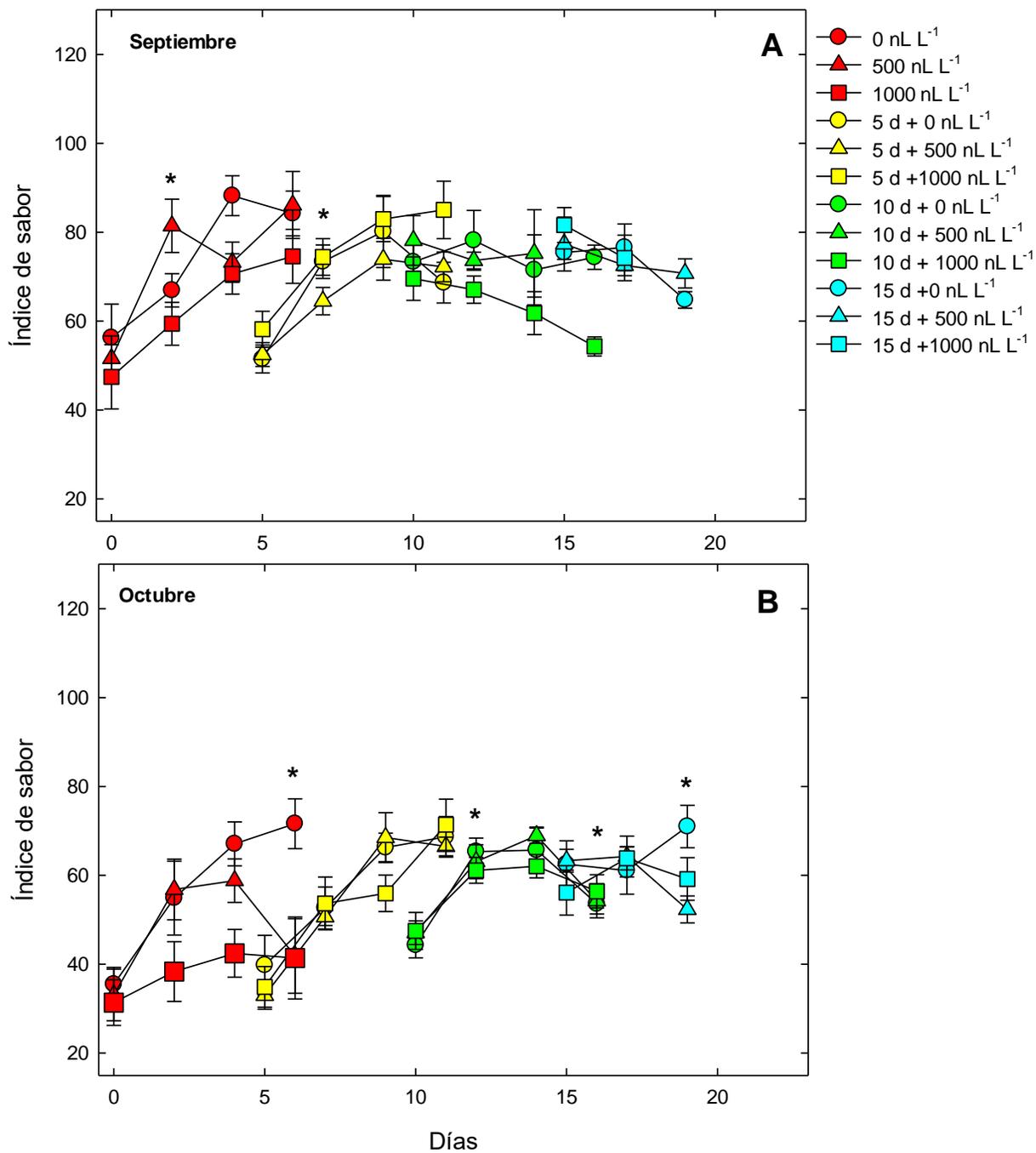


Figura 70. Índice de sabor en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.9 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos en los frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada a temperatura ambiente y sin aplicación de 1-MCP, mostró disminución en septiembre con 165.4 al inicio y 149.0 al sexto día de evaluación esta misma tendencia se observó en frutos después de 5 y 10 días a 12°C, mientras que, en los frutos evaluados en octubre los compuestos fenólicos fueron incrementando durante la maduración tanto a temperatura ambiente como después de 5 y 10 días a baja temperatura (Figura 71). Esto se atribuye a que la etapa de maduración de los frutos fue más avanzada en septiembre que en octubre. En septiembre no se detectaron diferencias consistentes entre los frutos donde se aplicó 1-MCP y aquellos donde no se aplicó el 1-MCP (Figura 71 A). En octubre tampoco se detectaron diferencias debidas a la aplicación o no de 1-MCP y la refrigeración a 12 °C, lo que sugiere poco efecto en el metabolismo de los fenoles por el 1-MCP.

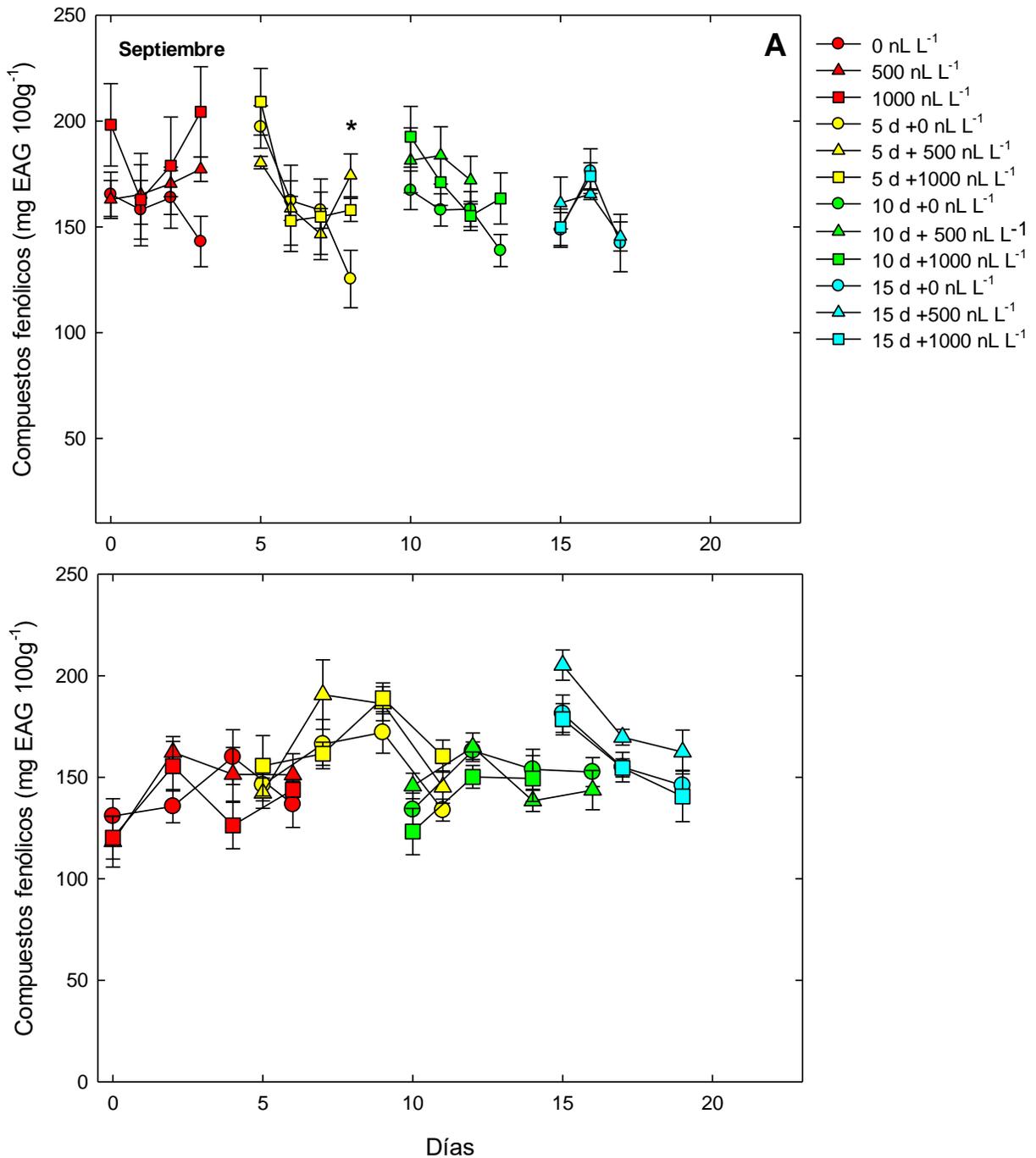


Figura 71. Compuestos fenólicos en frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.10 Flavonoides

Los flavonoides se incrementaron durante la maduración de los frutos sin aplicación de 1-MCP almacenados a temperatura ambiente durante septiembre con valores de 49.0 -58.6 al inicio de la evaluación hasta 53.8 – 65.7 en el día 8 (Figura 72 A). En los frutos almacenados a baja temperatura por 5, 10 y 15 días se observó una variación de incremento y disminución de los flavonoides, pero sin una tendencia clara, es decir no se observó efecto por la aplicación del 1-MCP (Figura 72 A).

En octubre los flavonoides disminuyeron durante la maduración, no se observó efecto de la aplicación de 1-MCP y el almacenamiento a baja temperatura (Figura 72 B)

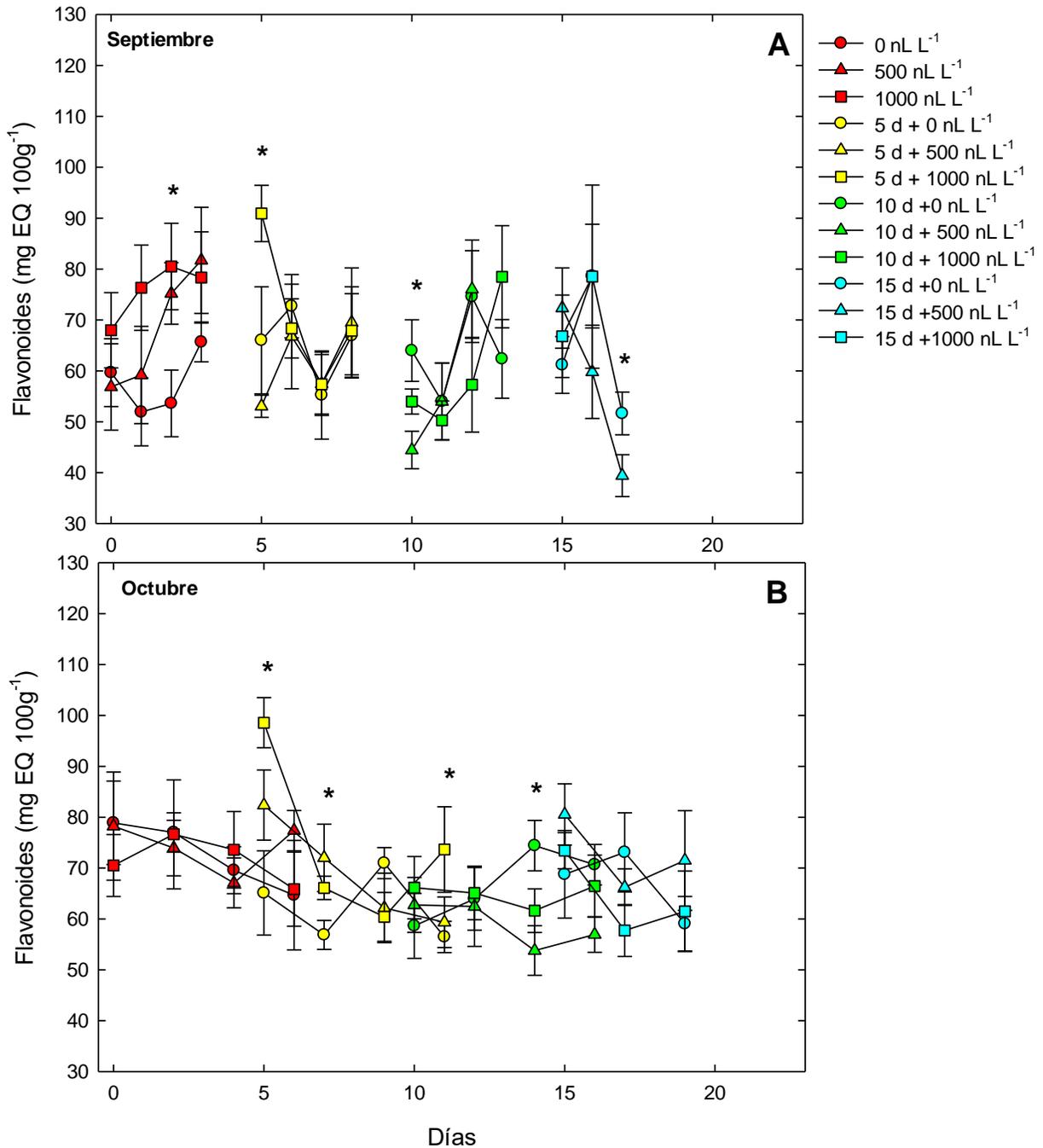


Figura 72. Flavonoides en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.11 Actividad antioxidante por DPPH

La actividad antioxidante evaluada por el método de DPPH se incrementó y posteriormente disminuyó durante la maduración de la ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' (Figura 73). No se observó efecto por la aplicación de 1-MCP y la refrigeración en ambos meses de evaluación (Figura 73).

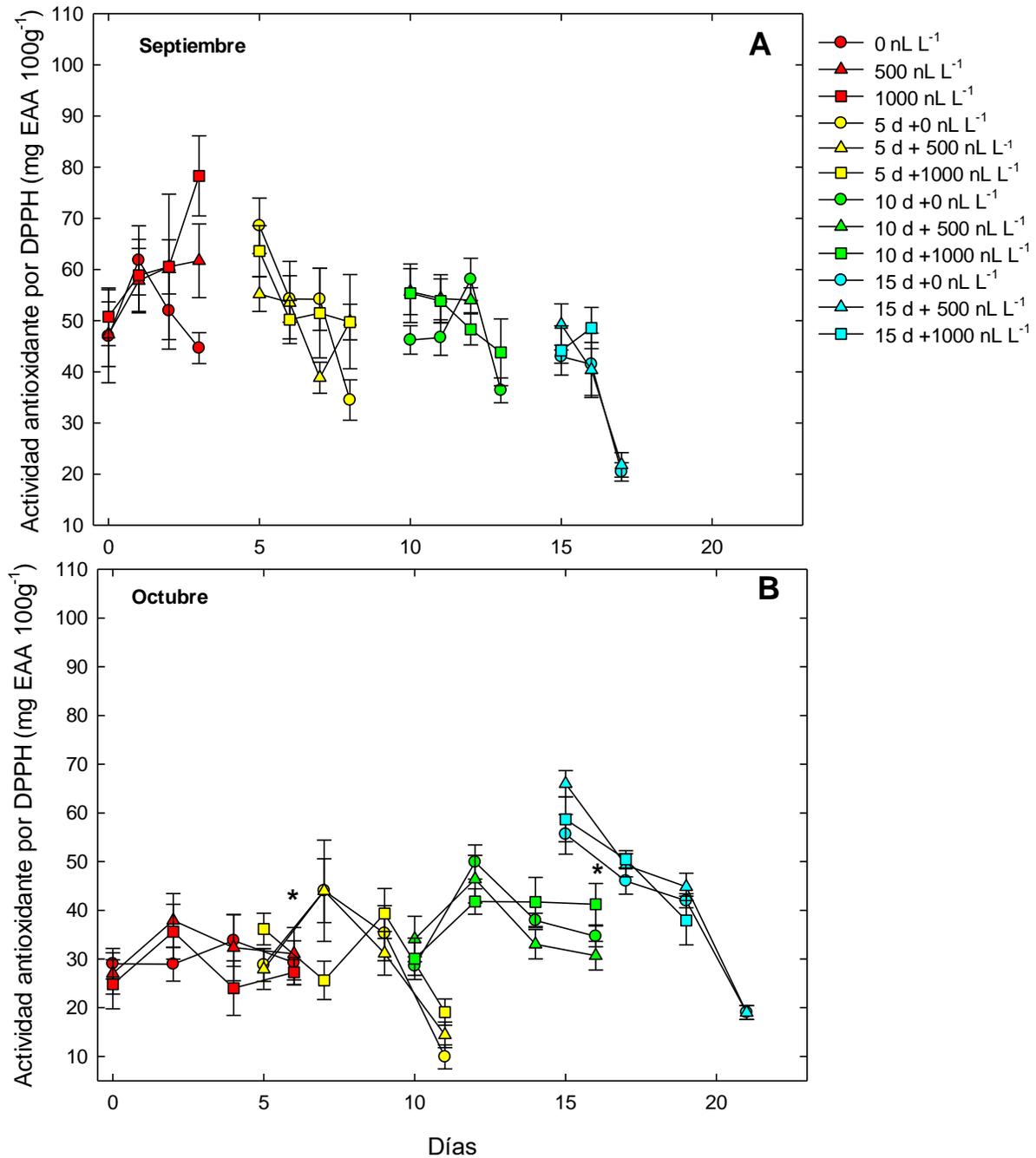


Figura 73. Actividad antioxidante evaluada por el método de DPPH en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.12 Actividad antioxidante por ABTS

La actividad antioxidante por el método de ABTS alcanzó un máximo durante la maduración y después disminuyó; este comportamiento se observó en todos los frutos donde se aplicó o no el 1-MCP, y fue independiente del almacenamiento a baja temperatura por 5, 10 ó 15 días (Figura 74). Se detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados en octubre, sin embargo, no fue claro el efecto del 1-MCP en la actividad antioxidante evaluada por ABTS, ya que en algunos tratamientos la aplicación de 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ retrasó significativamente el máximo de la actividad antioxidante, sin embargo, no fue constante (Figura 74 B).

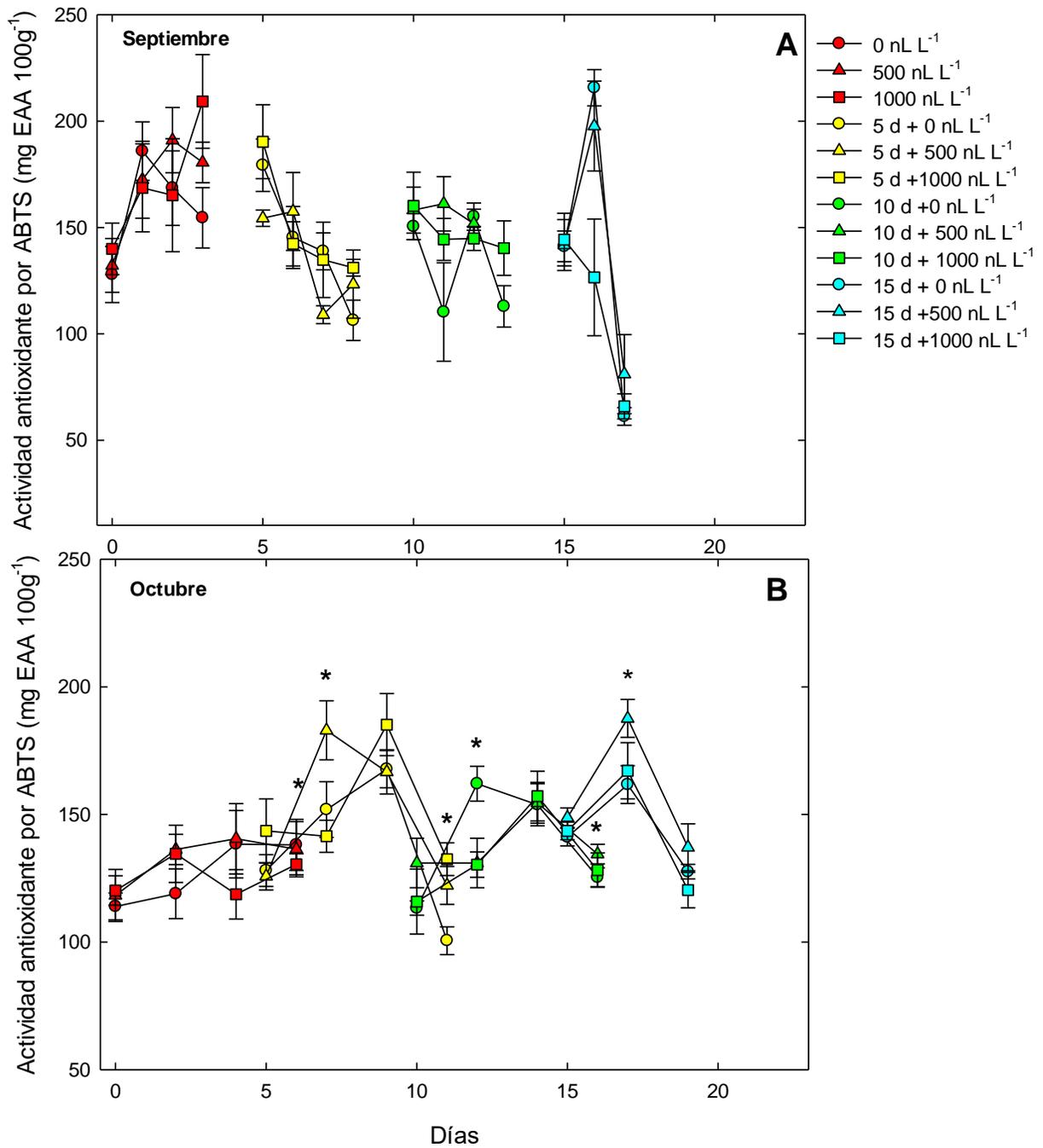


Figura 74. Actividad antioxidante por ABTS en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

5.5.13 Actividad antioxidante por FRAP

La actividad antioxidante por el método de FRAP tuvo valores menores en los frutos evaluados en septiembre y una concentración mayor en octubre, los valores más altos se obtuvieron al segundo día a temperatura ambiente con 45.8, 42.1 y 43.1 para los frutos con 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ 1-MCP respectivamente, pero sin diferencias significativas (Figura 75 A). En los frutos evaluados después de 5, 10 y 15 días a baja temperatura la concentración en la actividad antioxidante fue disminuyendo durante la maduración sin registrarse diferencias significativas entre tratamientos (Figura 75 A).

En los frutos evaluados en octubre tampoco se presentaron diferencias entre tratamientos los primeros 6 días de evaluación, sino hasta el octavo día en el que los frutos con tratamiento de 500 nL L⁻¹ de 1-MCP presentaron mayor concentración (86.4) que los de 0 y 500 nL L⁻¹ de 1-MCP con 67.6 y 67.8 respectivamente (Figura 75 B). En las evaluaciones después de 5, 10 y 15 días a 12 °C los valores aumentaron de 102.8 -110.9 hasta entre 157.1-175.1 durante estos periodos de evaluación (Figura 75 B), presentándose diferencias entre tratamientos únicamente al sexto y segundo día después de 10 y 15 días a 12 °C.

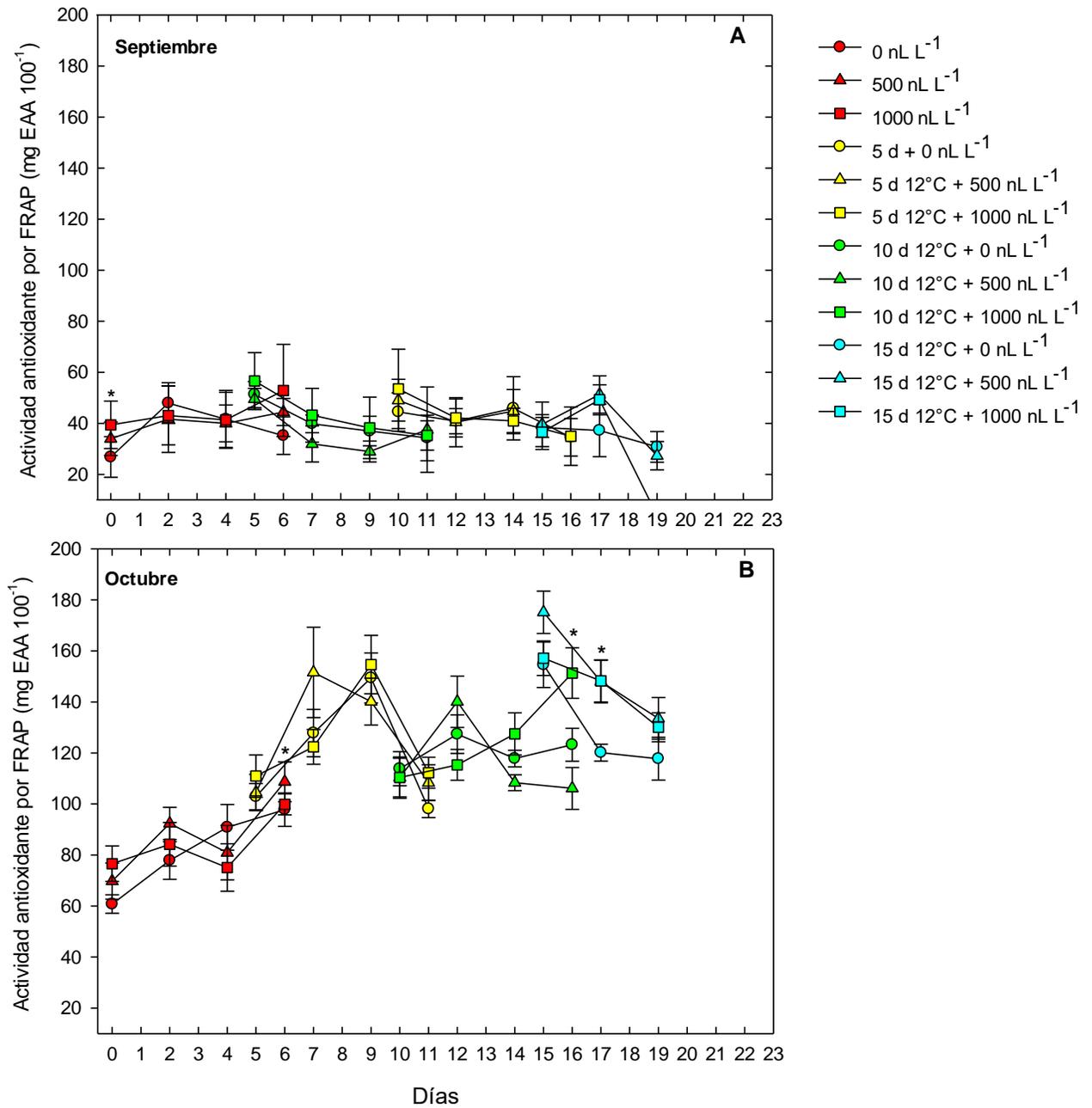


Figura 75. Actividad antioxidante por FRAP en frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada por varios periodos a 12 °C con y sin aplicación de 1-MCP; (Testigo (●), 500 nL L⁻¹, (▲) y 1000 nL L⁻¹ (■)) en septiembre (A) y octubre (B) de 2022. Cada punto representa la media de 6 observaciones, (*) para < 0.05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

6. DISCUSIÓN

6.1 Pérdida de peso

En los cinco ecotipos evaluados de ciruela mexicana; 'Roja', 'Morada', 'Costeña', 'Amarilla' y 'Cuernavaqueña' la pérdida de peso no mostró efecto significativo por la aplicación de 1-MCP y por la refrigeración a 12 °C durante 5, 10 ó 15 d de almacenamiento. Sin embargo, el porcentaje de menor de pérdida de peso fue en ciruela 'Costeña' que tuvo valores de 7.6, 7.1 y 8.2 % para los tratamientos de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente en evaluación a temperatura ambiente (26.7 ± 0.98 °C; 43.05 ± 6.50 % HR), mientras que, 'Roja' presentó el porcentaje mayor de pérdida de peso con 31.9, 27.8 y 29.1 % en los tratamientos de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente, también evaluado a temperatura ambiente (26.08 ± 0.98 °C; 49.04 ± 7.74 % HR), por un periodo de 6-8 d. En los frutos evaluados después de 5, 10 y 15 d a 12 °C la pérdida de peso también fue menor en ciruela 'Costeña', mientras que 'Roja' mostró el mayor porcentaje de pérdida. En el presente estudio se confirma que el ecotipo 'Costeña' tiene una capacidad de menor pérdida de peso o agua durante el almacenamiento poscosecha alcanzando entre 5 y 10 % después de 4 d (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2023), aspecto que es importante estudiar.

Osuna *et al.* (2011) reportaron que el 1-MCP retrasó la pérdida de peso en ciruela 'Amarilla' en estado de madurez sazón (verde con ligeras venas amarillas) al aplicar 300 nL L⁻¹, mientras que en $\frac{3}{4}$ de madurez (75 % de color amarillo de la epidermis) no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (100, 200 y 300 nL L⁻¹ de 1-MCP) y el testigo (0 nL L⁻¹), sugiriendo que la etapa de maduración tiene efecto sobre la efectividad de aplicación del 1-MCP. Satekge y Samukelo (2022) han reportado que en los frutos climatéricos con madurez avanzada (maduración $\frac{1}{2}$ ó $\frac{3}{4}$) los efectos del 1-MCP son menos evidentes. En otras especies de *Spondias*, Guimaraes *et al.* (2017) reportan que la aplicación de 1-MCP no afectó significativamente la pérdida de peso al final del periodo de evaluación en cajaranas (*Spondias cytherea*) en concentraciones de 500, 10000 y 15000 nL L⁻¹ de 1-MCP.

6.2 Color L*, C* y h

El parámetro del color se retrasó con la aplicación de 1-MCP (500 y 1000 nL L⁻¹) en los ecotipos de ciruela mexicana; 'Roja', 'Morada' y 'Amarilla' tanto a temperatura ambiente como después de salir de almacenamiento por 5, 10 y 15 d en refrigeración a 12 °C. Mientras que en la ciruela mexicana 'Costeña' y 'Cuernavaqueña' solo el tratamiento de 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP disminuyó la velocidad de avance en el ángulo de matiz en ciruela, en particular en 'Cuernavaqueña' el efecto se observó a temperatura ambiente y después de 5 y 10 d de almacenamiento a 12 °C.

Osuna et al. (2011) reportaron que el 1-MCP retrasó el desarrollo del color externo en ciruela 'Amarilla' en estado sazona y $\frac{3}{4}$ de madurez hasta por 3 d, lo que coincide con el presente trabajo donde el desarrollo del color se retrasó de 2 a 3 d en dependencia de la variedad. De acuerdo con Blankenship y Dole (2003) y Watkins (2006) la pérdida de verdor en la mayoría de los productos hortícolas es inhibida o retrasada por el 1-MCP. Sin embargo, aún no se conoce en detalle el modo de acción de los mecanismos para retrasar la degradación de la clorofila por el 1-MCP, es decir se conoce el efecto en el color externo del fruto, pero no se ha incluido en los trabajos la degradación de clorofila y el metabolismo de los pigmentos (Satekge y Magwaza, 2022).

6.3 Respiración

En los ecotipos 'Roja', 'Costeña' y 'Cuernavaqueña' la velocidad de respiración fue menor por la aplicación de 1-MCP, después de 5 y 10 d de almacenamiento a 12 °C. En el ecotipo 'Roja' con valores 7.4, 5.1 y 5.7 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y 5.0, 4.4 y 3.2 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en los frutos testigo, con 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente, en 'Costeña' a temperatura ambiente (26.7 ± 0.98 °C; 43.05 ± 6.50 % HR) y después de refrigeración por 5, 10 y 15 días a 12 °C, en ecotipo 'Cuernavaqueña' la dosis de 1000 nL L⁻¹ retrasó la velocidad de respiración a temperatura ambiente (22.56 ± 1.19 °C; 73.29 ± 6.26 % HR) y después de 10 y 15 días en almacenamiento a baja temperatura. En los ecotipos 'Morada' y 'Amarilla' la aplicación de 1-MCP en las dos dosis aplicadas no presentaron diferencias significativas en la tasa de respiración tanto

a temperatura ambiente (26.2 ± 1.3 °C; 44.3 ± 6.4 % HR y 26.1 ± 0.98 °C; 49.04 ± 7.7 % HR) como después de salir de almacenamiento a baja temperatura (12 °C) por periodos de 5, 10 y 15 d.

Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden parcialmente con lo reportado por Osuna et al. (2011) quienes reportaron que la aplicación de 1-MCP redujo el pico climatérico en ciruela mexicana ‘Amarilla’ en cualquiera de las dosis aplicadas (100, 200 y 300 nL L⁻¹). Zhang et al. (2020) al realizar un metaanálisis de la información del efecto del 1-MCP en la maduración de frutos climatéricos, concluyen que la respiración es reducida hasta en 65 %. Sin embargo, se reporta que en chabacano (*Prunus armeniaca*) la respuesta de la aplicación de 1-MCP es variable, es decir en algunos reportes es suprimida y en otras no es afectada, y estos resultados se atribuyen a la madurez del fruto, la variedad o algún factor desconocido (Blankenship y Dole, 2003). Recientemente, Gamrasni et al. (2020) indican que la inhibición de la respiración probablemente se atribuya a la disminución de piruvato el principal metabolito del Ciclo de los Ácidos Tricarboxílicos, y por lo tanto los productos alternativos como alanina, se elevan; la alanina es capaz de regular los niveles de piruvato y afectar la velocidad de respiración.

La respuesta de la mayoría de los ecotipos de ciruela evaluados, sugiere que el 1-MCP afecta, ya sea disminuyéndola o retrasando el pico climatérico durante la maduración. La respiración es importante retrasarla ya que utiliza sustratos como azúcares y ácidos orgánicos que demeritan la calidad del producto, además de que se conoce una fuerte asociación entre la velocidad de respiración y la vida poscosecha de los productos.

6.4 Etileno

El principal efecto del 1-MCP es la competencia por los sitios de unión o receptores de del etileno, evitando o retrasando algunos procesos de la maduración asociados al etileno (Días et al., 2021). En las evaluaciones con los diferentes ecotipos el 1-MCP mostró efecto en la producción de etileno, ya que se redujo significativamente en ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tanto a temperatura ambiente como después de 5,

10 y 15 días a baja temperatura (12 °C) cuando se aplicó 1-MCP. En el ecotipo 'Amarilla' el efecto se observó cuando se aplicó la dosis de 1000 nL L⁻¹ a temperatura ambiente (26.08 ± 0.98 °C; 49.04 ± 7.74 % HR). En las ciruelas 'Roja', 'Morada' y 'Costeña' se observó que la aplicación de 1-MCP retrasó en 1 o hasta 3 d el máximo climatérico comparado con los frutos sin aplicación, y la dosis de 1000 nL L⁻¹ mostró mayor efecto. Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que el 1-MCP tuvo efecto en inhibir y retrasar el máximo climatérico de etileno.

Gamrasi et al. (2020) sugieren que la síntesis de etileno es afectada por la aplicación de 1-MCP debido a la disminución de los niveles de metionina, el principal precursor del etileno, sugieren también que la producción autocatalítica del etileno se encuentra asociada a la respiración climatérica, ya que se han encontrado en tomates con aplicación de 1-MCP la expresión reducida de *SIICDH1* (relacionada con la disminución de la respiración) y genes *HSD*, *CBL*, *ACS1a*, *ACS3*, *ACS8*, *ACO1* y *ACO2* (genes relacionados con la síntesis de etileno).

6.5 Firmeza

El 1- MCP retrasó significativamente el ablandamiento en la mayoría de los ecotipos evaluados; siendo más consistente en 'Roja', 'Costeña' y 'Amarilla' en donde mostró efecto en las dos dosis empleadas (500 y 1000 nL L⁻¹), tanto a temperatura ambiente como después de salir de almacenamiento por 5, 10 y 15 d a 12 °C, los valores que presentaron los frutos en los últimos días de evaluación a temperatura ambiente fueron 8.1, 12.6 y 12.7 N, 13.4, 17.5 N y 15.7, 3.4, 7.4 y 8.7 N en los ecotipos antes mencionados con tratamiento de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente. En ciruela 'Morada' y 'Costeña' el 1-MCP con dosis de 1000 nL L⁻¹ a temperatura ambiente (26.22 ± 1.34; 44.33 ± 6.41 % HR) y después de salir de almacenamiento a baja temperatura por 10 y 15 d, retrasó significativamente la pérdida de firmeza.

Osuna et al. (2011) reportaron que en ciruela mexicana 'Amarilla' la aplicación de 1-MCP en dosis de 100, 200 y 300 nL L⁻¹ retrasó el ablandamiento del fruto tanto en madurez sazón como tres cuartos hasta 3-4 d, comparado con los frutos testigo donde

no se aplicó el 1-MCP. Win et al. (2021) recientemente demostraron que la aplicación de 1-MCP retraso la despolimerización de pectina, se mantuvo el contenido de arabinosa y galactosa (la cual disminuye en el ablandamiento de los frutos), se redujo la actividad de cuatro enzimas: exo poligalacturonasa, pectinmetilesterasa, β -galactosidasa y α -L-arabinofuranosidasa que están asociadas con la degradación de pectinas y se disminuyó la expresión de genes relacionados con la degradación de pectinas (*MdPG1*, *MdPME1*, *Md β -GAL1*, *Md β -GAL1*, y *Md α -ARF2*) en dos variedades de manzana 'Hwagok' y 'Picnic'. En ciruela mexicana se deben realizar estos estudios para conocer a mayor detalle el efecto del 1-MCP en esta especie.

6.6 Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales fueron afectados en los cinco ecotipos evaluados, tanto a temperatura ambiente como después de salir de almacenamiento a baja temperatura por 5, 10 y 15 d. En ciruela mexicana 'Roja' se registró una disminución en SST a partir del día 4 de evaluación a temperatura ambiente (25.38 ± 1.32 °C; 47.65 ± 5.99 % HR) y al sexto día después de salir de almacenamiento por 5 d con valores de 17.5, 16.4 y 15.4 °Brix para los tratamientos de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente, después de 10 y 15 días no se mostraron diferencias entre tratamientos. En ciruela 'Morada' el tratamiento con 1-MCP en dosis de 1000 nL L⁻¹ a temperatura ambiente y después de 5, 10 y 15 días a baja temperatura, retrasó la acumulación de los SST.

En ciruela 'Costeña' la concentración de SST se vio afectada únicamente por el 1-MCP en dosis de 500 nL L⁻¹ a temperatura ambiente (26.7 ± 0.92 °C; 43.05 ± 6.50 % HR) con valores menores que el resto de los tratamientos y sin efecto en frutos evaluados después del almacenamiento a 12 °C por 5, 10 y 15 días. Los frutos de ciruela mexicana 'Amarilla' no presentaron efecto durante los primeros 6 días de evaluación a temperatura ambiente, sino hasta el octavo día en el que los valores fueron mayores en frutos testigo con 20.05 °Brix, 18.45 y 17.83 °Brix para los tratamientos de 500 y 1000 nL L⁻¹ respectivamente, similar tendencia se presentó en frutos evaluados después de salir de almacenamiento por 5 y 15 días a 12 °C.

En la mayoría de los ecotipos evaluados se logró observar efecto en los tratamientos con 1-MCP con una disminución en la concentración de SST tanto a temperatura ambiente y después de 5, 10 ó 15 días y retrasó en alcanzar los máximos de acumulación comparado con el testigo. Osuna et al., (2011) señalaron que el 1-MCP no afectó el desarrollo de los SST de las tres dosis utilizadas (100, 200 y 300 nL L⁻¹) en ciruela 'Amarilla' en estado de madurez sazona y $\frac{3}{4}$, un efecto contrastante con los resultados del presente trabajo, probablemente a las dosis utilizadas y también el ecotipo evaluado. Zhang et al. (2020) reporta que en varios estudios los sólidos solubles totales son reducidos en 17 % con respecto al testigo. Razzaq et al. (2017) reportan que la aplicación de 1-MCP retrasa la acumulación de SST en frutos de mango 'Kensington Pride' en dosis de 1000 nL L⁻¹. El mecanismo de acción del 1-MCP en la síntesis de azúcares aún no se ha estudiado extensivamente, sin embargo, en papaya (Ohashi, et al., 2016) y brocolí (Xu et al., 2016) se observó que la aplicación de 1-MCP mantiene los niveles altos de sacarosa debido a que las enzimas (sacarosa sintasa) y genes relacionados con el transporte de sacarosa y enzimas del metabolismo de carbohidratos se inducen.

6.7 Acidez titulable (AT)

El contenido de acidez titulable en los cinco ecotipos evaluados presentó respuesta variable entre los frutos testigo y tratamientos (500 y 100 nL L⁻¹ de 1-MCP) tanto a temperatura ambiente como después de salir de almacenamiento por 5, 10 y 15 días.

El ecotipo 'Roja' a temperatura ambiente (25.3 ± 1.3 °C; 47.6 ± 5.9 % HR) no mostró diferencias al inicio de la evaluación, sin embargo, al cuarto día el contenido de acidez titulable fue mayor en el tratamiento testigo y con 500 nL L⁻¹ de 1-MCP y menor en el tratamiento de 1000 nL con 0.56, 0.53 y 0.41 respectivamente, estos valores se invirtieron en el día 8 y los valores menores en la concentración de acidez titulable se presentaron en los frutos testigo y el tratamiento de 500 nL. Después de 5 d de almacenamiento a 12 °C la concentración de acidez titulable presentó diferencias entre tratamientos al segundo y sexto día de evaluación con menor concentración en los frutos tratados con 1-MCP entre 0.49-0.81, 0.43-0.72 y 0.44-0.67 para 0, 500 y 1000

nL L⁻¹ respectivamente. Después de 10 y 15 días en almacenamiento a bajas temperaturas no se presentaron diferencias.

En ciruela mexicana 'Morada' la concentración de acidez titulable en frutos evaluados a temperatura ambiente (26.2 ± 1.3 °C; 44.3 ± 6.4 % HR) los primeros 6 d no mostraron diferencias entre los frutos testigo y con aplicación de 1-MCP con valores de 0.37, 0.33 y 0.37 hasta 0.54, 0.52 y 0.52 para 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1- MCP respectivamente, en el último día de evaluación la concentración mayor se presentó en el frutos testigo y con 500 nL de 1-MCP y la menor concentración en frutos con 1000 nL de 1-MCP tendencias similares se presentaron en las evaluaciones después de 5 y 10 días al salir de almacenamiento a baja temperatura y sin diferencias entre tratamientos después de 15 días. La concentración de acidez titulable en frutos del ecotipo 'Costeña' evaluada a temperatura ambiente (26.7 ± 0.92 °C; 43.05 ± 6.5 %HR) presentaron diferencias a partir de cuarto día de evaluación con menor acidez en frutos tratados con dosis de 500 nL L⁻¹ de 1-MCP, esta tendencia se mantuvo hasta el día 6 con valores de 0.53, 0.31 y 0.36 para 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente.

En ciruela 'Amarilla' y 'Cuernavaqueña no hubo diferencias significativas entre tratamientos, tanto a temperatura ambiente como después de salir de almacenamiento por 5, 10 y 15 días a 12°C. Por lo anterior se puede deducir que el 1-MCP tuvo efecto en retrasar la concentración de acidez titulable principalmente en los ecotipos 'Roja', 'Morada' y 'Costeña'. Blankenship y Dole (2003) indican que la respuesta de la acidez titulable a la aplicación de 1-MCP es diversa, en algunos cultivos es afectada y en otros no, por ejemplo, en piña y ciruela se retrasa, en zanahoria previene la pérdida de acidez, en tomate se inhibe completamente, en algunas variedades de manzana se incrementa. La respuesta de la acidez titulable se puede atribuir a la variedad o ecotipo evaluado.

6.8 Índice de sabor (IS)

El parámetro en el índice de sabor (IS) fue evolucionando a medida que los frutos maduraron, sin embargo, se observó un efecto retardante en los frutos con tratamiento

de 1-MCP a 500 o 1000 nL L⁻¹, principalmente en las evaluaciones a temperatura ambiente en la mayoría de los ecotipos evaluados.

La ciruela mexicana de estación húmeda ('Cuernavaqueña') fue quien presentó valores mayores en IS con 81.2, 72.9 y 72.2 en el último día de evaluación (día 8) para los tratamientos de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente, seguida del ecotipo 'Amarilla' que también para el día 8, los valores de IS fueron de 66.0, 54.8 y 61.1, el ecotipo 'Roja' 55.2, 49.3 y 38.2, en ciruela 'Morada' 42.8, 41.4 y 50.2. El valor de IS menor se presentó en los frutos testigo de ciruela 'Costeña' con 29.5, 41.2 y 42.6 en el mismo orden de tratamientos antes mencionados. Después de salir de almacenamiento a 12 °C por 5, 10 y 15 días no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en los diferentes ecotipos evaluados, por lo que se puede inferir que el efecto del 1-MCP fue más consistente a temperatura ambiente (24-26 °C).

Satekge y Magwaza (2022) indican que la aplicación de 1-MCP es afectado por la especie y variedad del fruto, ya que en algunas variedades como banana la aplicación debe realizarse a 25 °C para tener efecto significativo, pero en otros frutos como ciruela la aplicación debe ser a 0 °C para observar dichos efectos. Por lo cual deben realizarse evaluaciones en cada variedad para observar su efecto.

6.9 Fenoles

De los frutos evaluados a temperatura ambiente no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP) en la concentración de compuestos fenólicos, con excepción de la ciruela mexicana 'Roja' que en el día 8 los frutos testigo presentaron mayor concentración con 348.6 y 312.9 - 305.6 para 500 y 1000 nL respectivamente. En los ecotipos 'Morada' y 'Amarilla' la concentración de compuestos fenólicos presentaron valores similares a los anteriores; entre 315.1-325.1, 258.7-426.9 y 347.5-324.6 mg EAG 100 g⁻¹ para frutos testigos, 500 y 1000 nL respectivamente. Sin embargo, los ecotipos de ciruela 'Costeña' y 'Cuernavaqueña' presentaron los valores menores de entre 141.9-147.5, 156.7-170.0 y 186.5-172.4 mg EAG 100 g⁻¹ para los tratamientos de 0, 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP respectivamente.

Después de salir de almacenamiento a baja temperatura (12 °C) por 5, 10 y 15 días, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, por lo que se puede inferir que la aplicación del 1-MCP no afecta en la concentración y/o acumulación de compuestos fenólicos en ciruela mexicana y tampoco aumenta o disminuye con el almacenamiento en frío. Estos resultados son diferentes a los indicado por Watkins (2006) quien indica que los fenoles son disminuidos por la aplicación de 1-MCP. Liu et al. (2015) reporta que la acumulación de compuestos fenólicos es retrasada durante la maduración de durazno, sin embargo, se ha encontrado también en fresa y loquat que los fenoles son mayores cuando se aplica 1-MCP. Los contrastes con la literatura es probable que se deba a que se ha hecho mayor evaluación en frutos climatéricos, pero de clima templado y en frutales tropicales poca investigación se ha realizado.

6.10 Actividad antioxidante por ABTS, DPPH y FRAP

La ciruela mexicana *S. purpurea* L., no presentó diferencias en la concentración de actividad antioxidante entre tratamientos (0, 500 y 1000nL L⁻¹ de 1-MCP) tanto a temperatura ambiente como después de salir de almacenamiento (12°C) por periodos de 5, 10 y 15 días.

A pesar de que la aplicación de 1-MCP no afectó el desarrollo de la actividad antioxidante, en el presente trabajo se puede observar que las cantidades entre ecotipos varío enormemente entre ellos, así pues, en ciruela 'Morada' registró mayor concentración de actividad antioxidante por el método ABTS con cantidades de entre 300 a 750 mg EAA 100g⁻¹, seguida de la 'Roja' que tuvo cantidades desde 220 hasta 610 mg EAA 100g⁻¹, la ciruela 'Costeña' registró valores de 220 a 440 mg EAA 100g⁻¹; los ecotipos 'Amarilla' y 'Cuernavaqueña' fueron los que menor cantidad de actividad antioxidante tuvieron por ABTS, valores de entre 135 a 200 y de 100 a 200 mg EAA 100g⁻¹ respectivamente. Una tendencia similar se registró en la cuantificación de actividad antioxidante por DPPH, sin embargo, en ciruela 'Roja' se obtuvo los valores mayores con 230 a 310 mg EAA 100g⁻¹; en 'Morada' los valores fueron muy similares en todo el periodo de evaluación de 200 a 290 mg EAA 100g⁻¹; en 'Costeña' se disminuyó la actividad antioxidante por DPPH con valor de 100 a 200 mg EAA 100g⁻¹,

seguida de 'Amarilla' que registró valores desde 55 a 120 mg EAA 100g⁻¹ y 'Cuernavaqueña' con cantidades menores de solo 15 a 70 mg EAA 100g⁻¹. La evaluación de actividad antioxidante por el método FRAP demostró que la ciruela mexicana 'Morada' tuvo los valores mayores con cantidades de 300 hasta 600 mg EAA 100g⁻¹; seguida de 'Costeña' con cantidades de 230 a 400 mg EAA 100g⁻¹; 'Amarilla' con 180 a 250 mg EAA 100g⁻¹, 'Cuernavaqueña' de 65 a 150 mg EAA 100g⁻¹ y 'Roja' con valores menores de 40 a 60 mg EAA 100g⁻¹.

Liu et al. (2015) indica que el 1-MCP retrasa y disminuye la actividad antioxidante durante la maduración de durazno, sin embargo, en frutales tropicales, como es el caso de la ciruela mexicana, no se observó claramente este efecto, por lo que se requieren más evaluaciones específicas para entender el mecanismo de respuesta de las diferentes moléculas que contribuyen a la actividad a antioxidante.

6.11 Flavonoides

La cuantificación de los flavonoides en los cinco ecotipos evaluados no presentaron diferencias significativas entre frutos testigo y con aplicación de 1-MCP en dosis de 500 y 1000 nL L⁻¹ a temperatura ambiente como después de salir de almacenamiento a baja temperatura (12 °C) por 5, 10 y 15 días. La ciruela 'Morada' tuvo los valores más altos de estos compuestos fenólicos desde 65 hasta 120 mg EQ 100g⁻¹, los ecotipos 'Roja', 'Costeña', 'Amarilla' y 'Cuernavaqueña' tuvieron valores similares con tendencia a aumentar durante el almacenamiento con concentraciones desde los 40 hasta 80 mg EQ 100g⁻¹.

Xu et al. (2020), indicaron que las muestras tratadas con 1-MCP (10000 nL L⁻¹, 20 ± 1°C) en combinación con acondicionamiento a baja temperatura (12 °C por 4 d, luego transferidos a 3°C), el contenido de flavonoides aumentó en peras Huangguan de 48 a 76 %, caso contrario a lo ocurrido en este trabajo.

7. Días a madurez de consumo

La aplicación de 1-MCP si tuvo efecto en la vida de anaquel, como se muestra en el cuadro 2, los frutos control a temperatura ambiente tuvieron un periodo máximo de almacenamiento de 3-5 días, mientras que las ciruelas tratadas con 1-MCP la capacidad de almacenamiento aumentó hasta 7-9 días, también la refrigeración a 12 °C potenció la eficacia del 1-MCP dependiendo de cada periodo de almacenamiento (5, 10 y 15 días), se logró mantener las frutas de 7-19 días (testigos) hasta 9-20 días (tratadas con 500 y 1000 nL L⁻¹). Sin embargo, es necesario señalar que el periodo de 15 días comienza a afectar la calidad de los frutos, por lo que se recomienda que no se debe rebasar 10 días en almacenamiento a esta temperatura.

Cuadro 2 . Días a madurez de consumo de cinco ecotipos de ciruela mexicana (*Spondia purpure* L.) evaluado a temperatura ambiente y a 12 °C por periodos de 5, 10 y 15 días en frutos testigos y con aplicación de 500 y 1000 nL L⁻¹ de 1-MCP

Ecotipos	T. AMBIENTE			5 d 12 °C			10 d 12 °C			15 d 12 °C		
	Testigo	1-MCP (nL L ⁻¹)		Testigo	1-MCP (nL L ⁻¹)		Testigo	1-MCP (nL L ⁻¹)		Testigo	1-MCP (nL L ⁻¹)	
		500	1000		500	1000		500	1000		500	1000
'Roja'	3 d	5 d	5 d	7 d	9 d	9 d	12 d	14 d	14 d	16 d	18 d	19 d
'Morada'	3 d	5 d	6 d	7 d	9 d	10 d	11 d	11 d	14 d	16 d	18 d	19 d
'Costeña'	5 d	6 d	6 d	8 d	7 d	9 d	13 d	13 d	15 d	19 d	19 d	20 d
'Amarilla'	5 d	7 d	8 d	7 d	9 d	11 d	12 d	14 d	15 d	16 d	18 d	20 d
'Cuernavaqueña' (septiembre)	4 d	6 d	6 d	8 d	10 d	11 d	14 d	13 d	15 d	15 d	17 d	16 d
'Cuernavaqueña' (octubre)	4 d	6 d	6 d	8 d	10 d	9 d	12 d	15 d	14 d	16 d	18 d	17 d

8. CONCLUSIONES

La aplicación de 1-MCP en cualquier concentración (500 y 1000 nL L⁻¹) en frutos de ciruela mexicana con maduración media permitió mantener mayor firmeza con relación a los frutos testigo, quedó confirmado que el 1-MCP tiene una alta efectividad para retrasar la pigmentación característica de cada ecotipo, inhibe y retrasa la tasa de respiración y producción de etileno, la concentración de sólidos solubles totales y acidez titulable, sin efecto claro en el desarrollo de compuestos fenólicos, flavonoides y actividad antioxidante. Se debe seguir investigando para conocer más sobre la fisiología del material evaluado ya que cada uno tiene respuesta diferente al 1-MCP.

9. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Vargas, J. E., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S. H., Colinas-León, M.T., Nieto-ángel, D., Rivera-Cabrera, F. y Aguilar-Pérez, L. A. (2017). Ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) de clima húmedo y seco: calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante. *Interciencia*, 42(10), 653-660. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33953313005>
- Alves, R. E., Cunha, F. A., Luna, B. y Luis, J. (2000). Perspectiva del uso de tratamientos físicos cuarentenarios en frutos tropicales exóticos. En Saucedo, V. F., Villamizar, C. y Báez, R. S. (eds). Segundo Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones. Santa Fe Bogotá, Colombia.
- Arce-Romero, A. R., Monterroso-Rivas, A. I., Gómez-Díaz, J. D. y Cruz-León, A. (2016). Ciruelas mexicanas (*Spondias* spp): su aptitud actual y potencial con escenarios de cambio climático para México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 23(1): 5-19. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.06.020>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1995). Official methods of analysis. (16^a ed). Virginia, USA.
- Avitia, G. E., González-Castillo, A. M. y Pimienta- Barrios, E. (2000). Ciruela mexicana y otras especies del género *Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 75 p.
- Bautista. B. S., Hernández, L. M., Guillén, S. D. y Alia, T. I. (2006). Influencia del recubrimiento con quitosano y la temperatura de almacenamiento en la calidad poscosecha y niveles de infección en la ciruela mexicana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 7(2):114-121. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81370207>
- Bautista-Baños, S., Díaz-Pérez, J. C., Barrera-Necha, L. L. y Bravo-Luna L. (2003). Estudio poscosecha de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) durante almacenamiento. *Rev. Iber. Tecnología Poscosecha* 5:82-85.
- Benzie, I.F. and J.J. Strain. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76.

- Blankenship, M. S., Dole M. J. (2003). Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Tecgnology*, 28(1): 1-25. DOI: 10.1016/S0925-5214(02)00246-6.
- Brand-Williams W., Culivier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. Food Science Technology*, 28(1), 25-30.
- Cruz L. A. y Rodríguez H., B. (2012). Cultivo. *In: Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicanas*. Cruz L. A., A. Pita D., B. Rodríguez H. (Comps.). Universidad Autónoma Chapingo, México. 77-102 p.
- Cruz L. A., Pita D. A. y Gutiérrez J. A. G. (2012). Acercamiento a la diversidad de las ciruelas mexicanas. *In: Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicanas*. Cruz L. A., Pita D. A. y Rodríguez H. B. (Comps.). Universidad Autónoma Chapingo, México. 39-62 p.
- Cruz, G. E. (2006). Caracterización de fenotipos sobresalientes de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L). *Tesis de Ingeniero Agroindustrial*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Cruz-León, A., Pita-Duque, A. y Rodríguez-Haro, B. (2012). *Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicanas*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Dias, C., Ribeiro, T., Rodrigues, A.C., Ferrante, A., Vasconcelos, M.W., Pintado, M. (2021), Improving the ripening process after 1-MCP application: implications and strategie. *Trends in Food Science & Technology*, 113; 382-396. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.05.012.
- Dong L., Zhou H-W., Senogo L., Lers A. & Lurie S. (2001). Ripening of 'Red Rosa' Plums: effect of ethylene and 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Plant physiology* 28(10) 1039-1045. <https://doi.org/10.1071/PP00149>
- Egea, M. I., Romojaro A. F. y Valdenegro E. M. (2006). El 1-MCP, una prometidora alternativa para conservación de frutos de hueso. *Phytoma España. La revista profesional de sanidad vegetal*, ISSN 1131- 8988, N° 181. Pag. 43.53.
- Ferrer, M. M., Ruenes-Morales M. R., Montañez-Escalante, N. M., Fortuny- Fernandez y Balam-Cen E. M. (2017). Variation in genetic, morphological, colorimetric and flavor traits of two traditional *Spondias purpurea* L. variants: 'Tuspana abal' and

- 'Tuspeña abal'. *Fruit, The International Journal of Tropical and Subtropical Horticulture*, 72 (3), 148-157. <http://doi.org/10.17660/th2017/72.3.4>
- Fortuny-Fernández, N. M., Monserrat M. F., Ruenes-Morales y M. del R. (2017). Centro de origen, domesticación y diversidad genética de la ciruela mexicana, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Acta Botánica Mexicana* 121:7.38. <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1289>
- Gamrasni, D., Feldmesser, E., Ben-Arie, R., Raz, A., Asiag, A.T., Glikman, M., Aharoni, A., Goldway, M. (2020). Gene expresión in 1-Methylcyclopropene (1-MCP) treated tomatoes during pre-climateric ripening suggests shared regulation of methionine biosynthesis, ethylene production and respiration. *Agronomy*, 10: 1660. DOI: 10.3390/agronomy10111669.
- García, G. M., Alia, T. I., Rivera, C. F., Díaz de L, S. F., López, M. V., Pérez, F. L. J. y Pelayo, Z. C. (2016). Refrigeración de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña'. *Acta Agrícola y Pecuaria* 2 (2): 27:33.
- Guimarães, S. A., Barros da S. M., Silva, M. E. G., Macedo, C. J. y Silva, C S. (2017). Retardo de maturação em cajaranas (*Spondias cytherea*) tratadas con 1-MCP. *Nativa. Pesquisas Agrárias e Ambientais*, 5(4): 244-249. DOI: 10.5935/2318-7670.v05n04a03.
- Jagota, S. & H. Dani. (1982). A new colorimetric technique for estimation of vitamin C using folin phenol reagent. *Anal. Biochem.* 128: 178-192.
- Koziol, M. J. y Macía, M. J. (1998). Chemical composition, nutritional evaluation, and economic prospects of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Econ. Bot.* 52: 373-380.
- León, V. J. A., Martínez, S. B. I., Orea, Z. A., Maldonado, A. Y. I. y Arroyo B. D. V. (2015). Evaluación de películas de almidón de maíz para incrementar la vida poscosecha de *Spondias purpurea* L. Programa educativo de Biotecnología. Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Guerrero. Vol.2 No. 3 122-126.
- Liu, H., Cao, J., Jiang W. (2015). Changes in phenolics and antioxidant property of peach fruit during ripening and responses to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 108: 111-118. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2015.06.012.

- Maldonado, A. Y. I., Alia, T. I., Núñez, C. C. A., Jiménez, H. J., Pelayo, Z. C., López, M. V., Andrade, R. M., Bautista, B. S., y Valle, G. S. (2014). Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae* 174:193-206.
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejacal, I., Jiménez-Hernández, J., Núñez-Colín, C.A. (2023). Postharvest quality and physiological changes in five ecotypes of *Spondias purpurea* L. harvested at three distinct maturity stages. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 45: 3-607.
- Monarres, C. O. (2015). Poscosecha de ecotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea*) almacenadas en temperaturas bajas. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. 154 p.
- Montalvo-González, E., García, M. H.S., Mata-Montes de Oca, M. y Tovar-Gómez, B. (2011). Efecto de la luz en ciruela mexicana manejada en diferentes condiciones de almacenamiento, *CyTA- Journal of Food*, 9:1, 65-70, <http://doi.org/10.1080/199476331003642562>
- Muñoz, L. C., Urrea-García, G. R., Jiménez-Fernández, M., Rodríguez-Jiménes, G. y Luna-Solano, G. (2018). Efecto de las condiciones de liofilización en propiedades fisicoquímicas, contenido de pectina y capacidad de rehidratación de rodajas de ciruela (*Spondias purpurea* L.) *Agrociencia* 52:1-13.
- Neguerula, Á. I. (2012). Is the color measured in food the color that we see? *In: Color in Food. Technological and Psychophysical Aspect*. Caivano, J.L., M. del P. Buera. CRC Press. pp: 81-91.
- Ohashi, T.L., Foukaraki, S., Correa, D.S., Ferreira, M.D., Terry, L. (2016). Influence of 1-Methylcyclopropane on the biochemical response and ripening of 'Solo' papayas. *Revista Brasileira de fruticultura*, 38(2): e-791. DOI: 10.1590/0100-29452016791
- Osuna, G. J. A., Pérez. B. M. H., Vázquez, V. V. y Gómez, J. R. (2011). Aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP) y su efecto en ciruela mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34:197-204. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61019746007>.

- Pereira, M. E. C., Filgueiras, H. A. C. y Alves, R. E. (2000). Actividad respiratoria y producción de etileno postcosecha de ciruela mexicana y jobo. *Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha* 2:155-160.
- Pérez, L. A., Saucedo, V. C., Arévalo, G. M. L. y Muratalla, L. A. (2004). Efecto del grado de madurez en la calidad y vida poscosecha de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:197-204. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027203>
- Ramirez, H. B.C. (2004). Etnobotánica y ecofisiología de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). Tesis doctoral. Universidad Autónoma de México. México, D.F.
- Ramírez, H. B.C., Pimienta, B. Eulogio., Muñoz, U. A., Palomino, G. H. y Pimienta, B. Enrique. (2008). Sistema de producción de *Spondias purpurea* (Anacardiaceae) en el centro occidente de México. *Revista de Biología Tropical*, 56: 575-687. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442008000200021
- Razzaq, K., Singh, Z., Khan, A. S., Khan, S.A.K.U., Ullah, S. (2017). Role of 1-MCP in regulating 'Knesington Pride' mango fruit softening and ripening. *Plant Growth Regulation*, 78(3): 401-411. DOI: 10.1007/s10725-015-0101-7.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26: 1231-1337. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rodríguez-Amaya, D. B., M. Kimura. (2004). Harvestplus Handbook for Carotenoids Analysis. HarvestPlus Technical Monograph 2. Washington, D. C. and Cali: International Food Policy Research Institute and International Center for Tropical Agriculture. 58p.
- Salveit, M. E. (2016). Respiratory metabolism. (pp: 139-156). In: Pareek, S. (Ed.). *Postharvest Ripening Physiology of Crops. USA.* CRC Press-Taylor & Francis Group.

- Satekge, T.K., Magwaza, L.S. (2022) Postharvest application of 1-methylcyclopropane (1-MCP) on climateric fruits: factors affecting efficacy. *International Journal of Fruit Science*, 22(1): 595-607. DOI: 10.1080/15538362.2022.2085231.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2017). Ciruela (*Spondias spp.*). <http://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/ciruela-spondias-spp>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Producción anual. Consultado el 13 junio 2023. En línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Singlenton, V. L., Orthofer, R., Lamuela, R. R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymology* 299:152-178.
- Sisler E. C. & Serek, M. (1997). Inhibitors of ethylene Responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiol Plant*. 100. 557-582.
- Solórzano, M. S., Alia, T. I., Rivera, C. F., López, M. V., Pérez, F. L. J., Pelayo, Z.C., Guillén, S. D., Díaz de L, S. y Maldonado, A. Y. I. (2015) Quality attributes and functional compounds of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits* 70(5): 261-270.
- Suárez, V. A., Juárez-López, P., López-Martínez, V., Pérez, F. L.J., Guillén, S. D. y Alia-Tejagal, I. (2017). Antioxidant activity and physicochemical parameters in 'Cuernavaqueña' mexican plum' (*Spondias purpurea* L.) at different ripening stages. *Revista Brasileira de Fruticultura* 39(4): e-787.
- Tovar-Soto, H. M., Ballesteros, P. G. A., Robledo P. A. y Cruz L. A. (2012). Botánica de *Spondias* L. (Anacardiaceae): Jocotes, Jobos, Abales o Ciruelas Mexicanas en México. *In: Jocotes, jobos, abales o ciruelas mexicanas*. Cruz L. A., A. Pita D., B. Rodríguez H. (Comps.). Universidad Autónoma Chapingo, México. 11-30 p.
- Villareal-Fuentes, J. M., Alia-Tejagal I., Pérez-Pérez X. D., Espinoza- Zaragoza S., Marroquín- Agreda, F. J. y Núñez-Colin C. A. (2018). Caracterización físicoquímica de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) en el Soconusco, Chiapas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(17):219-229. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1949>

- Waterman, G. P. and Mole, S. (1994). Analysis of phenolic plant metabolites. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications. 238 p.
- Watkins, C.B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*, 24: 389-409. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2006.01.005
- Win, N.M., Yoo, J., Naing, A. H., Kwon, J.-G., Kang, I.-K. (2021). 1-Methylcyclopropane (1-MCP) treatment delays modification of cell wall pectin and fruit softening in 'Hwangok' and 'Picnic' apples during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 180: 111599. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111599
- Xu, F., Wang, H., Tang, Y., Dong, S., Qiao, X., Chen, X., Zheng, Y. (2016). Effect of 1-methylcyclopropane on senescence and sugar metabolism in harvested broccoliflorets. *Postharvest Biology and Technology*, 116: 45-49. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.01.004.
- Xu, F., Zhang, K & Liu, S. (2020). Evaluation of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and low temperatura conditioning (LTC) to control brow of Huangguang pears. *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108738>
- Zhang, J., Ma, Y., Terry, L.A., Watkins, C.B., Yu. Z., Cheng, Z.-M. (2020). Meta-analysis of the effects of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) treatment on climateric fruit ripening. *Horticulture Research*, 7: 208. DOI: 10.1038/z41438-020-00405-x.



Cuernavaca, Morelos, 25 de octubre de 2023
Asunto: Voto aprobación de tesis

Mtro. Jesús Eduardo Licea Resendiz
Titular de la Dirección de la Facultad de
Ciencias Agropecuarias, UAEM
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **APLICACIÓN DE 1-MCP EN DIFERENTES ECOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE MÉXICO**, que presenta la **I. H. María Goretti Transito Dámaso**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección y la codirección de la **Dra. Gloria Alicia Pérez Arias**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestría 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
Una universidad de excelencia

Dr. Iran Alia Tejacal
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209 Edificio 10-A
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 7046. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

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

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

Sello electrónico

IRAN ALIA TEJACAL | Fecha:2023-10-30 20:00:06 | Firmante

pzW+c7/MErt2VRjY0FgzcrxvTqLKLJpD0rwEzmo4rJ+OWrVopnWAPbflXcUc7cHWmw3E/Rfy8hcH1K1LnynHh7cBTBPzwsTFVIXPryyKXQsqnCo2hfvjAr0vBbma33osyMeRxYT
sUBUWoJJBj0/9AJWjmZUpVMW5NSGkGJQj+h3jgcZ9rvspeTQjox00qzixaV2PTAupUg6ASoX+rve1WEWG75CYiyFYCg1enedrPAx93kAXjmBOPdblxTs9W/f/omuidBLkDWOWu
LPlaU0oTbv16aegHw9o55zSwjqvNAqAgz1HISJ+FrDvqf4ATrXsZa5eoFmdVBFhdbkjUGMwg==

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



[m9Mc3Ts6j](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/nJBUIFB4hQHclGFWMx7kiUZmsXKMPaDn>





Cuernavaca, Morelos, 25 de octubre de 2023
Asunto: Voto aprobación de tesis

Mtro. Jesús Eduardo Licea Resendiz
Titular de la Dirección de la Facultad de
Ciencias Agropecuarias, UAEM
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **APLICACIÓN DE 1-MCP EN DIFERENTES ECOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE MÉXICO**, que presenta la **I. H. María Goretti Transito Dámaso**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Iran Alia Tejacal** y la codirección de la **Dra. Gloria Alicia Pérez Arias**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestría 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
Una universidad de excelencia

Dr. Víctor López Martínez
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209 Edificio 10-A
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 7046. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

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

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

Sello electrónico

VICTOR LOPEZ MARTINEZ | Fecha:2023-10-26 23:44:22 | Firmante

RKVyYIlo+EVhgGA3yZdRZQjAo89cKR8Civf3Xh8X3+Csj6vrZZNvrE6vnr82C7e73mJfUsh8Jyi6QiQiHUAuy02VkkjgSwy2d3wOIgClijDXMzYI+5TmQP+DwQZ47JM68e0UU+P5S/55E7IHKOrGVD7MB66GdnUk0a9uOOr/esA3ZjXuRpUtue26pxYnWVMRT2L9OMSvhAOGwjEhT+dh154pqhQAS3PcodqswUveyFdbFKjIT1U63GC+i3ae7KsUswXPtlg1ZiyDzzBgF7f+FEtJJATJ6jqqFe1k69AVT7aytmU1D2N4I08knC5cXDW2ZUQuq1M5ilg+HJHl1o63MkA==

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



[rBfqBR03z](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/baKvm1gvrB283on5jdPH93bg32HLDc8U>





Cuernavaca, Morelos, 25 de octubre de 2023
Asunto: Voto aprobación de tesis

Mtro. Jesús Eduardo Licea Resendiz
Titular de la Dirección de la Facultad de
Ciencias Agropecuarias, UAEM
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **APLICACIÓN DE 1-MCP EN DIFERENTES ECOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE MÉXICO**, que presenta la **I. H. María Goretti Transito Dámaso**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Iran Alia Tejacal** y la codirección de la **Dra. Gloria Alicia Pérez Arias**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestría 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
Una universidad de excelencia

Dr. Porfirio Juárez López
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209 Edificio 10-A
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 7046. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

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

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

Sello electrónico

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | Fecha:2023-10-26 22:59:10 | Firmante

F++mldjB3R+HnlqKvEJgk+X1035sx3BtZKpGnfccQKJD9THk8/1XNeSAOHt0MGz0p4uiMgxZCzRc/X79RPQuYEeYDIC4SncJakxiVwBLISmICkNDCd0ZGqSGg6loA6jDfwyMjSxZ
vrigTVCXP7LbKfzHXptEaR3i6D8j1tyQo0IAbFKHCKYtZLZ8Hi0ghhP6tXHDqjj4IYUAHdoliepPibWctol/XcYndgOJ3tfgYc2OJcN+VmArJ8fESQH9YWRKVoQ8Ct//XKCiVlaNWFn
HkB9/km+m7sFgnCpEuzjzYwWkor/7QEB90kowL5eabxHfNP31Tjmo6hCRrVni0Qw==

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



[Yv4Mq7Fby](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/TNuxmlvMdrk8mh1Qlqiy18uuL4iZlowA>





Cuernavaca, Morelos, 25 de octubre de 2023
Asunto: Voto aprobación de tesis

Mtro. Jesús Eduardo Licea Resendiz
Titular de la Dirección de la Facultad de
Ciencias Agropecuarias, UAEM
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **APLICACIÓN DE 1-MCP EN DIFERENTES ECOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE MÉXICO**, que presenta la **I. H. María Goretti Transito Dámaso**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Iran Alia Tejacal** y la codirección de la **Dra. Gloria Alicia Pérez Arias**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestría 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
Una universidad de excelencia

Dr. Nelson Avonce Vergara
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209 Edificio 10-A
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 7046. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

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

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

Sello electrónico

NELSON AVONCE VERGARA | Fecha:2023-10-31 01:01:08 | Firmante

TAIONRVEMkJVnFHKTjbDhM/j71qGxN1uQ3uEIYq7Ejt2c2+mVkfHpizU9YNxn6N5JIUngFAabVSrr/9t5izsCCwmN2Q5/C/ID9CpFoheKvIkWqegW2yB6hyvwN1HNXN9/Ahsi4Em
tT0Jd8kLNduaCRp08Ww7uo5v3LoAMS+V2+q9bCwFov1h8ZwEAFObKqzfi/WytilrCqakuOj7rb6+MAyedoHufdRqjTsHaPZMrZ4vA3Y2krRDooNjirlsSEjpdgQV1QqZf8jAEybubHn
5lmKLUp6k/p1ixaMPli3VC45uSILAg4FAcwGMuDw7crvWrAZuupM1iYNC5qDpy8vfA==

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



OBRenPQ0m

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/ro0YGdMadJUHeYamhi1s8Q291dgmViq>





Cuernavaca, Morelos, 25 de octubre de 2023
Asunto: Voto aprobación de tesis

Mtro. Jesús Eduardo Licea Resendiz
Titular de la Dirección de la Facultad de
Ciencias Agropecuarias, UAEM
P R E S E N T E.

Por medio del presente informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado: **APLICACIÓN DE 1-MCP EN DIFERENTES ECOTIPOS DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) DE MÉXICO**, que presenta la **I. H. María Goretti Transito Dámaso**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Iran Alia Tejacal** y la codirección de la **Dra. Gloria Alicia Pérez Arias**, y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Maestría 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
Una universidad de excelencia

Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes
Comité Evaluador

C.i.p. Archivo

Av, universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México 62209 Edificio 10-A
Tel (777)3297046, 3297000 Ext. 7046. fagropecuarias@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

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

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

Sello electrónico

JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES | Fecha:2023-10-30 08:47:57 | Firmante

k1XLkdnILvIOXiiLQjN9152CyXE/OIEMlz+u3fLFLGreqYX1OPXaPfdq9Gkvpbu4Dx1vUJreRewz4fq8WzL7ulvG8beq7ijzYG9A6Hx+UsyZBNxtFTknN5cV8xWTytl6hf5LabJGK3ZVj7W9PdztIXCvG90frJWx+k9cZ9bFznDEGajgEsBehxfZLPKu3lxoor13fxJ2mVBuJDgh8qHE3cPfpGZ4/WP+7tSwoEKWl/esxD6i+WbtGrSDFYGP0bbLXvuj0Jle9fcuqKrhgW12dG1LKEt+2BIPGFfeSQOTH9yN36MpBjEgYAHihjYNxxbYKmeAVOHFNcOf9OZm+X4Q==

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



[eHK639gOP](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/JTbzZJAf0WWKRKkJeoyhXe7dXpTBHEDk>

