



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TEPIC

“ESTUDIO DE LA SIMULACIÓN DE MERCADEO EN YACA (*Artocarpus heterophyllus* Lam) TRATADA CON 1-METILCICLOPROPENO.”

POR:

IBQ. DAVID ANTONIO MORELOS FLORES

TESIS PROPUESTA A LA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DE ALIMENTOS

Directora:

DRA. MARÍA DE LOURDES GARCÍA MAGAÑA

Co-director:

DRA. EFIGENIA MONTALVO GONZÁLEZ

Junio, 2020

A mis amigos Carlos, Armando, Edson, Ariana, Alejandra y Jerusalén. Por apoyarme y a hacer esta experiencia más amena. Y a María, por ser la primera persona en tenderme la mano y ayudarme en este proyecto; compartimos muchas experiencias y nunca me dejaste caer, gracias por ser mi compañera de trinchera.

Y a todas las personas que se cruzaron por mi camino a lo largo de esta experiencia y que, de alguna forma u otra, me ayudaron con un consejo, palabras de aliento y buenos momentos. Muchas gracias.

RESUMEN

La yaca es una fruta exótica altamente valorada en el extranjero, sin embargo, su naturaleza climatérica y su alta producción de etileno la hacen altamente perecedera. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) almacenado a diferentes temperaturas en una simulación de mercadeo para extender la vida útil de la fruta. Se utilizaron 160 frutos en madurez fisiológica, se aplicó un tratamiento antifúngico y se selló el pedúnculo. se aplicó 1-MCP a diferentes concentraciones (300, 600 y 1000 nL / L), se almacenaron junto con frutos testigo a 8 y 13 °C durante 5 días, luego las frutas se almacenaron a 25 °C simulando la cadena de mercadeo. Se usó un grupo testigo absoluto. Se realizaron pruebas fisiológicas (FS), fisicoquímicas (FQ), sensoriales (SE), de fenoles solubles totales (FST) y capacidad antioxidante (CAOX). Los valores obtenidos para las tasas de producción de etileno en frutos testigo absoluto mostraron su máximo el día 3 y el último día de almacenamiento fue el día 8. El tratamiento a 13 °C con 600 nL / L de 1-MCP se destacó, ya que su producción máxima de el etileno fue el día 12 (29.29 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$), terminando su vida útil el día 21. El análisis estadístico fenoles solubles totales mostró diferencias significativas entre los frutos tratados con 1-MCP y el testigo, sin embargo, no existen diferencias significativas entre los valores iniciales con los finales de cada uno de los frutos, mostrando que el tratamiento no genera un efecto inhibitorio. Los parámetros FS y FQ presentaron diferencias significativas entre los frutos testigo y los tratados, generando un atraso en la maduración de los frutos aumentando la vida útil 14 días con respecto al fruto testigo absoluto. Las concentraciones de 600 nL / L almacenadas a 8 y 13 °C no generaron efecto en los FST y SE, pero sí presentó diferencias significativas en CAOX por FRAP y DPPH. El tratamiento con el mejor desempeño fue el de 600 nL / L almacenado a 13 °C, ya que esta concentración presentó una amplia vida de anaquel a los frutos con características atractivas para el productor y consumidor.

Palabras clave: yaca, parámetros fisicoquímicos y fisiológicos, vida de anaquel, simulación de mercadeo.

SUMMARY

Jackfruit is an exotic fruit highly valued abroad, however, its climatic nature and its high production of ethylene make it highly perishable. The objective of this study was to evaluate the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) stored at different temperatures in a marketing simulation to extend the shelf life of the fruit. 160 fruits in physiological maturity were used, an antifungal treatment was applied and the peduncle was sold. 1-MCP was applied at different differences (300, 600 and 1000 nL / L), it was stored together with control fruits at 8 and 13 °C for 5 days, then the fruits were stored at 25 °C simulating of the marketing chain. An absolute control group was used. Physiological (PS), physicochemical (PQ), sensory (SE), total soluble phenols (TSP) and antioxidant capacity (AC) tests were performed. The values obtained for the ethylene production rates in absolute control fruits were their maximum on day 3 and the last day of storage was day 8. The treatment at 13 °C with 600 nL / L of 1-MCP stood out, since its maximum production of ethylene was on day 12 (29.29 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$), ending its useful life on day 21. The statistical analysis of total soluble phenols showed significant differences between the fruits treated with 1-MCP and the control, however, there were no significant differences between the initial values with the ends of each of the fruits, showing that the treatment does not generate an effect inhibitory. The PS and PQ parameters vary the differences between the control and the treated fruits, generating a delay in the maturation of the affected fruits, the shelf life of 14 days with respect to the absolute control fruit. The treatments of 600 nL / L are stored at 8 and 13 °C without generating an effect on the TSP and SE, but they do show differences in AC by FRAP and DPPH. The treatment with the best performance was 600 nL / L stored at 13 °C, since this concentration experienced a long shelf life to the fruits with attractive characteristics for the producer and consumer.

Key words: jackfruit, physiological and physicochemical parameters, shelf life, marketing conditions.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	iii
SUMARY	iv
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	6
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO 2. ANTECEDENTES	10
2.1 Generalidades de la yaca	10
2.1.1 Panorama de la producción de yaca a nivel mundial	12
2.1.2 Producción de yaca en México	12
2.1.3 La yaca en Nayarit	14
2.2 Mercado nacional e internacional	15
2.3 Respiración de los frutos	16
2.3.1 Frutos climatéricos y no climatéricos	17
2.3.2 Producción de etileno	18
2.3.3 Etileno	19
2.3.4 Biosíntesis de etileno.	19
2.3.5 Etileno y mecanismo de acción sobre el fruto	21
2.3.5.1 Maduración en el fruto.	22
2.4 Manejo poscosecha de frutos	23

2.4.1 Manejo poscosecha de frutos de yaca	25
2.4.2 1-Metilciclopropeno para la conservación de frutos climatéricos.	27
2.4.2.1 Mecanismo de acción del 1-MCP	27
2.4.2.2 Concentraciones efectivas del 1-MCP.	29
2.4.2.3 Cambios fisiológicos y fisicoquímicos causados por 1-MCP	29
2.4.3 Calidad	32
2.4.3.1 Polifenoles	32
2.4.3.2 Análisis sensorial	33
CAPITULO 3. JUSTIFICACIÓN	35
CAPITULO 4. OBJETIVOS	36
CAPITULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS	37
5.1 Análisis fisiológicos	39
5.1.1 Velocidad de respiración y velocidad de producción de etileno.	39
5.1.2 Pérdida fisiológica de peso	40
5.2 Análisis fisicoquímicos	40
5.2.1 Evaluación de sólidos solubles totales	40
5.2.2 Evaluación de acidez titulable	40
5.2.3 Determinación de pH	41
5.2.4 Evaluación de firmeza	41
5.2.5 Determinación de color	41
5.3 Fenoles solubles totales y capacidad antioxidante	41
5.3.1 Preparación de la muestra	42
5.3.2 Determinación de fenoles solubles totales (FST) y capacidad antioxidante (CAOX)	42
5.2.7 Poder antioxidante de reducción férrica (FRAP) en micro placa	43

5.2.8 Método de barrido de radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH)	43
5.4 Análisis Sensorial	44
5.5 Análisis estadístico	44
CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
6.1 Análisis fisiológicos	45
6.1.1 Velocidad de respiración (VR)	45
6.1.2 Velocidad de producción de etileno (VPE)	51
6.1.3 Pérdida fisiológica de peso (PFP)	56
6.2 Análisis fisicoquímicos	59
6.2.1 Sólidos Solubles Totales (SST)	60
6.2.2 Acidez titulable (AT)	63
6.2.3 pH	66
6.1.4 Firmeza en cáscara y bulbos	68
6.1.5 Color cáscara y bulbos	74
6.3 Fenoles solubles totales y capacidad antioxidante	82
6.3.1 Fenoles solubles totales	82
6.3.2 Capacidad antioxidante	86
6.3.2.1 FRAP	86
6.3.2.2 DPPH	91
6.4 Análisis sensorial	97
CAPITULO 7. CONCLUSIONES	101
CAPITULO 8. BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	116

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1	Producción de yaca por entidad federativa.	13
Cuadro 2.2	Producción de yaca por municipio en el estado de Nayarit.	14
Cuadro 2.3	Volumen y valor anual aproximado exportado de yaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) por país de destino en el 2016.	16
Cuadro 2.4	Frutos climatéricos y su pico respiratorio.	18
Cuadro 2.5	Concentraciones de 1-MCP utilizadas en el alargamiento de la Vida útil de diversos frutos	31
Cuadro 6.1	Color (°Hue) de la cáscara del fruto de yaca almacenado a 8 °C y 25 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	75
Cuadro 6.2	Color (°Hue) de la cáscara del fruto de yaca almacenado a 13 °C y 25 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	76
Cuadro 6.3	Color (°Hue) de los bulbos del fruto de yaca almacenado a 8 °C y 25 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	78
Cuadro 6.4	Color (°Hue) de los bulbos del fruto de yaca almacenado a 8 °C y 25 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	80
Cuadro 6.5	Fenoles solubles totales (mg EAG / 100g BH) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 8 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	83
Cuadro 6.6	Fenoles solubles totales (mg EAG / 100g BH) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 13 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	84

Cuadro 6.7	Capacidad antioxidante por método FRAP ($\mu\text{mol ET / g BH}$) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 8 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	87
Cuadro 6.8	Capacidad antioxidante por método FRAP ($\mu\text{mol ET / g BH}$) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 13 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	88
Cuadro 6.9	Capacidad antioxidante por método DPPH (mmol ET / g BH) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 8 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	92
Cuadro 6.10	Capacidad antioxidante por método DPPH en porcentaje de inhibición (%) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 8 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	93
Cuadro 6.11	Capacidad antioxidante por método DPPH (mmol ET / g BH) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 13 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	94
Cuadro 6.12	Capacidad antioxidante por método DPPH en porcentaje de inhibición (%) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 13 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	a) Árbol; b) hoja; c) Fruto de yaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.) material de trabajo “Agüitada”.	11
Figura 2.2	<i>Biosíntesis de etileno y ciclo de Yang</i> (Jordán & Casaretto, 2006).	20
Figura 2.3	Esquema del sendero de transducción que media la señal del etileno (Ribaudó, 2013).	23
Figura 2.4	Unión de la molécula de etileno a los receptores del fruto en representación mecánica “llave” y “cerradura.” a) Receptores de etileno en la célula, b) Moléculas de etileno tomando posición en el receptor de etileno, c) La molécula de etileno actúa como una “llave” activando el receptor, d) La señal es enviada a la célula y la molécula de etileno se libera (Blankenship & Dole, 2003).	28
Figura 2.5	Enlace de la molécula de 1-MCP con el receptor de etileno, donde no se desencadena la reacción y obstruye la recepción del etileno.”. a) Las moléculas de 1-MCP también pueden ocupar el lugar de los receptores de etileno, b) No obstante, las moléculas de 1-MCP no accionan los receptores, inhibiendo la señalización, c) Los receptores de etileno, no liberan al 1-MCP bloqueando el posicionamiento del etileno en el receptor, d) Dependiendo del fruto, nuevos receptores de etileno pueden formarse y las células pueden regenerar su sensibilidad al etileno (Blankenship & Dole, 2003).	28
Figura 5.1	Diagrama de flujo del proceso.	38
Figura 6.1	Velocidad de respiración en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25	46

	°C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.	
Figura 6.2	Velocidad de producción de etileno en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C) La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.	52
Figura 6.3	Pérdida fisiológica de peso en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.	57
Figura 6.4	Sólidos solubles totales en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.	61
Figura 6.5	Acidez titulable en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.	64
Figura 6.6	pH en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.	67
Figura 6.7	Firmeza en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2	69

°C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

Figura 6.8 Firmeza en los bulbos de frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

72

Figura 6.9 Análisis sensorial de los bulbos de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos con tratamiento previo a 600 nL / L de 1-metilciclopropeno almacenados a 8 y 13 °C, donde se muestra el promedio de 30 jueces no entrenados evaluando el color (A), olor (B), sabor (C) y textura (D).

98

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) es una fruta tropical de origen asiático, el peso de estos frutos puede llegar a superar los 25 kg y su morfología es un atractivo visual para el consumidor (Villalobos, 2017). Este fruto puede consumirse fresco, además, se comercializa en diversos productos derivados como fruta seca, confitados, paletas, entre otros (Swami *et al.*, 2012). El fruto fue introducido a Nayarit, México entre los años 1994 y 1995, y actualmente Nayarit es el principal productor de yaca a nivel nacional ya que en el 2017 produjo el 91.74 % (22,192.83 Ton) de la producción total anual (SIAP, 2020). Sin embargo, los agricultores del estado de Nayarit no cuentan con información referente a las técnicas de poscosecha de la yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam), esto se ve reflejado en la vida útil del fruto, ya que al llegar a su destino, es poco el tiempo que se tiene para comercializarlo (Luna-Esquivel *et al.*, 2013). A causa del nicho de mercado de exportación con precios atractivos para este fruto, se tiene la necesidad de incursionar en el desarrollo de metodologías que brinden un mejor manejo poscosecha de este fruto (Hassan, 2010). Diversos estudios se han realizado para prolongar la vida de anaquel de la yaca, entre los cuales se destaca el uso de 1-Metilciclopropeno (Mata-Montes de Oca *et al.*, 2007; Osuna-Garcia, *et al.*, 2007), el control de temperatura con humedad relativa (Haq, 2006) y el uso de recubrimientos en bulbos (Saxena *et al.*, 2011b). Cada una de estas tecnologías generan cambios fisicoquímicos y fisiológicos que permiten retrasar la maduración de los frutos. En esta investigación se estudiará el efecto de la aplicación del 1-MCP a dos temperaturas durante el almacenamiento de la yaca, simulando el mercado y se evaluarán los efectos que tienen estas tecnologías en la vida poscosecha y las características organolépticas

CAPITULO 2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades de la yaca

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) es un fruto tropical originario del sureste de la india (Morton, 1965), cultivado principalmente tanto en la India como en Bangladesh y ha llegado a cultivarse en el continente americano por el occidente como Brasil, México y Estados Unidos (Hawái) (Villalobos, 2017). Estos árboles (Fig. 2.1 A) alcanzan hasta los 21 metros de altura, con hojas brillantes, coriáceas que miden 22.5 cm de largo (Fig. 2.1 B), son ovaladas y en ocasiones oblongas, en el caso de los brotes prematuros. Del tronco se sujetan ramas con tallos cortos con flores amarillas. El fruto de la Yaca es de gran tamaño, ya que este puede llegar a medir 90 cm de altura y 50 cm de ancho, de igual manera su peso es proporcional, ya que este fruto puede llegar a pesar más de 50 kg. La corteza del fruto es de color verde en la etapa de maduración y torna a un color amarillo cuando este maduro; como característica distinguida de su corteza, esta presenta puntas cónicas ordenadas que van conectadas a una pared gomosa y elástica (Fig. 2.1 C). El interior del fruto está compuesto por bulbos de color amarillo que al degustar induce una variedad de sabores similares al plátano, piña, melón, papaya, y se consideran una fuente de vitamina B6 (piridoxina), niacina, riboflavina, ácido fólico y antioxidantes como la vitamina C (Morton, 1965; Villalobos, 2017). En el interior de los bulbos tiene una semilla ovalada de color marrón que a su vez está cubierta por una fina membrana de color blanco, la semilla es lisa y varía su tamaño en 1.25 a 2 cm de grosor (Morton, 1965).

A)



B)



C)



Figura 2.1 A) Árbol; B) hoja; C) Fruto de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) material genético de trabajo conocido localmente como “Agüitada”.

2.1.1 Panorama de la producción de yaca a nivel mundial

Debido al aumento en la demanda de la yaca, se ha experimentado un crecimiento rápido en la producción a nivel mundial, que fue de 3.7 millones de toneladas de 2015 a 2017. En la India es un fruto conocido por su valor nutrimental, la producción media en este país es de 1.8 millones de toneladas al año, colocándolo como el mayor productor a nivel mundial (FAO, 2018). México destaca en la producción de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) ya que es principal proveedor de este fruto en Estados Unidos de América, Canadá y la Unión Europea (SIAP, 2017).

2.1.2 Producción de yaca en México

México se posiciona en primer lugar de producción de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) en el continente americano. Contando con 1,684.7 de hectáreas sembradas en 6 de sus 32 entidades federativas y con una producción de 26,641.4 toneladas en el 2019 (Cuadro 2.1).

Nayarit es el principal productor; no obstante, el desarrollo tecnológico de este cultivo es aún incipiente, el aprovechamiento del fruto puede optimizarse ya que solamente se comercializa la pulpa, y los demás subproductos que se generan son desechados (Villalobos, 2017); Actualmente no cuenta con un tratamiento poscosecha que logre extender la vida útil del fruto, en consecuencia su vida de anaquel es corta.

Cuadro 2.1 Producción de yaca por entidad federativa

Entidad Federativa	Superficie sembrada (HA)	Superficie cosechada (HA)	Producción (Ton)	Rendimiento	PMR (\$/T)	Valor de producción (Miles de pesos)
Colima	9.5	9.5	88.0	9.3	7,267.5	639.5
Hidalgo	5.5	5.5	23.4	4.2	14,500.0	338.9
Jalisco	37.0	37.0	498.73	13.5	4,194.3	2,091.8
Michoacán	7.0	7.0	39.2	5.6	7,217.4	282.9
Nayarit	1,555.7	1,376.7	24,792.7	18.0	7,546.3	187,092.9
Veracruz	70.0	69.0	1,199.4	17.4	8,218.5	9,857.3

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2019). PMR: Precio Medio Rural

2.1.3 La yaca en Nayarit

En México, y particularmente en Nayarit, la yaca se introdujo en el año de 1994, siendo dicha entidad, actualmente, la principal productora a nivel nacional (Villalobos, 2017). La producción nacional de yaca en el 2019 fue de 26,641.38 toneladas y se puede observar que Nayarit produce un 93 % de la producción nacional, seguido de Veracruz con un 4.5 % y Jalisco con 1.87 % (SIAP, 2020), 10 de los 20 municipios del estado de Nayarit, cultivan la yaca, siendo San Blas el mayor productor de este fruto con un 59.01 %, seguido del municipio de Compostela con un 37.55 % y Santiago Ixcuintla con un 1.33 % (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2 Producción de yaca por municipio en el estado de Nayarit.

Ubicación	Superficie sembrada (HA)	Superficie cosechada (HA)	Producción (Ton)	Rendimiento	Valor de producción (Miles de pesos)
Amatlán de Cañas	1.0	1.0	5.5	5.5	34.3
Bahía de Banderas	8.0	8.0	174.9	21.9	1,274.0
Compostela	629.0	500.0	9,310.5	18.6	75,646.1.
Rosamorada	1.2	1.2	11.2	8.9	75.9
San Blas	872.0	822.0	14,632.4	17.8	105,672.5.0
Santiago Ixc.	25.0	25.0	322.0	13.3	2,304.5
Tecuala	4.0	4.0	72.0	18.0	288.0
Tepic	10.4	10.4	180.4	17.3	1,274.3
Xalisco	5.0	5.0	73.7	14.7	523.1

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020).

El costo de la fruta por kilogramo en el mercado internacional oscila entre seis y siete dólares, siendo redituable la producción de yaca en el estado de Nayarit, ya que aporta rendimientos y beneficios a los productores de esta entidad. No obstante,

a pesar de las amplias expectativas de este cultivo se conoce muy poco acerca de las características, el desarrollo, producción, cosecha y comercialización de este fruto exótico (Villalobos, 2017); aunado a lo anterior el desarrollo de tecnología poscosecha ha sido mínimo.

2.2 Mercado nacional e internacional

La producción de yaca en el estado de Nayarit es destinada al mercado internacional. A nivel nacional, estados como Jalisco, Sinaloa y ciudad de México, son los principales consumidores de este fruto (SADER, 2018).

En el mercado internacional, la venta y compra de frutas tropicales de menor producción sigue siendo una novedad. Solo una reducida cantidad de estos frutos tiende a estar a disposición a través de mercados étnicos dirigidos a consumidores migrantes, y en su mayoría de origen asiático, o algunos canales minoristas Premium. No obstante, se están desarrollando más oportunidades de mercado gracias a la urbanización y al crecimiento de los ingresos de los países, en el caso de la yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) estos países son Estados Unidos de Norteamérica y la Unión Europea.

México tiene un mercado de exportación de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*), principalmente a EUA ya que en el 2016 el total de su producción fue exportada a Estados Unidos de América, Canadá y Reino Unido (Cuadro 2.3) (SIAP, 2017).

Cuadro 2.3 Volumen y valor anual aproximado exportado de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) por país de destino en el 2016.

País	Volumen (Toneladas)	Valor Comercial (Dólares)
Canadá	876	505,653
Estados Unidos de Norteamérica	15,918	6,838,304
Reino Unido	3.6	2,529

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017)

En años anteriores México exportaba yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) a otros países como: Alemania (2015), Francia (2015), Países Bajos (2014), Suecia (2014) y Suiza (2011), pero debido a las normas sanitarias y de calidad esta demanda del fruto se suspendió (SIAP, 2017).

Los frutos exportados a la unión europea deben de cumplir con la norma general de comercialización (General Marketing Standard), como un estado de madurez óptimo, legislación OJ L-157 15/06/2011 (DOUE, 2018).

2.3 Respiración de los frutos

Se le denomina respiración vegetal al conjunto de reacciones celulares donde los carbohidratos sintetizados en la fotosíntesis son oxidados a CO₂ y H₂O y la energía que se libera de esta reacción se transforma en su mayoría en ATP. Además de los carbohidratos, los lípidos y las proteínas también pueden ser oxidadas, pero a menor medida, ya que los carbohidratos son los sustratos responsables de la respiración de las plantas. El ATP almacenado que se obtiene de la respiración, es utilizado para el crecimiento de los órganos vegetales y de la planta, brinda estabilidad a las estructuras ya desarrolladas, transporta iones y metabolitos, regenera proteínas y participa en procesos de reparación (Azcon-Bieto & Talón, 2013).

La respiración celular está conformada por reacciones que parten desde la glucólisis, la vía de oxidación de las pentosas fosfato, la β -oxidación de los ácidos grasos, el ciclo de los ácidos tricarbónicos, la oxidación del poder reductor (principalmente NADH) por la cadena respiratoria mitocondrial y finalizando con la fosforilación oxidativa ADP para la generación de ATP (Florez-Sarasa *et al.*, 2011). La yaca tiene un alta tasa de respiración que oscila entre 20 y 25 mg de CO₂/kg·h (Saxena *et al.*, 2011a), la tasa de respiración refleja la actividad metabólica y desempeña un papel importante en la vida poscosecha de los frutos (Olmos-Cornejo *et al.*, 2018).

2.3.1 Frutos climatéricos y no climatéricos

Los frutos se dividen en dos grupos de acuerdo a la producción de CO₂ y etileno denominándose; frutas climatéricas y no climatéricas (Li *et al.*, 2016). La yaca es una fruta climatérica altamente perecedera con una vida poscosecha corta, durante la cual se producen cambios importantes en el color, la textura y el sabor (APAARI, 2012). Las frutas climatéricas tienen como característica el aumento de la producción de CO₂ y la generación de etileno durante la maduración. Las frutas no climatéricas, al corte no presentan aumentos en la producción de CO₂ y de etileno (Martínez *et al.*, 2017). Al iniciar la maduración, la fruta climatérica llega al pico de la respiración y consecuentemente a la producción de etileno, sin embargo, a pesar de la relación que existe entre la respiración que ocurre en el climaterio y la maduración de la fruta, ésta se ha cuestionado debido a los cambios durante la maduración en la vida de varias frutas que puede o no coincidir con el aumento de etileno en frutos climatéricos. Se ha reportado que las condiciones ambientales prevalecientes pueden modificar la presencia o ausencia de un climaterio respiratorio en la vida de los frutos, por lo que se puede considerar que el clima respiratorio es un desencadenante secundario y consecuente del proceso de maduración (Bouzayen *et al.*, 2010). En el Cuadro 2.4, se describen diversos frutos con su rango de respiración y el día en el que presentan su pico climatérico.

Cuadro 2.4 Frutos climatéricos y su pico respiratorio.

Fruto	Rango de respiración	Temperatura de almacenamiento	Pico respiratorio (días de almacenamiento)	Referencia
Durazno	245 (mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	20 °C	8	Kan <i>et al.</i> , (2011)
Pera	450 (mL·100 g·h)	20 °C	2-3	Xanthopoulos <i>et al.</i> , (2017)
Buriti	28 (mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	20 °C	4	Milanez <i>et al.</i> , (2018)
Aguacate	580 (mmol·kg ⁻¹ ·s ⁻¹)	25 °C	3	Perato <i>et al.</i> , (2018)
Ciruela	33 (mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	25 °C	3	Wang <i>et al.</i> , (2016)
Yaca	90.7 (mL·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	20 °C	8	Mata-Montes de Oca <i>et al.</i> , (2007)

2.3.2 Producción de etileno

Se han descrito dos sistemas de biosíntesis de etileno. El primero corresponde a la baja producción de etileno en el periodo pre-climatérico de la fruta climatérica, el cual está presente también en todo el desarrollo de la fruta no climatérica. El segundo se refiere a la “síntesis autocatalítica”, la cual es una producción masiva de etileno y es específica de la fruta climatérica. Es así que la principal diferencia entre los frutos climatéricos y no climatéricos en referencia al etileno, es la presencia o ausencia de la producción de etileno autocatalítico (Bouzayen *et al.*, 2010).

2.3.3 Etileno

El etileno es una hormona que se encuentra en un estado físico gaseoso y lo producen los angiospermas y gimnospermas. El estado físico del etileno favorece la movilidad por los tejidos (difusividad). Una de las características del etileno como hormona de maduración es que, para iniciar este proceso, es necesaria una cantidad mínima de 1 ppm para inducir a los cambios de maduración (Jordán & Casaretto, 2006). La maduración y senescencia de los frutos es regulada por el etileno, esto se debe a que inducen la expresión de genes que codifican para las enzimas que se relacionan con los cambios durante la maduración y senescencia de los frutos climatéricos (Jiang & Fu, 2000). Por otro lado el conocimiento del mecanismo de síntesis del etileno ha permitido incursionar en la generación de nuevas tecnologías y procesos para retrasar la respiración y producción de etileno de los frutos climatéricos, donde resalta la utilización de 1-Metilciclopropeno (Mata-Montes de Oca *et al.*, 2007), el uso de atmosferas modificadas (Saxena *et al.*, 2011b) entre otros (Balaguera-López *et al.*, 2015).

2.3.4 Biosíntesis de etileno.

En 1973, S.F Yang describió la biosíntesis del etileno, nombrándola ciclo de la metionina o de Yang (Fig. 2.2). iniciando con la metionina, que, al asociarse con la adenosina, se genera la S-adenosilmetionina (SAM). Posteriormente, SAM se convierte en ACC (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico) desdoblándose en etileno con liberación de CO₂. En esta conversión se libera 5 metil-tio-adenosina, la cual se disocia en adenina y ribosa (metil-tio-ribosa) pasando por varias reacciones para generar nuevamente metionina y continuar con el ciclo, de ahí la importancia del ciclo, ya que recicla la metionina, fuente de azufre y aminoácido poco abundante. Las tres reacciones principales están íntimamente relacionadas por las enzimas AdoMet-sintasa para la síntesis de SAM; la ACC-sintasa para el ACC y la ACC-

oxidasa para el etileno, siendo esta última una reacción aeróbica (Yang & Hoffman, 1984).

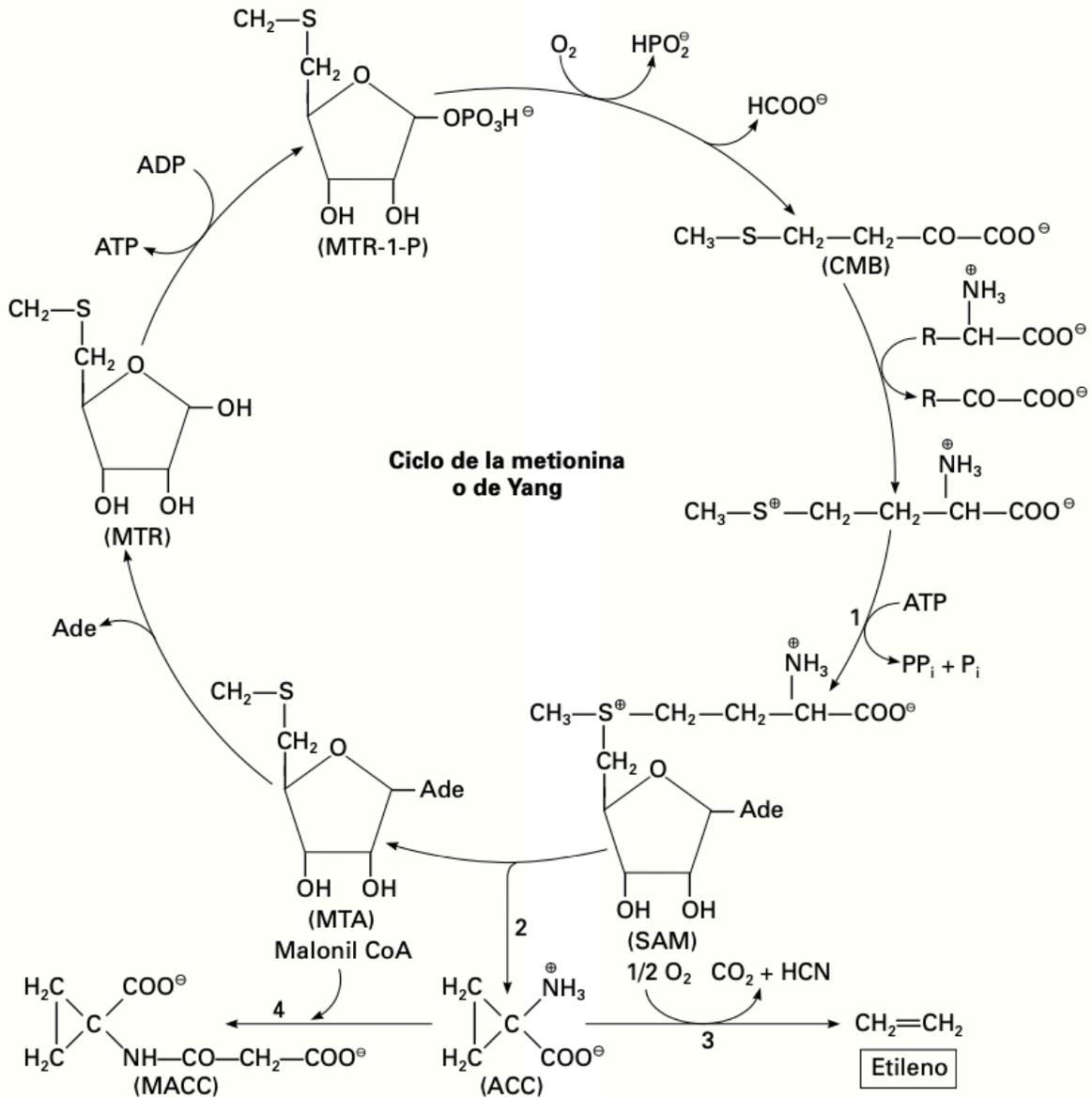
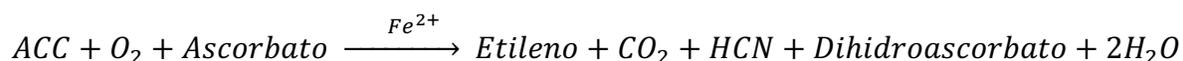


Figura 2.2 Biosíntesis de etileno y ciclo de Yang (Jordán & Casaretto, 2006)

Existen factores que pueden acelerar o frenar estas inter conversiones. Se ha determinado que el ácido 1,3 indol-acético (AIA) puede inducir la síntesis de etileno al promover la síntesis de ACC-sintasa. También los factores abióticos, como inundación, sequía y daño mecánico por heladas, heridas (granizo) o etapas de desarrollo como el grado de madurez del fruto, puede afectar la síntesis y actividad

de esta enzima. En el caso de la ACC-oxidasa, la maduración y condición aeróbica, a temperaturas no superiores a 35 °C, estimulan la conversión a etileno. Se ha observado aumentos de ACC, ACC-oxidasa y etileno en frutos un par de días después de su cosecha, pero en situaciones de estrés también pueden ser incrementadas estas enzimas referencia (Azcon-Bieto & Talón, 2013). La etapa final de la síntesis de etileno es la oxidación de ACC a etileno por la ACC- oxidasa, esta oxigenasa requiere iones hierro y ascorbato, además es estimulada por el CO₂ de forma que:



La ACC- oxidasa tiene una alta afinidad por su sustrato y es necesaria la presencia de oxígeno para su actividad (Ververidis & John, 1991).

2.3.5 Etileno y mecanismo de acción sobre el fruto

El inicio de la transducción de señales en el fruto, inicia con la unión de una molécula de etileno con un grupo de receptores proteicos que se ubican en el retículo endoplásmico (Balaguera-López *et al.*, 2015), los cuales se codifican por una familia multigénica que produce proteínas estructuralmente diferentes pero con una función repetitiva (Bouzayen *et al.*, 2010).

La unión del etileno con el receptor ocurre en el dominio N- terminal del receptor y es necesaria la intervención de iones de cobre (Cu I) para la formación de un dímero receptor (Binder, 2008). Los genes que codifican para los receptores se expresan dependiendo del órgano, tejido o etapa del desarrollo en respuesta a estímulos exógenos (Bouzayen *et al.*, 2010).

El número de receptores varían entre especies, en el caso de la *Arabidopsis thaliana* se han reportado 5 receptores (ETR1 y 2 (Ethylene- Response); ERS1 y 2 (Ethylene-Sensor) y EIN4 (Ethylene-Insensitive) (Klee & Giovannoni, 2011), en tomate 7 (ETR1 al 7, donde ETR3 se conoce como NR (Never-Ripe) (Barry & Giovannoni, 2007) y en manzana 5 (ETR1-2-5 y ERS1-2) (X. Yang *et al.*, 2013).

El componente sucesivo en la vía de señalización es CTR1 (Constitutive Triple Response 1), el cual es una proteína quinasa Raf-like ser/thr con similitud en su dominio C-terminal a la proteína MAPKKK (*mitogen activated protein kinase kinase kinase*) encontrada en mamíferos (Chen *et al.*, 2005). Esta proteína interactúa con el dominio quinasa de los receptores y en presencia de etileno desencadena una cascada de fosforilaciones MAP-quinasa (Adams-Phillips *et al.*, 2004) que afectan el estado de fosforilación de otras proteínas corriente abajo, incluyendo factores de transcripción (Stepanova & Alonso, 2009).

Las proteínas inducidas después de la cascada MAP-quinasas, son EIN2 (Ethylene Insensitive 2), la cual es una proteína de membrana transportadora de metales, con similitud a transportadores tipo NRAMP (*Natural Resistance Associated Macrophage Protein*) (Czarny *et al.*, 2006). La función de EIN2 es regular la disponibilidad del factor de transcripción EIN3 mediante un mecanismo hasta el momento desconocido (Yoo *et al.*, 2009). EIN3 y EIL1 (EIN3-LIKE1) se unen a un motivo (*motif*) conocido como elemento primario como respuesta al etileno (PERE), que está presente en los promotores de ERF1 (Ethylene Response Factor 1, *por sus siglas en inglés*), EBF2 (EIN3-BINDING-SITES); posterior a que se activan estos promotores se lleva a cabo la transcripción y traducción genética de la producción de enzimas relacionadas con la maduración de frutos (Fig. 2.3) (Barry & Giovannoni, 2007; Owino *et al.*, 2002).

2.3.5.1 Maduración en el fruto.

La maduración de los frutos es la respuesta a la acción del etileno, es uno de los procesos más importantes en las frutas que involucra cambios en el color, el sabor y la textura, y por lo tanto las hace más aceptables para fines comestibles (Jain *et al.*, 2003).

En el fruto de yaca el etileno tiene un gran efecto en la firmeza del fruto, debido a que estimula la actividad de las enzimas (celulasas, exoglucanasas, poligacturonasas, entre otras) que degradan la pared celular (Mata-Montes de Oca *et al.*, 2007; Osuna-García, *et al.*, 2007).

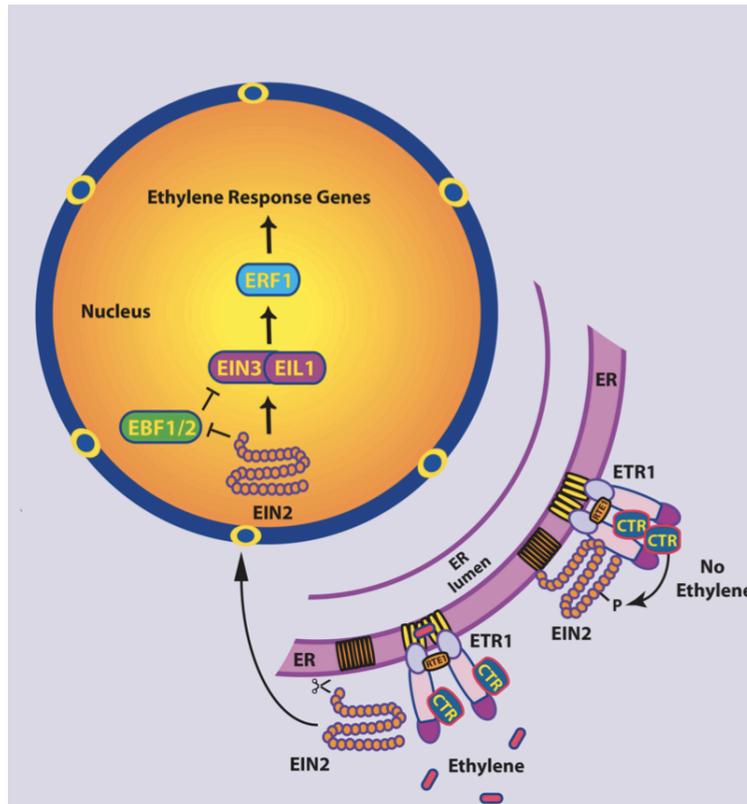


Figura 2.3 Esquema del sendero de transducción que media la señal del etileno (Ribaudó, 2013).

Además, durante el proceso de maduración de la yaca el azúcar total, el azúcar reductor y el SST aumentan, pero el contenido de vitamina C y la acidez disminuyen (Saha *et al.*, 2016). Este aumento proviene de la degradación del almidón por la acción de las enzimas amilasas, fosforilasas y alfa-1,4-glucan-fosforilasas, se ha reportado (Azizur *et al.*, 1999). El color de la pulpa de los frutos de yaca varía de amarillo pálido a naranja cuando su índice de madurez incrementa (Saxena *et al.*, 2012).

2.4 Manejo poscosecha de frutos

Referente al manejo poscosecha destacan principalmente el pre-enfriamiento, control de temperaturas y humedades relativas.

El pre-enfriamiento elimina el calor de los frutos en el campo cuando estos son cosechados, una temperatura de recolección elevadas perjudican la calidad del fruto, ya que en el momento que se recolecta, el suministro de agua y nutrimentos se detiene (Hardenbur, 1988) por el contrario el pre enfriamiento reducirá la actividad microbiana, las tasas de respiración y la producción de etileno, lo que ayuda a preservar la vida útil de las frutas (Ferreira *et al.*, 1994). El proceso de pre-enfriamiento puede efectuarse mediante varios métodos, como el enfriamiento natural por aire, el enfriamiento por aire forzado, el enfriamiento hidráulico, enfriamiento por hielo y enfriamiento por vacío. Cada uno difiere en eficiencia y en costo (Kalbasi, 2004).

Al llevarse a cabo el control poscosecha del fruto, el factor de la temperatura se considera importante, ya que ésta puede frenar la velocidad metabólica del fruto si llega a existir un descenso de la temperatura en la pulpa; de igual manera, la velocidad de maduración y senescencia disminuye al enfriarlas. La presión de vapor de agua en los tejidos y la velocidad en la que la fruta pierde agua se ve afectada. La fruta debe enfriarse tras su recolección, ya que el descenso térmico frenará y retardará las infecciones, pero solo si se alcanza una temperatura adecuada que debe mantenerse (Yahira, 1992).

La humedad relativa es otro factor importante en el manejo poscosecha; una humedad relativa adecuada durante el almacenamiento de frutas y hortalizas minimiza la transpiración y la pérdida de agua, por lo que pueden mantener su vigor y retardar la senescencia. De lo contrario, se puede llegar a la condensación, crecimiento de hongos en la superficie, deterioro, piel agrietada, entre otras características indeseables (Liu, 1992). Generalmente, los cuartos de almacenamiento deben de proporcionar una humedad relativa que oscila entre 80 - 90 % (Orjuela, 2011). Frutos como la manzana pueden durar más de 6 meses si son almacenados a temperaturas de -1 a 5 °C después de 3 a 5 días de su cosecha, además de estar a 90 % - 95 % de humedad relativa durante el almacenamiento (Li *et al.*, 2016).

2.4.1 Manejo poscosecha de frutos de yaca

En México no existe el manejo poscosecha con la aplicación de una tecnología específica que contribuya a prolongar la vida útil de la yaca.

Saxena *et al.* (2011a) reportan que en la India el manejo de la yaca comienza con la cosecha del fruto; primeramente, se coloca en plataformas de fibra de coco y para evitar que el látex entre en contacto con la superficie de la fruta, se coloca el extremo cortado orientado hacia el suelo, clasificando la fruta según el tamaño, ya que pueden producir bulbos de pequeños a grandes según su talla. Una vez realizada la clasificación, se procede a realizar un enjuague con agua clorada. Se realiza la separación de los frutos en base a su estado de madurez, y los frutos inmaduros, se dejan madurar a temperatura ambiente durante 3 a 4 días, mientras que los frutos maduros pueden continuar el proceso de maduración en la empacadora. Una vez madurado el fruto, se corta para extraer el núcleo y separar los bulbos para que éstos puedan ser clasificados por tamaño y empaquetarse en bandejas o bolsas para fines de mercadeo. Estas operaciones se desarrollan a temperaturas de 18 a 20 °C, con excepción de los lavados, los cuales son a 25 °C. El almacenamiento a granel de los frutos se realiza a 12 ± 1 °C y los bulbos envasados se almacenan de 5 a 6 °C. Ocasionalmente, el fruto puede mostrar síntomas de daño por frío como ablandamiento, colapso del tejido, pardeamiento, zonas hundidas en la cutícula y necrosis de tejido cuando se almacena a temperaturas inferiores a 12 °C; no obstante la temperatura más baja que puede ser tolerada por la yaca es de 2 °C (Saxena *et al.*, 2011a).

En Jamaica, se han adoptado técnicas poscosecha que han permitido la reducción de pérdidas sustancialmente, las cuales sugieren que, el fruto debe ser cortado del tallo del árbol con un equipo afilado, si el fruto está cerca de la copa del árbol, se debe atar un saco alrededor de la fruta con una cuerda y bajarla suavemente al suelo, esto para evitar daño mecánico. Los frutos cosechados deben transportarse en contenedores de plástico y almacenarse a la sombra, separando los frutos que estén defectuosos (enfermos, dañados mecánicamente y no aptos para

comercialización). Una vez en el empaque, deben lavarse con agua clorada para remover látex, manchas o suciedad (FAO, 2008).

En México se han adoptado técnicas empíricas de manejo poscosecha. Estas técnicas comienzan con el transporte del fruto en cajas con divisiones de cartón para evitar la fricción. Una vez en la empacadora se procede a realizar una selección cualitativa del fruto, descartando aquellos que no presentan los requisitos de calidad como maduración avanzada, deformación del fruto, pudrición y hundimiento del pedúnculo. La yaca seleccionada se limpia con aire comprimido con la finalidad de remover el polvo, ácaros, insectos o cualquier otro elemento no deseado; Posteriormente, los frutos se pesan y se lavan en una solución con hipoclorito de sodio; se elimina el exceso de agua y nuevamente se realiza una inmersión, pero esta vez en solución fungicida. Finalmente, el fruto se seca y se procede a sellar el pedúnculo con oxiclورو de cobre para evitar la salida del látex y de esta manera evitar el desarrollo de hongos durante el almacenamiento y transporte. Dependiendo del tamaño de la yaca, se colocan de 1 a 3 unidades en cajas de 40x50x25 cm que tienen aberturas en los costados para la circulación de aire. La temperatura antes del transporte es de aproximadamente 8 ± 2 °C y la de transporte es de 12-14 °C (Luna & Alejo, 2013).

En forma general existen factores poscosecha que van a influenciar la calidad de los frutos, dentro de los cuales se encuentran los que están relacionados con las tecnologías que permitirán un adecuado manejo, empaque, transporte, almacenamiento y comercialización. Estas tecnologías van desde control de temperatura, humedad relativa, irradiación y tratamientos químicos (Brasil & Siddiqui, 2017)

Los tratamientos químicos como la aplicación de inhibidores competitivos de etileno (1-MCP), pueden interactuar de modo irreversible con los receptores de etileno de las frutas, evitando así estímulos fisiológicos que retrasará la tasa de respiración y la producción de etileno durante la maduración (Li *et al.*, 2016).

2.4.2 1-Metilciclopropeno para la conservación de frutos climatéricos.

El 1- Metilciclopropeno (1-MCP) es un cicloalqueno proveniente de manera análoga de la fotodescomposición del diazo-ciclopentadieno (DACP) (Serek *et al.*, 2006), tiene la fórmula de C_4H_6 . A presión y temperaturas estándar (1 atm y 20 °C respectivamente) es un gas, su peso molecular es 54 g/mol (Blankenship & Dole, 2003).

El 1-MCP es considerado un antagonista del etileno ya que interactúa con los receptores de etileno de la fruta y evita que se desencadene el sistema de transducción de señales de etileno y la inducción de genes que participan en el proceso de maduración. El 1-MCP se utiliza para prolongar la vida de anaquel de diversos frutos ya que su principal efecto es retrasar el aumento en la respiración y las tasas de producción de etileno durante la maduración, lo que se refleja en el atraso del ablandamiento, el cambio de color, la descomposición del almidón de los frutos tratados.

La mayor utilidad que tiene este compuesto es la aplicación en frutos climatéricos, ya que éstos presentan una tasa de respiración más alta que los no climaterios y se genera un aumento en la producción de etileno (Blankenship & Dole, 2003).

2.4.2.1 Mecanismo de acción del 1-MCP

El 1-MCP se aplica como una tecnología poscosecha y éste ejerce un bloqueo en la unión del etileno con su receptor. Para explicar el mecanismo de acción del 1-MCP en los receptores, Blankenship (2001) explicó que los receptores de etileno funcionaban como una “cerradura” y las moléculas de etileno como una “llave”, ya que el etileno se adhiere con el receptor y se produce una reacción en cadena (Fig. 2.4). En este caso el 1-MCP funciona de la misma forma, como una “llave” que se puede introducir en la cerradura (receptores) pero no producen la reacción en cadena, de esta forma los receptores que están unidos a las moléculas de 1-MCP

no reaccionaran en presencia de etileno (Fig. 2.5). Sin embargo, la producción del fruto de nuevos receptores de etileno, reanudaría la maduración del fruto.

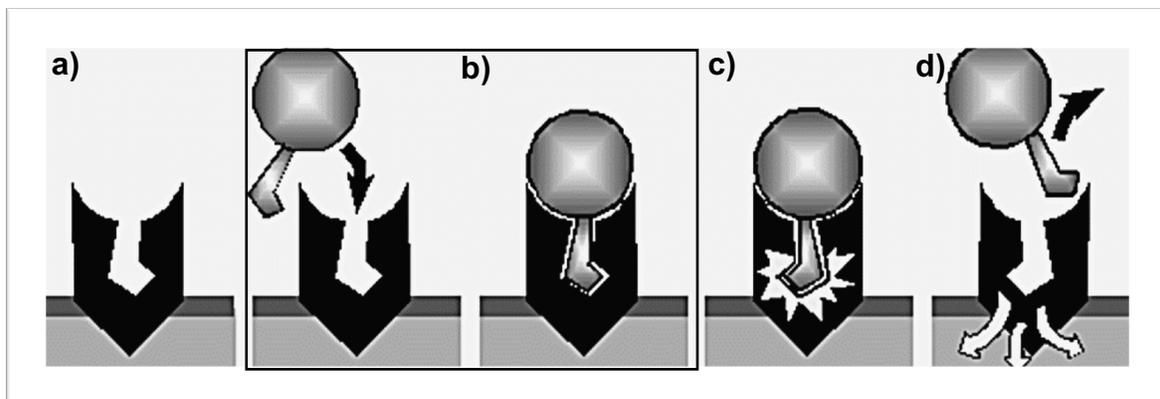


Figura 2.4 Unión de la molécula de etileno a los receptores del fruto en representación mecánica “llave” y “cerradura.”. a) Receptores de etileno en la célula, b) Moléculas de etileno tomando posición en el receptor de etileno, c) La molécula de etileno actúa como una “llave” activando el receptor, d) La señal es enviada a la célula y la molécula de etileno se libera (Blankenship & Dole, 2003).

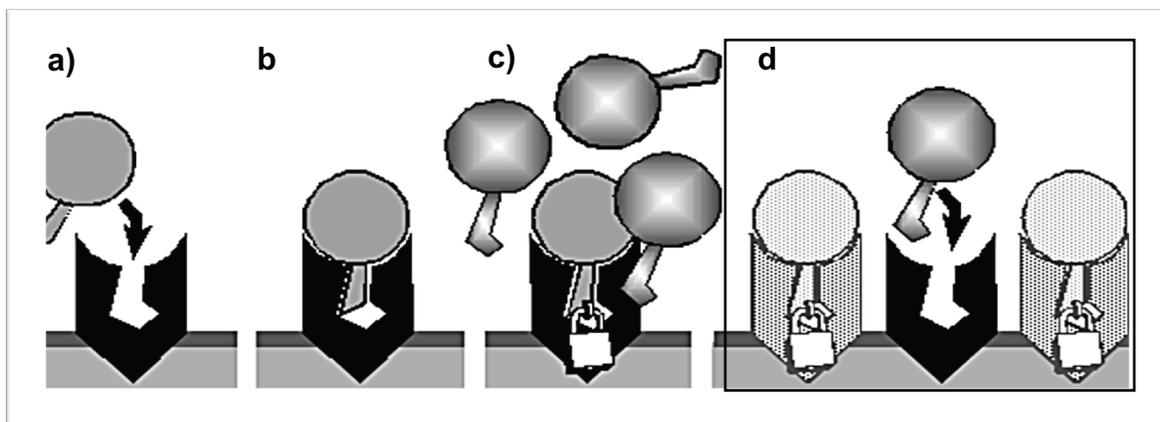


Figura 2.5 Enlace de la molécula de 1-MCP con el receptor de etileno, donde no se desencadena la reacción y obstruye la recepción del etileno.”. a) Las moléculas de 1-MCP también pueden ocupar el lugar de los receptores de etileno, b) No obstante, las moléculas de 1-MCP no accionan los receptores, inhibiendo la señalización, c) Los receptores de etileno, no liberan al 1-MCP bloqueando el posicionamiento del etileno en el receptor, d) Dependiendo del fruto, nuevos receptores de etileno

pueden formarse y las células pueden regenerar su sensibilidad al etileno (Blankenship & Dole, 2003).

2.4.2.2 Concentraciones efectivas del 1-MCP.

Las concentraciones de 1-MCP que son necesarias para inhibir la acción de los receptores de etileno es baja y varía de acuerdo con el fruto, la especie, el cultivar, el nivel de maduración (cuadro 2.5) y de igual manera la capacidad que tiene el fruto de generar nuevos receptores de etileno (Watkins, 2006).

Blankenship & Dole (2003) mencionan diferentes concentraciones y temperaturas para la aplicación del 1-MCP, éstas oscilan entre 25 a 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ a temperaturas de entre 20 a 25 °C por 14 h. Por otro lado, Serek *et al.* (2006) recomienda que la concentración en marcas comerciales del 1-MCP (EthylBlock® y TMSmartfresh®) esté entre 1 a 100 nL / L para la manzana (*Malus domestica*), Song *et al.*, (2018) sugieren utilizar 1 $\mu\text{L/L}$, para tomate ya que alarga la vida útil hasta por 12 días después de ser tratado con el 1-MCP.

De manera particular, en el tratamiento poscosecha de la yaca entera, Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) encontraron que a 20 °C el 1-MCP a dosis de 100 nL / L podría ser utilizado para la exportación del fruto porque alarga vida de anaquel, mantiene calidad, minimiza pérdidas poscosecha y reduce los costos.

En el cuadro 2.5 se encuentran las concentraciones de 1-MCP que diversos autores utilizaron en su experimentación para prolongar la vida de anaquel de los frutos tratados además de los días que lograron extender las cualidades óptimas del fruto.

2.4.2.3 Cambios fisiológicos y fisicoquímicos causados por 1-MCP

Firmeza

Los tratamientos poscosecha con 1-MCP, producen cambios en la respiración ya que disminuyen la capacidad de oxidación del succinato de las mitocondrias, propiciando una disminución de la respiración de los frutos. Este mecanismo que

reduce la respiración se observa en el mango “Amelie” (Osuna-García *et al.*, 2007) y en las Moras (Guzmán & Cuenca, 2018). También se observa una alta actividad de pectin-metilesterasa, poligaracturonasa, endo- β -1,4 Glucanasa, pectato liasa y celulasa lo que se refleja en los frutos con la pérdida de firmeza y ablandamiento de la cáscara, ya que estas enzimas

degradan la pectina y la celulosa. El 1-MCP influye en el bloqueo de la cadena de señales metabólicas que accionan las enzimas prolongando más el tiempo en el que el fruto mantenga su pared firme (Huerta-Ocampo *et al.*, 2012).

Color

Cheng *et al.*, (2012) indican que el uso de 1-MCP disminuye la actividad de enzimas como las Clorofilasas, ya que el 1-MCP inhibe la expresión de los genes PAO (feoforbida oxigenasa), NYC (nonyellow coloring), NOL (“NYC1-like) y SGR1 (“stay Green 1”) los cuales se relacionan con la vía catabólica de las clorofilas.

Azúcares

Mainardi *et al.*, (2006) reportan que el 1-MCP disminuye la actividad de las enzimas fosforilasas de almidón (α -1,4-Glucano-fosforilasa) y la expresión de genes PpAIV1 (invertasa ácida soluble) y PpSPS1 (sacarosa fosfato sintasa) lo cual contribuye a una disminución en el contenido de azúcares.

Cuadro 2.5 Concentraciones de 1-MCP utilizadas en el alargamiento de la Vida útil de diversos frutos

Fruto	Concentración de 1-MCP	Temperatura de almacenamiento	Días de vida de anaquel	Referencia
Papaya Maradol	100 nL / L	21 ± 2°C; 70 ± 10 % HR.	3 días	Osuna García <i>et al.</i> , (2009)
Ciruela fenotipo amarillo	100, 200 y 300 nL / L	22 ± 2°C; 70 ± 10 % HR.	9 días	Osuna <i>et al.</i> , (2011)
Aguacate Hass	200 nL / L	22 ± 2°C; 75 ± 10 % HR.	6 días	Osuna <i>et al.</i> , (2005)
Banano	500, 750 y 1000 nL / L	27±2°C; 70 ± 10 % HR.	10 días	Krishnakumar & Thirupathi, (2014)
Yaca	100 y 300 nL / L	20 ± 1°C; 85 ± 5 % HR	12 días	Mata-Montes de Oca <i>et al.</i> , 2007)
Mango “Tommy Atkins”	300, 600 y 1000 nL / L	10 ±12°C; 85 ± 90 % HR.	13 días	Corrales (2015)
Mango “Ataulfo”	300, 600 y 1000 nL / L	13 ± 1°C; 85 ± 90 % HR	5 días	Ortiz-Franco <i>et al.</i> , (2016)
Pera “Packham's Triumph”	300 y 600 nL / L	10 ± 2°C; 85 ± 90 % HR	14 días	Calvo & Candan, (2015)
Manzana “Golden Delicious”	625 nL / L	22 ± 2°C; 85 ± 90 % HR	6 días	Gago <i>et al.</i> , (2015)
Guanábana	1500 nL / L	16 ± 2°C; 85 ± 90 % HR	15 días	Montalvo González <i>et al.</i> , (2014)

Con respecto a la pérdida de peso Jeong *et al.*, (2002), menciona que para el aguacate de la variedad “Simmons” almacenado a 20°C con el tratamiento de 1-MCP a 450 nL / L por 24 h disminuyó significativamente la pérdida de peso, ésta baja de peso fue atribuida a la disminución de la intensidad respiratoria y la baja producción de etileno. Por otro lado, Osuna *et al.*, (2005) reportan, que no existe diferencias en la pérdida de peso de los frutos tratados con 1-MCP y los frutos testigo almacenados a baja temperatura. Por lo que las diferencias las atribuye a las temperaturas bajas considerando que por efecto de ellas, disminuyen los procesos fisiológicos de respiración y la producción de etileno.

2.4.3 Calidad

En el mercado actual, la búsqueda de la calidad y la excelencia se convierte en algo de interés para los productores de alimentos y agricultores (Parrilla, 2002). Las exigencias del consumidor actual de frutas y hortalizas van más direccionadas a los aspectos cualitativos que los cuantitativos (Zapata, 1996).

Uno de los componentes de interés por parte de los consumidores son los antioxidantes, estos retrasan el proceso de envejecimiento combatiendo la degeneración y muerte de las células que provocan los radicales libres. La mayor parte de la capacidad antioxidante de frutas y vegetales se le proporciona debido a su contenido de vitamina E, C y carotenoides, así como de diferentes polifenoles (Gutiérrez *et al.*, 2007).

2.4.3.1 Polifenoles

Los polifenoles presentes en las frutas incluyen a un amplio rango de componentes con actividad antioxidante, como los ácidos hidroxicinámicos, hidroxibenzóicos, flavonoles, flavanoles, antocianinas, entre otros. La abundancia de estos compuestos es dependiente de la especie, tipo de cultivo, piel y parte comestible o

pulpa, suelo, estado de madurez, horas luz, incluso de la fertilización (Eberhardt *et al.*, 2000)

Estos fitoquímicos pueden presentar diferentes mecanismos que se complementen o puedan generar una sinergia para neutralizar los agentes oxidantes (R. H. Liu, 2004) Por ello, en los últimos años el interés en los polifenoles se ha incrementado especialmente en nutriólogos, epidemiólogos y en la industria de los alimentos.

El efecto del 1-MCP sobre la calidad nutricional de los productos agrícolas no ha sido estudiado a profundidad (Balaguera-López *et al.*, 2014). Se ha reportado que la aplicación de 1-MCP incrementa el contenido de antioxidantes solubles en agua, pero no altera los compuestos fenólicos en frutos de manzana (Defilippi *et al.*, 2005).

Los fenoles solubles totales son aquellos compuestos que pueden solubilizarse en medios salinos, que al ser cuantificados pueden formar complejos coloreados según el número de grupos hidroxilos presentes en su estructura. El método de Folin-Ciocalteu es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y reproducibilidad ya que este método utiliza un reactivo constituido por molibdato y tungsteno sódico (medio salino) los cuales reaccionan con los grupos fenoles formando complejos coloreados que permiten su cuantificación espectrofotométrica a 750 nm (Montreau, 1972)

2.4.3.2 Análisis sensorial

Además de las propiedades físicas y químicas que pueden tener los frutos, uno de los criterios más importantes que determinan la elección y la fidelidad de un consumidor son los atributos sensoriales, sin embargo estos atributos no son cuantificables además de ser identificados hasta el momento de consumir el alimento (Roman, 2017)

Esta ciencia hace uso de los sentidos como un instrumento de medición, ya que por medio de estos permite interpretar y cuantificar sensaciones (Picallo, 2002). Si los

parámetros tienen correlación con las características percibidas, se puede confiar en que el producto estará cerca o próximo a cumplir las expectativas del consumidor. La aceptación de los alimentos es muy variable, ya que depende de las perspectivas culturales, demográficas y psicológicas del consumidor (Prussia & Shewfelt, 1993). Uno de los análisis de interés son las pruebas hedónicas, ya que estas permiten al consumidor expresar su reacción, su nivel de agrado y preferencia de un producto. Estas respuestas se llevan a cabo en diferentes niveles del individuo, tanto fisiológico y psicológico que interactúan entre sí y generan un veredicto. Los estudios de esta naturaleza son primordiales para conocer en que medida un producto o en este caso un fruto, puede ser del agrado del consumidor (Manfugás, 2007).

CAPITULO 3. JUSTIFICACIÓN

El 90% de la producción nacional de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) se exporta a distintos países, principalmente Estados Unidos de América, Canadá y Reino Unido. Sin embargo, debido a que la yaca es un fruto múltiple y climatérico, tiene una alta intensidad respiratoria y presenta un incremento en los picos de producción de etileno, ocasionando en el fruto un proceso de maduración acelerado y limitando la vida útil de producto.

Existen estudios donde se han aplicado retardadores químicos (inhibidores de síntesis del etileno) como el 1-metilciclopropeno que bloquean a los receptores de etileno y alargan la vida de anaquel del fruto tratado; no obstante, en estos estudios no existe información sobre el efecto simultáneo del 1 MCP a diferentes temperaturas de almacenamiento en simulación a mercadeo.

Debido a lo anterior se desarrolla el presente trabajo de investigación en el que se estudia el efecto de la aplicación del 1MCP a diferentes temperaturas en condiciones de simulación a mercadeo en la maduración poscosecha del fruto de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam); como una alternativa para la extensión de la vida de anaquel de los frutos, considerando de esta manera que los agricultores y empacadores del país puedan expandir el mercado de exportación además de ofrecer un fruto de calidad y que este aumente su valor económico.

CAPITULO 4. OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar el efecto del 1-Metilciclopropeno a diferentes temperaturas de almacenamiento en simulación a mercadeo de la yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam).

Objetivos específicos:

Evaluar el efecto del uso de 1-Metilciclopropeno en el proceso de maduración en los frutos de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam, sobre la velocidad de respiración y velocidad de producción de etileno a 8 y 13 °C.

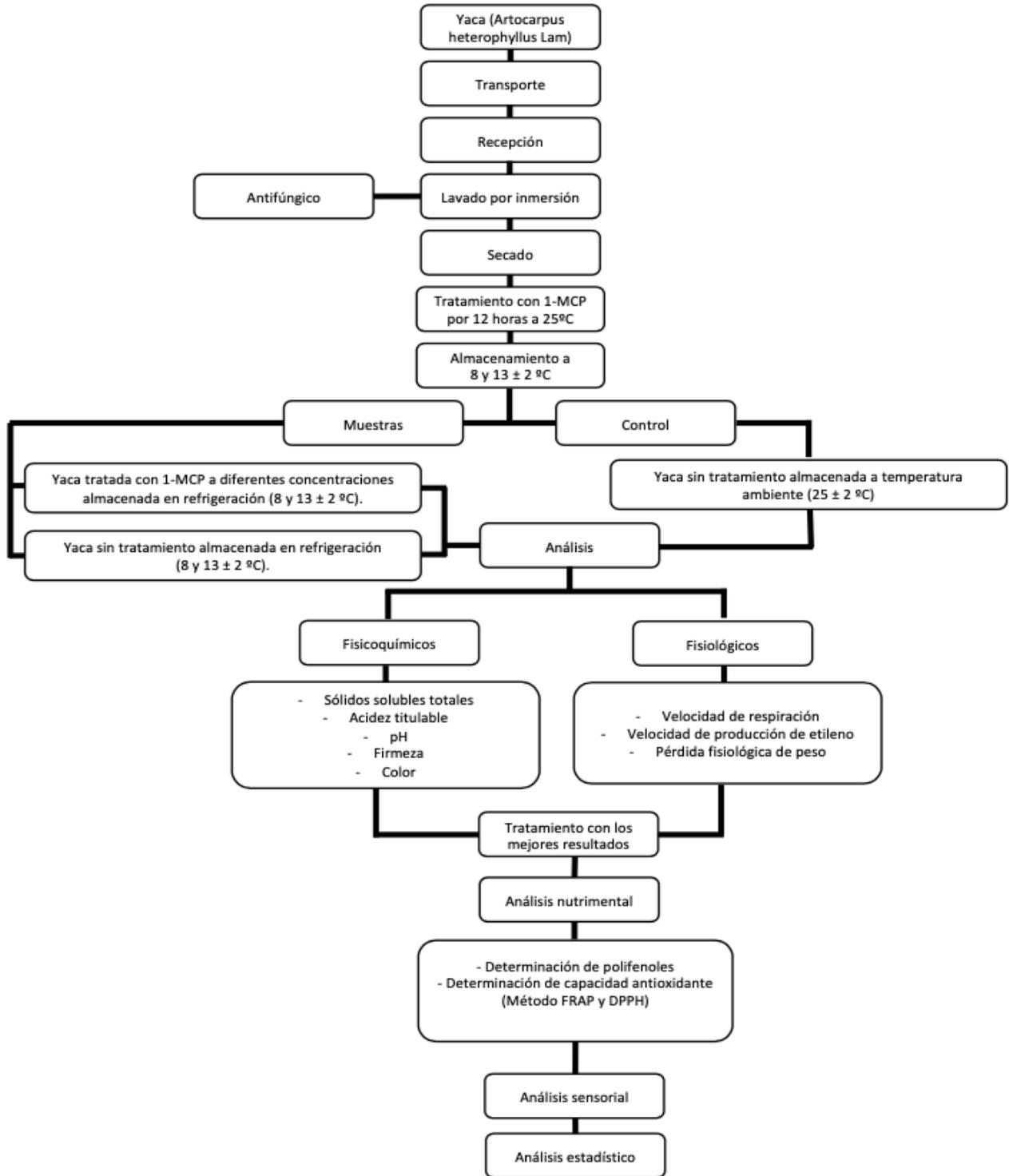
Evaluar el efecto del uso de 1-Metilciclopropeno en parámetros fisicoquímicos, sensoriales, fenoles solubles totales y capacidad antioxidante en la pulpa del fruto de yaca a 8 y 13 °C.

CAPITULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se dividió en dos etapas, una que corresponde a la determinación de los análisis fisiológicos y otra que comprende análisis fisicoquímicos, fenoles solubles totales, capacidad antioxidante y sensoriales de los frutos.

Se utilizaron 160 frutos de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) en madurez fisiológica (Fig. 5.1), se utilizó una selección local denominada por los productores como “agüitada” en madurez fisiológica, con un peso aproximado de 5 a 9 kg; los frutos fueron cosechados de dos zonas del estado de Nayarit, unos adquiridos de “estación nanchi” localidad del municipio de Santiago Ixcuintla, y otros de el llano, localidad del municipio de San Blas. Posteriormente el fruto fue transportado en cajas de cartón al Laboratorio de Investigación de Alimentos del Instituto Tecnológico de Tepic, donde se lavaron con agua corriente y una mezcla de Tiabendazol a 800 ppm como tratamiento antifúngico durante tres minutos para después secarse al aire a temperatura ambiente.

Cuando los frutos se secaron, se procedió a sellar el pedúnculo con una solución saturada de oxiclورو de cobre para evitar la pudrición causada por hongos y bacterias, después se dejó secar la solución. Para la aplicación del 1-Metilciclopropano se contó con 4 contenedores herméticos donde fueron colocadas las yacas con sus divisiones correspondientes para evitar lesiones. Posteriormente se pesó la cantidad de 1-MCP necesaria para los tratamientos 300, 600 y 1000 nL / L (0.1035, 0.2070 y 0.3450 g respectivamente) y fueron depositados en un contenedor con tapa donde se les adicionaron 11.4 mL de agua destilada a la concentración de 300 nL / L, 22.8 mL a 600. nL / L y 38 mL a los 1000 nL / L, posteriormente se homogenizó cada mezcla para después liberar el gas. Las cajas fueron selladas y el tratamiento se aplicó durante 12 horas. Enseguida los frutos fueron almacenados a la temperatura correspondiente a su tratamiento por cinco días, se realizaron pruebas fisiológicas y fisicoquímicas, algunas destructivas y otras no. Las pruebas no destructivas fueron pérdida fisiológica de peso, color de la



cáscara y respiración (CO₂ %, etileno ppm) los análisis se realizaron de forma diaria. Las pruebas

Figura 5.1 Diagrama de flujo del proceso de investigación.

destructivas fueron firmeza en la fruta, sólidos solubles totales, acidez titulable y pH. Los días de análisis fueron los siguientes: inicial día **0** (día de la cosecha antes de la aplicación de los tratamientos), **3** y día **5**. Pasado el día 5 de almacenamiento los frutos fueron trasladados de refrigeración a un almacenamiento de 25 ± 2 °C para simular la cadena de comercio del fruto; a partir de este momento los análisis se realizaron los días **8, 11, 14, y 17**.

5.1 Análisis fisiológicos

5.1.1 Velocidad de respiración y velocidad de producción de etileno.

Se trabajó con la metodología de Tovar *et al.*, (2001) tanto para la determinación de la respiración de los frutos (mL/ kg•h) como para la producción de etileno ($\mu\text{L}/ \text{kg}\cdot\text{h}$), se utilizaron tres frutos por tratamiento los cuales se colocaron en cámaras plásticas previstas de una septa con un volumen total de 21 L aproximadamente. Para la determinar el CO_2 y etileno, las cámaras se cerraron herméticamente y se tomó 1 mL del espacio libre después de 1 h, esto se realizó con ayuda de una jeringa que se inyectó en un cromatógrafo de gases marca HP modelo 6890 provisto de una columna HP-plot (15 m x 0.53 mm y 40 μm de espesor de película). Se utilizó N_2 como gas acarreador con un flujo de 7 mL/min. La cámara de inyección y los detectores se mantuvieron a 250 °C, mientras que el horno se mantuvo a 50 °C por 30 s y posteriormente se aplicó una rampa de 30 °C/min hasta alcanzar 80 °C, la velocidad de flujo del aire fue de 400 mL/min y del H_2 de 30 mL/min. Para la determinar el CO_2 y O_2 , se utilizó un detector de conductividad térmica. Los resultados se expresaron para VR en mL $\text{CO}_2 / \text{kg}\cdot\text{h}$, el estudio fisiológico se trabajó hasta la senescencia del fruto. Cabe señalar que, en los días de muestreo, los frutos fueron sacados de refrigeración y se dejaron afuera para su correspondiente determinación y posteriormente se volvieron a mantener en refrigeración.

5.1.2 Pérdida fisiológica de peso

La pérdida de peso se determinó diariamente empleando una balanza digital marca TORREY con capacidad de 20 kg y 0.5 g de precisión; la diferencia en peso con respecto a la original se expresa como el porcentaje de pérdida de peso; para el cálculo de esta variable se utilizó la ecuación 1 (Hernández-Lauzardo *et al.*, 2007).

(Ec. 1)

$$\%PFP = \frac{\text{Peso inicial}-\text{Peso actual}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Etapa 2

5.2 Análisis fisicoquímicos

5.2.1 Evaluación de sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (°Bx, 20°C) se analizaron en la pulpa la cual fue homogenizada con un ultra turrax, se utilizó un refractómetro marca Bellingham Stanley Limited con corrección por temperatura y fue calibrado con agua destilada (AOAC 2005).

5.2.2 Evaluación de acidez titulable

La acidez titulable se determinó mediante el método de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC por sus iniciales en ingles) 2005, con la valoración de 5 g de muestra de pulpa de yaca con NaOH 0.1 N (meq. Totales por 100 g de muestra) y se expresó en porcentaje de ácido cítrico.

5.2.3 Determinación de pH

La determinación del potencial de hidrógeno se realizó con un potenciómetro de la marca HANNA instruments modelo HI 2210 en 10 g de pulpa homogenizada, siguiendo la metodología establecida por la AOAC 2005.

5.2.4 Evaluación de firmeza

La firmeza se determinó utilizando un texturómetro TA-TX con la punta de 5 mm para la cáscara y una punta de 2 mm para la textura en bulbos. Las mediciones se llevaron a cabo en tres diferentes puntos del diámetro ecuatorial de cada fruto, el promedio de los resultados se expresó en Newton (N).

5.2.5 Determinación de color

Para la determinación del color de la yaca, se empleó un colorímetro Minolta CR-300 y se reportó el ángulo de tono (h), croma (C) y luminosidad (L)

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)(grado)$$

Donde

a^* , b^* = coordenadas de cromaticidad en el espacio de color $L^* a^* b^*$

$$h = 180^\circ + \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \text{ donde } a^* < 0$$

$$h = 270^\circ + \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \text{ donde } a^* > 0 \text{ y } b^* < 0$$

5.3 Fenoles solubles totales y capacidad antioxidante

5.3.1 Preparación de la muestra

Finalizando el despulpado de los frutos de yaca, los bulbos sin semilla se depositaron en bolsas resellables y se almacenaron a una temperatura de -20 °C por 24 horas. Para la obtención de una muestra homogénea se procedió a moler los bulbos (Nutribullet®, NBR-0804B, USA) hasta obtener una pasta con color uniforme. Para realizar los análisis de fenoles solubles totales se realizó una extracción con metanol/acetona donde se pesó un 1 g de bulbo molido y se depositó en un tubo de teflón donde también se agregaron 5 mL de metanol acidificado al 1.6 % procediendo a homogenizar la mezcla con un Vortex durante 1 minuto. Posteriormente, la muestra se sometió a sonicación (Hielscher Ultrasonics, Teltow, Germany) durante 1 minuto a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 10,000 rpm durante 10 minutos a 4 °C. Una vez concluido el tiempo, el sobrenadante se recuperó en un matraz aforado de 10 mL y al precipitado se le agregó 5 mL de acetona para nuevamente ser homogenizado y centrifugado a las condiciones ya mencionadas. El sobrenadante obtenido se mezcló con el del primer centrifugado y se aforó el matraz con una solución 1:1 de metanol acidificado al 1.6 % y acetona.

5.3.2 Determinación de fenoles solubles totales (FST) y capacidad antioxidante (CAOX)

Los FST se extrajeron de 0.5 g de muestra, con 20 mL de una solución de metanol acidificado (0.8 %, 50:50, v/v; pH 2 HCl 2 N) y agua destilada (50:50 v/v). La mezcla se agitó durante 1 hora, y se centrifugó (Hermle Z306, Wehingen, Alemania) durante 30 min a 6000 rpm a 4 °C. Los sobrenadantes se recuperaron y se añadió al precipitado 20 mL de solución de acetona-agua (80:20 v/v, 1 h), y se repitió el mismo proceso. Los sobrenadantes se combinaron y aforaron a 50 mL en un matraz con la combinación de la solución de metanol acidificado y solución de acetona (50:50, v/v) (Pérez-Jiménez *et al.*, 2008). Los FST se cuantificaron utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu según lo descrito por Montreau, (1972) y modificado por Álvarez-

Parrilla *et al.* (2011). Alícuotas de los sobrenadantes obtenidos a partir de extracción de fenoles (250 μ L) se mezclaron con 1000 μ L de Na_2CO_3 (carbonato de sodio, 7,5, w/v). Después de 3 min, se añadió el reactivo de Folin- Ciocalteu (1250 μ L), y la mezcla se calentó en un baño de agua durante 15 min. Se utilizó un lector de microplacas (Microplate reader BT800TS Marca Biotek) con una placa de 96 pocillos equipado con un espectrofotómetro para medir la absorbancia a 710 nm con ayuda de un software Gen 5. El ácido gálico (0.0125 ± 0.2 mg/g, $R^2=0.9935$) se utilizó como estándar (Anexo I). Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (mg GAE /g bs).

5.2.7 Poder antioxidante de reducción férrica (FRAP) en micro placa

El método de FRAP se realizó por el método de Benzie & Strain, (1996), modificado por Álvarez-Parrilla *et al.* (2010). La solución FRAP 10:1:1 (v/v/v) se preparó con un amortiguador de acetato de sodio (0.3 M; pH 3.6), TPTZ (2,4,6-Tripiridil-s-triazina) - HCl (10 mM, 40 mM), y cloruro férrico hexa-hidratado (20 mM) se calentó a 37 °C antes de mezclarlo con las muestras. 24 μ L de la extracción acuosa orgánica obtenida, se mezclaron con 180 μ L de solución de FRAP y la absorbancia se midió a 595 nm durante 30 min usando un lector de microplacas (Microplate reader BT800TS Marca Biotek). Los resultados se expresaron como mmol equivalentes de Trolox (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) (0.05 ± 0.4 mmol/g, $R^2=0.998$) (ET) por 100 g de muestra seca (mmol ET/100 g BH) (Anexo II).

5.2.8 Método de barrido de radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH)

La técnica que se llevó a cabo en esta investigación fue la propuesta por Prior & Cao, (2000). Se tomaron 30 μ L de extracto y se depositaron en celdas de microplaca, donde posteriormente se adicionaron 200 μ L de reactivo DPPH colocando la placa en la oscuridad por 30 min, una vez pasado el tiempo, se midió

la absorbancia en un lector de microplaca (Microplate reader BT800TS Marca Biotek) con el software Gen 5 a 517 nm. La curva de calibración se realizó con una solución de Trolox (37.5 ± 600 mmol/g, $R^2=0.998$) y los resultados se expresaron como mM de actividad equivalente en Trolox (Anexo III) .

5.4 Análisis Sensorial

Se aplicó un método de análisis sensorial afectivo, con la participación de 30 jueces no entrenados; cada uno de ellos evaluaron mediante un formato (Anexo IV) la degustación de bulbos de yaca tratados y no tratados con una escala hedónica no estructurada en donde el valor mínimo de aceptación es 0 y el 12 valor máximo; los atributos evaluados en las muestras fueron color, olor, sabor y textura. Los frutos analizados fueron los de la concentración de 600 nL / L ya que se obtuvieron resultados satisfactorios; además de utilizar los bulbos de los frutos testigo de 25 °C como muestra estándar.

5.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada variable fueron expresados como la media \pm desviación estándar ($n=3$) y se analizaron mediante el programa Prisma (GrapPad. Inc.1989-2018, San Diego, CA, USA), bajo un diseño 4x2 para evaluar el efecto del 1-MCP a 4 concentraciones y dos temperaturas sobre del fruto de yaca durante su almacenamiento. Se utilizó un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Para el análisis sensorial se realizó un ANOVA por una vía y pruebas de comparación de medias entre las muestras.

CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis fisiológicos

Durante el almacenamiento de los frutos de yaca se realizaron los análisis fisiológicos de forma diaria donde éstos comprendían el análisis de velocidad de respiración (VR), la velocidad de producción de etileno (VPE) y la pérdida fisiológica de peso (PFP).

6.1.1 Velocidad de respiración (VR)

Los valores obtenidos del análisis de VR para los frutos testigo almacenados a 25 °C (Fig. 6.1 A) presentan el pico climatérico al día 3, donde posteriormente a este evento, paulatinamente los valores de VR comienzan a descender hasta la senescencia del fruto. El valor inicial de VR (día 1) para este fruto testigo de 25.76 mL de CO₂ / kg•h. En el día 3 presentó su pico máximo en la producción de CO₂ con 103.49 mL de CO₂ / kg•h, lo que coincide con lo reportado por Hernández (2005) quien menciona que el pico climatérico de la yaca almacenada sin tratamiento a 20 ± 1 °C (testigo) se da en el día 4 con una producción de 106.5 mL de CO₂ / kg•h. Al respecto Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) encontró que en frutos enteros de yaca almacenados a una temperatura de 20 ± 1 °C presentaron el pico climatérico a los 7 días de almacenamiento con valor de respiración de 90.748 mL CO₂ / kg•h. Al finalizar su vida útil de consumo (día 8) el fruto reportó una producción de 76.34 mL de CO₂ / kg•h.

Los valores de VR (Fig. 6.1 B) para los tratamientos almacenados a 8 °C son inferiores a 25 mL de CO₂ / kg•h para los frutos de yaca en el primer día de almacenamiento. El fruto con el tratamiento de 600 nL / L de 1-MCP es el más alto con 22.63 mL de CO₂ / kg•h, luego el tratamiento de 300 nL / L con 20.44 mL de CO₂ / kg•h y al final el tratamiento con 1000 nL / L con 12.28 mL de CO₂ / kg•h.

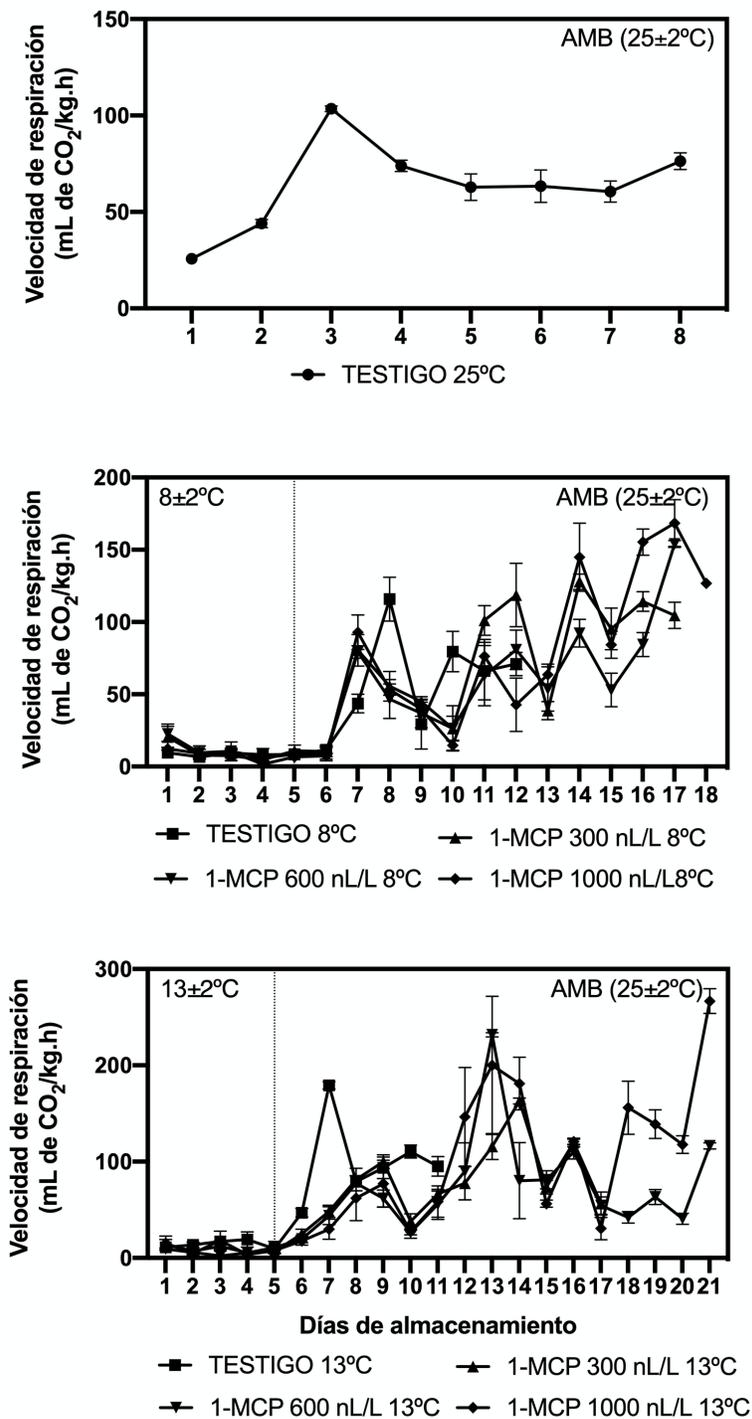


Figura 6.1 Velocidad de respiración en los frutos de yuca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

Como era de esperarse en el transcurso de los primeros 5 días de almacenamiento, los tratamientos con 1-MCP y el testigo de 8 °C muestran una respiración baja a comparación con los valores del testigo a 25 °C, y es a partir del día 7 cuando se comienza a generar un incremento en la VR de los frutos, ya que los valores se duplican. Mata-Montes de Oca *et al.* (2007) reportan una baja VR en los primeros 5 días de almacenamiento en frutos de yaca tratados con 100 y 300 nL / L de 1-MCP a 20 ± 1 °C.

Para los tratamientos de 300, 600 y 1000 nL / L de 1-MCP se logró observar un comportamiento similar en la VR entre los frutos, ya que éstos presentan un incremento en la VR en los mismos días. El tratamiento con 300 nL / L presentó un incremento en la respiración en el día 7 (80.51 mL de CO₂/ kg•h), no obstante, es hasta el día 14 cuando se observa el pico climatérico (127.87.50 mL de CO₂/ kg•h) y el día 17 fue el último día útil del fruto.

Para 600 nL / L el primer incremento de la VR se presentó en el día 7 (71.39 mL de CO₂/ kg•h), siendo el día 17 (154.02 mL de CO₂/ kg•h) donde se observa la aparición del pico climatérico. El comportamiento de la concentración de 1000 nL / L fue parecido al de 300 y 600 sin embargo, logra conservar por un día más la vida útil del fruto, siendo en el día 17 (168.45 mL de CO₂/ kg•h) donde se obtuvo la VR más alta durante el tiempo de almacenamiento. Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) reportan que el valor máximo de VR para frutos de yaca tratados a 100 y 300 nL / L son 106.9 y 111.4 mL de CO₂ / kg•h respectivamente, estos valores fueron reportados en el día 17 para el tratamiento de 100 nL / L y el día 19 para el de 300 nL / L. Las diferencias que se presentan en comparación con los datos de esta investigación pueden atribuirse a que los frutos no son del mismo material de trabajo, además de que dichos autores trabajaron a 20 °C y en esta investigación se trabajó a 25 °C, así que resultan evidentes las diferencias del comportamiento de los testigos absolutos. Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) reportan el pico climatérico al día 7 mientras que en la presente investigación se observó en el día 3, este resultado podría atribuirse a las diferencias de temperatura ya que como

mencionan Saxena *et al.*, (2011a), la temperatura alta contribuye a un desarrollo acelerado de la madurez del fruto de yaca.

Los frutos testigo tratados a 8 °C presentaron un incremento en la producción de CO₂ en el día 7 con 43.61 mL de CO₂ / kg•h, no obstante, fue hasta el día 8 cuando se presentó el pico climatérico con 115.85 mL de CO₂ / kg•h. Posteriormente la VR comenzó a disminuir hasta el día 14, finalizando con la vida útil del fruto. En base a esto resulta evidente que el atraso de la presentación del pico climatérico en las diferentes concentraciones de 1-MCP, es por efecto de este gas y no por la temperatura.

Los valores de la VR para frutos almacenados a 13 °C y tratados con 1-MCP se muestran en la Fig. 6.1 C, donde se puede ver que los valores iniciales (día 1) de CO₂ son notoriamente menores al compararse con el fruto testigo almacenado a 25 °C. Se puede observar que los valores de VR de los tratamientos son menores a los 16 mL de CO₂ / kg•h, siendo el fruto tratado con 1000 nL / L de 1-MCP el que mayor producción de CO₂ presenta en el primer día de almacenamiento con 15.4 mL de CO₂ / kg•h, seguido de tratamiento de 300 nL / L de 1-MCP con 13.67 mL de CO₂ / kg•h, el testigo almacenado a 13 °C con 11 mL de CO₂ / kg•h y finalizando con el tratamiento de 600 nL / L de 1-MCP con 9.26 mL de CO₂ / kg•h.

El comportamiento en el almacenamiento a 13 °C resulto similar al tratamiento a 8 °C, ya que la producción de CO₂ se generó a bajas concentraciones durante el almacenamiento en frío, y al realizar la simulación a mercadeo a partir del día 5 los niveles de CO₂ fueron en aumento.

El tratamiento de 300 nL / L de 1-MCP en el día 6 genera un incremento en la producción de CO₂ de más del doble de los valores reportados en los primeros días, en el día 13 ocurre la producción máxima de CO₂ de este tratamiento con 179.22 mL de CO₂ / kg•h. El fruto así tratado logro mantenerse 17 días antes de perder su vida útil de consumo.

Para el tratamiento de 600 nL / L de 1-MCP se observa un comportamiento similar al tratamiento de 300 nL / L, ya que a partir del día 6 se genera una producción de

CO₂ a mayores concentraciones y el pico climatérico se presenta en el mismo día, teniendo el día 13 una producción de 241.86 mL de CO₂ / kg•h.

No obstante, a estas similitudes, la concentración de 1-MCP de 600 nL / L prolonga la vida de anaquel del fruto por 21 días, mientras que la concentración de 300 nL / L solo lo logra por 17 días.

El comportamiento que tienen los frutos tratado con 1000 nL / L de 1-MCP de igual forma se ven afectados con la simulación de mercadeo, notándose que al día 6, al ser almacenado a una temperatura de 25 °C, se comienza a producir una mayor cantidad de CO₂, y conforme pasan los días de almacenamiento esta concentración sigue aumentando. Para el caso de la aparición del pico climatérico, este se presenta en día 21 (de igual manera este día es el último en el que el fruto tiene vida útil de consumo).

Los valores de VR obtenidos para el testigo de 13 °C se logran mantener estables los primeros días de almacenamiento. En el día 6 de almacenamiento este fruto testigo genera una concentración de CO₂ superior a la reportada los primeros 5 días de almacenamiento. Sin embargo, es en el día 7 donde se encuentra la aparición del pico climatérico, ya que en este día se obtiene una producción de 179.22 mL de CO₂ / kg•h. Este fenómeno es explicado en la investigación de Bolívar *et al.*, (2011) ya que establece que la producción de CO₂ esta estrechamente relacionada con la producción de etileno, que al ser regulado por el 1-MCP controla la velocidad de respiración de los frutos tratados.

Pasado el día 11 de almacenamiento, el fruto no mantiene las características organolépticas adecuadas para su aceptación en el mercado, por lo que se considera que ha llegado al final de su vida útil.

De la misma forma que en 8 °C, se observa que en 13 °C el efecto fue significativo en la velocidad de respiración, ya que se vio afectado por la acción del 1-MCP y no solo por la temperatura.

El análisis estadístico (Anexo V y VI) indica que existen diferencias significativas en los frutos que son tratados con 1-MCP y los que no recibieron el tratamiento, no

obstante, no existen diferencias significativas en los valores que se reportan entre los tratamientos, aunque sí se observa una prolongación de la vida de anaquel de los frutos por parte de la concentración de 600 nL / L almacenado a 13 °C.

Las yacas que fueron almacenadas a 8 °C y que se les aplicó 1-MCP a concentraciones de 300 y 600 nL / L lograron retrasar 11 días la aparición del pico climatérico; el tratamiento con 1000 nL / L lo retrasó 14 días con respecto al testigo a 25 °C. Sin embargo, en los frutos tratados con 1- MCP (300, 600 y 1000 nL / L) no existe diferencia significativa con respecto a los valores reportados para VR. En el caso de los frutos que son almacenados a 13 °C y tratados con las mismas concentraciones de 1-MCP, para 300 y 600 nL / L lograron retrasar la aparición del pico climatérico hasta 6 días con respecto al testigo, sin embargo, la concentración de 1000 nL / L de 1-MCP logra retrasar la aparición del pico climatérico hasta 14 días con respecto al testigo. La acción del 1-MCP sobre la respiración radica en la ruta biosintética del etileno, ya que este antagonista suprime la producción de etileno a través de la inhibición de la expresión de la enzima 1- aminociclopropano-1-carboxilato sintasa (ACC sintasa) y la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato oxidasa (ACC oxidasa) siendo esta última dependiente del oxígeno, por ende, la inhibición de producción de etileno influye en el bajo consumo de O₂ y baja producción de CO₂ (Bolívar *et al.*, 2011).

Blankenship & Dole (2003) mencionan que el 1-MCP a temperatura ambiente es un gas, lo cual facilita la entrada al fruto y le permite tener movilidad entre los tejidos. En la investigación realizada por Mir *et al.*, (2001), se menciona que la efectividad del 1-MCP se ve afectada por la temperatura a la que es aplicado en los frutos. En este estudio se aplicó una concentración de 1-MCP a 0.7 ppm (700 nL / L) a las temperaturas de 0, 5, 10, 15, y 20 °C, obteniendo mejores resultados en los parámetros de firmeza y color con la efectividad del 1-MCP en frutos almacenados en 15 y 20 °C.

La temperatura es un factor que afecta con intensidad la respiración de los frutos, ya que ésta influye en la velocidad de las reacciones enzimáticas del proceso respiratorio. La velocidad de tales reacciones se relaciona con la ley de Arrhenius

que determina el aumento exponencial de la velocidad de reacción enzimática con la inversa de la temperatura absoluta (Villamizar *et al.*, 1993). Debido a lo ya mencionado se puede observar como las concentraciones de CO₂ son más altas al realizar la simulación de mercadeo y almacenar los frutos a 25 °C.

Estos resultados se pueden comparar con la investigación realizada por Ortiz-Franco *et al.*, (2016) donde al someter frutos de mango ataulfo a diferentes concentraciones de 1-MCP (0, 300 y 600 nL / L) y aplicando una simulación a mercadeo (almacenado por 20 días a 13 ± 1 °C y después a 25 ± 2 °C) se observa la misma tendencia que este experimento, al aumentar la temperatura de almacenamiento en la simulación, los picos climatéricos son más altos.

6.1.2 Velocidad de producción de etileno (VPE)

El efecto que mostró el 1-MCP para los parámetros de velocidad de producción de etileno en los frutos de yaca fue notorio, ya que los tratamientos mostraron un retardo interesante en la aparición de etileno con respecto a los frutos testigo.

Los frutos testigo almacenados a 25 °C (Fig. 6.2 A) no presentaron etileno en los primeros 2 días de almacenamiento. Sin embargo, en el día 3 se detectó la mayor concentración de etileno con 45.55 µL / kg•h coincidiendo con el pico climatérico del fruto (VR), seguido de un descenso en la producción de etileno y la senescencia del fruto en el día 8. En la investigación de Hernández (2005) se reporta que los frutos de yaca almacenados a 20 ± 1°C presentan una concentración máxima de etileno en el día 4 (63.7 µL / kg•h) y de igual manera, este incremento coincide con el pico climatérico del fruto.

Para el análisis de VPE (Fig. 6.2 B) de los frutos correspondientes a los tratamientos con 1-MCP almacenados a 8 °C mostraron un efecto notorio en el retraso de la aparición de etileno, ya que en los 3 tratamientos (300, 600 y 1000 nL / L) la producción

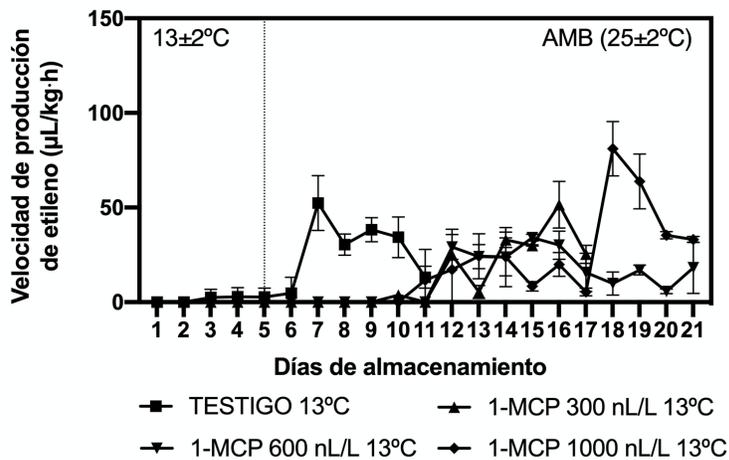
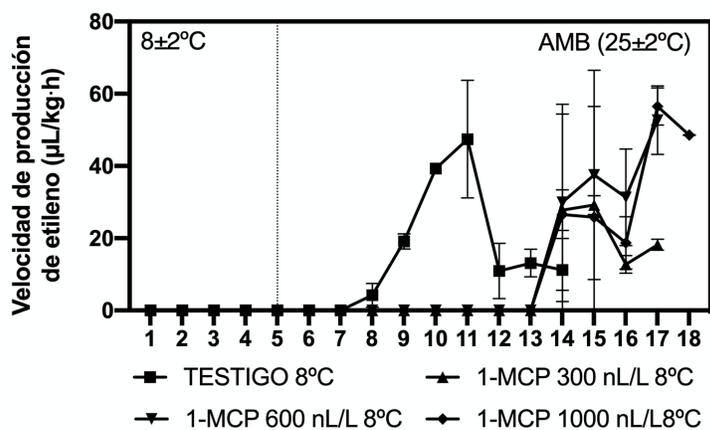
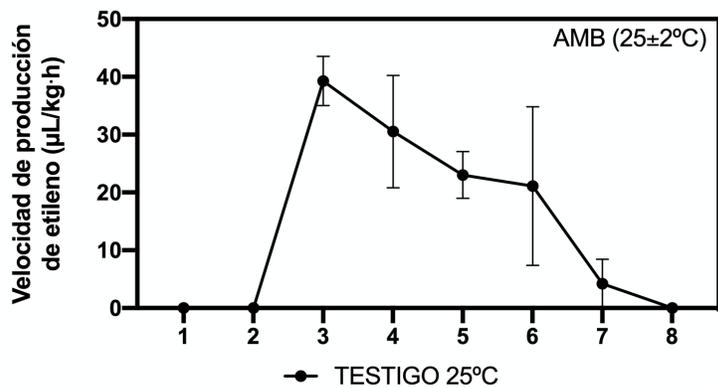


Figura 6.2 Velocidad de producción de etileno en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C) La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

de etileno se presentó en el día 14. Para la concentración de 300 nL / L, se observaron valores iniciales de etileno de 27.8 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$ y posteriormente se presentó el pico de producción máxima de etileno en el día 15 con 29.20 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$ llegando estos frutos a su vida útil hasta los 17 días de almacenamiento. Los frutos correspondientes al tratamiento con 600 nL / L obtuvo 29.97 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$ de etileno en la primera lectura de la concentración de esta hormona, y su pico climatérico se presentó hasta el día 17 con 52.71 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$, siendo este el día final de vida de anaquel. Los frutos tratados con la concentración de 1000 nL / L presentó valores de 26.6 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$ en la primera detección de etileno, sin embargo, el pico climatérico se presentó en el día 17 con 56.50 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$; a diferencia del tratamiento de 600 nL / L este tratamiento logró prolongar un día más la vida de anaquel del fruto (48.55 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$).

Los frutos testigo almacenados a 8 °C mostraron atraso en la producción de etileno, observándose producción de esta hormona en el día 8 con 11.04 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$ donde gradualmente el valor de VPE fue en aumento hasta obtener una producción máxima en el día 11 con 33.39 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$, finalmente la vida útil del fruto se observó en el día 14.

Los datos obtenidos del análisis de VPE (Fig. 6.2 C) de los frutos almacenados a 13 °C, mostraron un comportamiento similar a la prueba con 8 °C, solamente que los frutos almacenados a 13 °C presentan días previos la producción de etileno.

En el caso de los frutos tratados con 1-MCP a 300 nL / L el etileno se produce en el día 10, a baja concentración (3.73 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$), pero es en el día 12 donde la producción de etileno comienza a incrementar súbitamente (24.95 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$). En el día 16 de almacenamiento, los frutos presentan la máxima concentración de etileno con 51.53 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$, posterior a este evento, el fruto llega a su día final de vida útil en el día 17. Los frutos tratados con la concentración de 600 nL / L de 1-MCP presentaron la producción de etileno en el día 12 de almacenamiento, sin embargo, es el en día 15 cuando se genera la máxima producción de etileno. En comparación con los tratamientos de 300 y 1000 nL / L este tratamiento es el que presenta una menor producción de la hormona vegetal en el fruto y finalizando en el día 21 de

almacenamiento con su vida anaquel obteniendo un valor de etileno de 18.19 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$.

La última concentración de 1-MCP (1000 nL / L de 1-MCP) reporta valores iniciales intermedios a las otras dos concentraciones evaluadas, ya que en el primer día en que se comienza a detectar etileno (día 11) se tienen una producción de 11.56 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$, comenzando un incremento y decremento hasta la producción máxima de etileno, que se presentó en el día 18 con 81.14 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$. La vida de anaquel de estos frutos alcanzó los 21 días de almacenamiento finalizando con una concentración de 33.15 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$.

El testigo que se almacena a 13 °C y se sometió a la simulación a mercadeo, mostró un comportamiento diferente al testigo almacenado a 8 °C. La principal diferencia observada es que el testigo de 13 °C comienza a generar etileno a partir del tercer día de almacenamiento, mostrando valores de 2.48 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$, además de que estos frutos presentaron su máxima producción de etileno en el día 7 con valores de 52.34 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$. La vida útil de estos frutos fue de 12 días con una producción de etileno de 25.28 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$.

Datos reportados por Orozco (2019) establecen que los frutos de yaca material de trabajo "agüitada" almacenados a 8 °C sin tratamiento de 1-MCP obtuvieron una máxima producción de etileno el día 11 con 48.7 $\mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$ llegando a tener 13 días de vida de anaquel. Saxena *et al.*, (2011a) mencionan que 8 °C es la temperatura más baja a la que un fruto de yaca puede ser almacenado sin presentar daño por frío, esto pudiera explicar el por qué los frutos utilizados en la investigación de Orozco (2019) que duran más días en refrigeración presentan un incremento en la producción de etileno y se reduce muy poco la vida de anaquel de éstos a comparación de los datos obtenidos en esta investigación.

Todas las concentraciones de 1-MCP a las diferentes temperaturas de almacenamiento lograron prolongar la vida de anaquel de la yaca más tiempo en comparación de los testigos, esto puede ser debido a lo que mencionan que el 1-MCP bloquea de manera irreversible los receptores de etileno (Blankenship *et al.*, 2003), aunque Cameron *et al.* (2001) reportan que los tejidos de las plantas y frutos pueden

recuperar la sensibilidad al etileno, debido a la capacidad de síntesis de nuevos receptores. En los frutos tratados con 1- MCP (300, 600 y 1000 nL / L) y almacenados a 8 y 13 °C no existe diferencia significativa entre los tratamientos (Anexo VII y VIII), sin embargo, cabe señalar que el tratamiento que mejor actúa y conserva las características fisiológicas de un fruto en buenas condiciones es el tratamiento con 600 nL / L de 1-MCP en ambas temperaturas de almacenamiento.

El 1-MCP disminuye la producción de etileno, debido a que afecta su síntesis autocatalítica al disminuir la expresión de genes que codifican para las enzimas ACC sintasa y ACC oxidasa (Balaguera *et al.*, 2014). La concentración necesaria de 1-MCP para bloquear la acción del etileno varía de acuerdo con la especie, el estado de maduración, la capacidad de producción de nuevos receptores y el tiempo de exposición al gas (Blankenship *et al.*, 2003).

La temperatura de almacenamiento ejerce un papel importante en el control de la producción de etileno. Es conocido que en ciertos frutos los picos máximos de producción de etileno se relacionan con las altas tasas de respiración, siendo éste el caso de la yaca. Barreiro *et al.* (1997) mencionan que, al disminuir la temperatura, las tasas de respiración disminuyen y por ende las del etileno. Esto ocurre debido a que el descenso en la temperatura contribuye a disminuir la actividad enzimática que genera la producción de etileno y el etileno juega un papel importante en la maduración de los frutos y desencadena las reacciones que participan en la velocidad de respiración (Mata-Montes de Oca *et al.*, 2007)

De acuerdo con los datos obtenidos por Orozco, (2019) en los frutos de yaca del material de trabajo “agüitada” tratados con 100 nL / L de 1-MCP y almacenados 7 días en refrigeración a 8 y 13 ± 2 °C para su posterior traslado a 25 °C (simulación de mercadeo), se obtuvo un atraso en la producción de etileno presentándose hasta el día 7 valores de producción de etileno en ambas evaluaciones. Los valores de los picos máximos de producción de etileno fueron 7.8 y 21.6 µL / kg•h para 8 y 13 °C respectivamente, observados el día 16 y coincidiendo el pico con la máxima producción de CO₂ en ambos tratamientos. El conservar por más tiempo en

refrigeración los frutos pudo haber tenido un efecto positivo retrasando la aparición del etileno al día 7.

6.1.3 Pérdida fisiológica de peso (PFP)

En el análisis de los datos de pérdida fisiológica de peso se puede observar una pérdida exponencial del peso entre los frutos tratados y los no tratados con 1-MCP. El fruto testigo almacenado a 25 °C (Fig. 6.3 A) por cada día que transcurre, pierde el 1 % de peso, llegando hasta los 8 días de vida de anaquel, con una pérdida total de 9.96 %.

Los tratamientos que se almacenaron a 8 °C y se sometieron a la simulación de mercadeo (Fig. 6.3 B) presentan una PFP lenta y por debajo de los valores reportados por el testigo almacenado a 25 °C. Entre los tratamientos de 300 nL / L, 600 nL / L y 1000 nL / L existen diferencias mínimas, ya que logran prolongar la vida de anaquel de la yaca hasta 17 días y la concentración de 1000 nL / L 18 días. Los valores finales obtenidos de PFP de la menor a la mayor concentración de 1-MCP son 25.61, 26.64 y 27.27 % respectivamente, valores relativamente aproximados a los reportados por Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) en frutos de yaca tratados con 1-MCP a concentraciones de 100 y 300 nL / L y almacenados a $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, estos investigadores reportan porcentaje de PFP de 20 % a los 21 días de almacenamiento, sin encontrar diferencias significativas entre sus tratamientos.

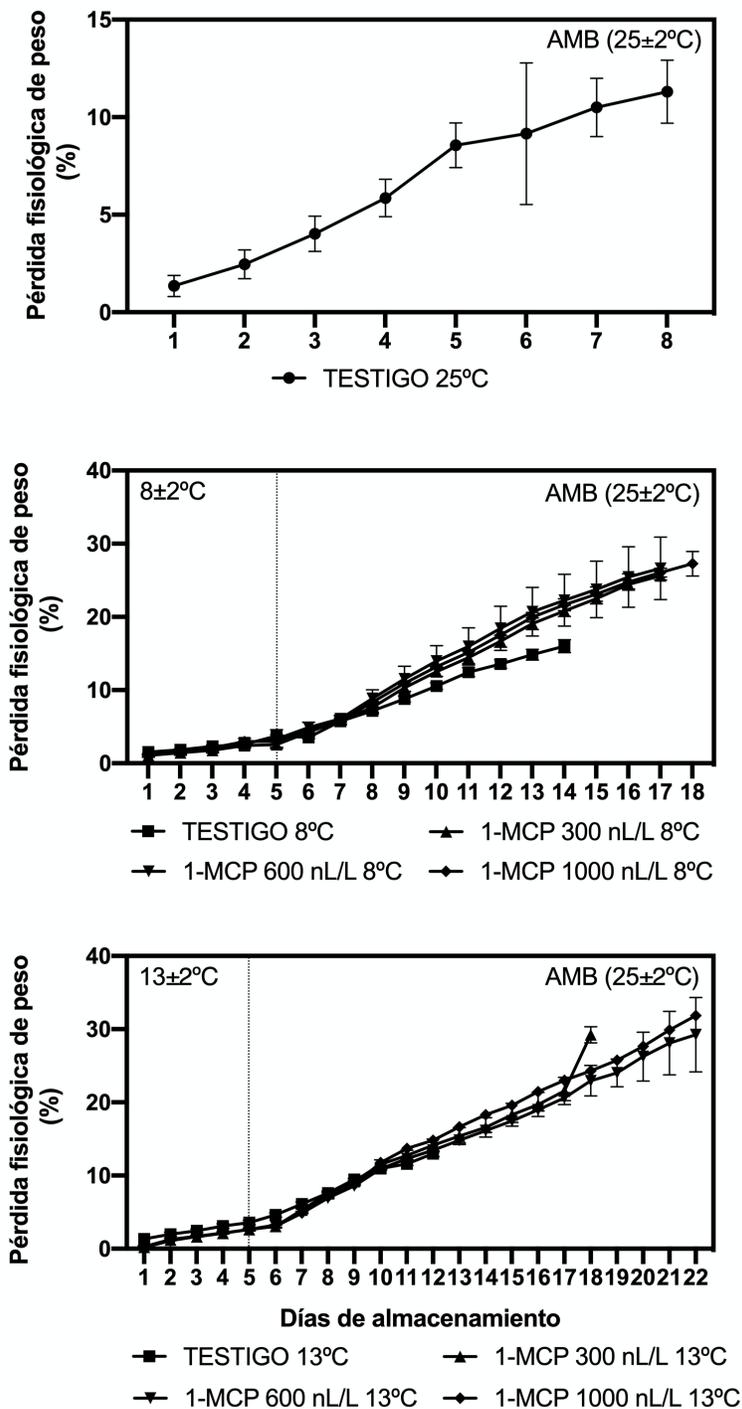


Figura 6.3 Pérdida fisiológica de peso en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

El testigo almacenado a 8 °C presentó la menor pérdida fisiológica de peso a comparación con los tratamientos de 1-MCP, ya que en 14 días de almacenamiento únicamente perdió un 14.45 %.

Con los resultados obtenidos del análisis de PFP con frutos almacenados a 13 °C (Fig. 6.3 C) tampoco existen diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores finales de PFP para los tratamientos de 1-MCP son: 300 nL / L obtuvo 29.23 % de pérdida de peso en su día 18 que fue el final de su vida de anaquel, la concentración de 600 nL / L generó un 29.24 % de PFP similar a la concentración de 300 nL / L con la diferencia que se pudo prolongar 4 días más la vida de anaquel del fruto (21 días de almacenamiento) y finalmente, los resultados de la concentración de 1000 nL / L, que generó la menor PFP de los tratamientos con 22.75 % a los 21 días. Los valores obtenidos del testigo almacenado a 13 °C en el día final de almacenamiento (día 11) obtuvo un 12.99 % de PFP.

En la investigación realizada por García *et al.*, (2015) mencionan que la variación de pérdida de peso esta relacionada con el proceso de la transpiración, caracterizado por la pérdida de agua de los tejidos de los frutos. En poscosecha, la transpiración se ve influenciada por varios factores, como pueden ser características morfológicas del fruto o condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y presión atmosférica) siendo éstos últimos los responsables de la mayor PFP.

En la investigación realizada por Osuna *et al.*, (2005) para frutos de aguacate 'Hass' tratado con 1-MCP a 200 nL / L realizando una simulación de mercadeo (6°C por 6 días y posteriormente 22 °C por 12 días) reportan que los datos no mostraban diferencias significativas entre los frutos tratados con 1-MCP y los frutos almacenados únicamente a refrigeración sin tratamiento. De igual manera, los autores atribuyen la ausencia de diferencias a que la refrigeración por si sola disminuye los procesos fisiológicos de respiración y producción de etileno. García & Mercado (2018) concuerdan con lo mencionado por Osuna *et al.* (2005), ya que en frutos de mango "Haden" tratados por 12 horas en exposición a 1-MCP a 750 nL / L almacenados por 15 días a 20 °C encuentran que el tratamiento con 1-MCP no modifica los parámetros de pérdida fisiológica de peso mostrando valores

estadísticamente similares a los del fruto testigo. No obstante, otros investigadores obtienen menores PFP con frutos tratados con 1-MCP, tal es el caso de June *et al.*, (2010) mencionan en su investigación que en peras “Patharnakh” se obtiene una menor PFP dependiendo de la concentración que se utilice de este inhibidor de etileno (500, 700 y 1000 nL / L de 1-MCP por 95 días). Resultados similares muestra la investigación de Tovar *et al.* (2011) utilizando frutos de guanábana tratados con 1-MCP a una concentración de 1000 nL / L y almacenados a 13 °C reportándose una disminución del 22.6 % de PFP de los frutos tratados con 1-MCP en comparación de los frutos testigo. En el caso de los frutos tratados con 1-MCP que si logra generar un efecto positivo en este parámetro Jeong & Huber (2004) mencionan que la pérdida de peso en frutos tratados con 1-MCP, está correlacionado con una disminución en la velocidad de respiración y producción de etileno, esto porque el 1-MCP es antagonista del etileno; por este motivo la maduración de algunos frutos es más lenta y a la vez la transpiración de los frutos puede disminuir.

Con base a los datos reportados en el análisis estadístico, se observa que no existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos y los testigos de temperaturas (8 y 13 °C) lo que el efecto de disminuir la pérdida fisiológica de peso es atribuido únicamente a las bajas temperaturas.

6.2 Análisis fisicoquímicos

Como segunda parte de la investigación, se realizaron análisis fisicoquímicos los días ya mencionados, estos análisis permitieron monitorear el desarrollo de elementos que brindan las características sensoriales que se presentan en un fruto en madurez de consumo, tales como los sólidos solubles totales, la acidez titulable, pH, firmeza y color tanto en cáscara como en bulbos.

6.2.1 Sólidos Solubles Totales (SST)

El análisis de sólidos solubles totales realizado para los frutos testigo almacenados a 25 °C (Fig. 6.4 A) muestran un valor inicial de 8.33 °Bx, donde paulatinamente este valor se incrementa al paso de los días. Finalmente, en el día 8 de almacenamiento se reporta un valor final de 29.55 °Bx, valores similares a los reportados Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) donde obtienen 35.3 °Bx en frutos de yaca tratados con 100 y 300 nL / L de 1-MCP almacenados a 20 °C por 17 y 21 días respectivamente.

En los valores de SST de los frutos tratados con 1-MCP y almacenados a 8 °C (Fig. 6.4 B), su aumento fue gradual en los 3 tratamientos. En los frutos tratados con 1-MCP a 300 y 600 nL / L presentaron valores iniciales de 8.3 °Bx y hasta el día 17, valores de 28.48 y 27.5 °Bx respectivamente, logrando retardar el aumento de los SST más tiempo. El tratamiento con 1-MCP de 1000 nL / L tuvo un comportamiento similar, además de retardar un día más el aumento de los SST, de 8.3 °Bx en el día 1 a 26.33 °Bx en el día 18, esto puede ser atribuido a que la concentración del gas pudo tener un mejor efecto al inhibir una mayor cantidad de receptores de etileno.

En el caso de los resultados para los frutos testigo almacenados a 8 °C (Fig. 6.4 B), se logró observar una disminución en la velocidad en la que los SST aumentaban; en este caso, los frutos presentaron valores iniciales de 8.3 °Bx y hasta el día 14, 25.9 °Bx.

Para los frutos que fueron tratados con 1-MCP y almacenados a 13 °C (Fig. 6.4 C), los resultados presentaron uniformidad en el desarrollo de SST. Para los tratamientos con 1-MCP de 300, 600 y 1000 nL / L se obtuvieron valores similares a los obtenidos por el testigo absoluto, los cuales fueron 26.68, 29.3 y 28.43 °Bx respectivamente. Al obtener estos valores podemos observar que la aplicación de 1-MCP ejerció un control en la producción de SST, por lo tanto, éste no inhibe tal proceso. Cabe mencionar que las concentraciones de 1-MCP de 600 y 1000 nL / L tienen una cierta ventaja sobre la concentración de 300 nL / L ya que las concentraciones más altas aumentan 4 días más la vida de anaquel de la yaca.

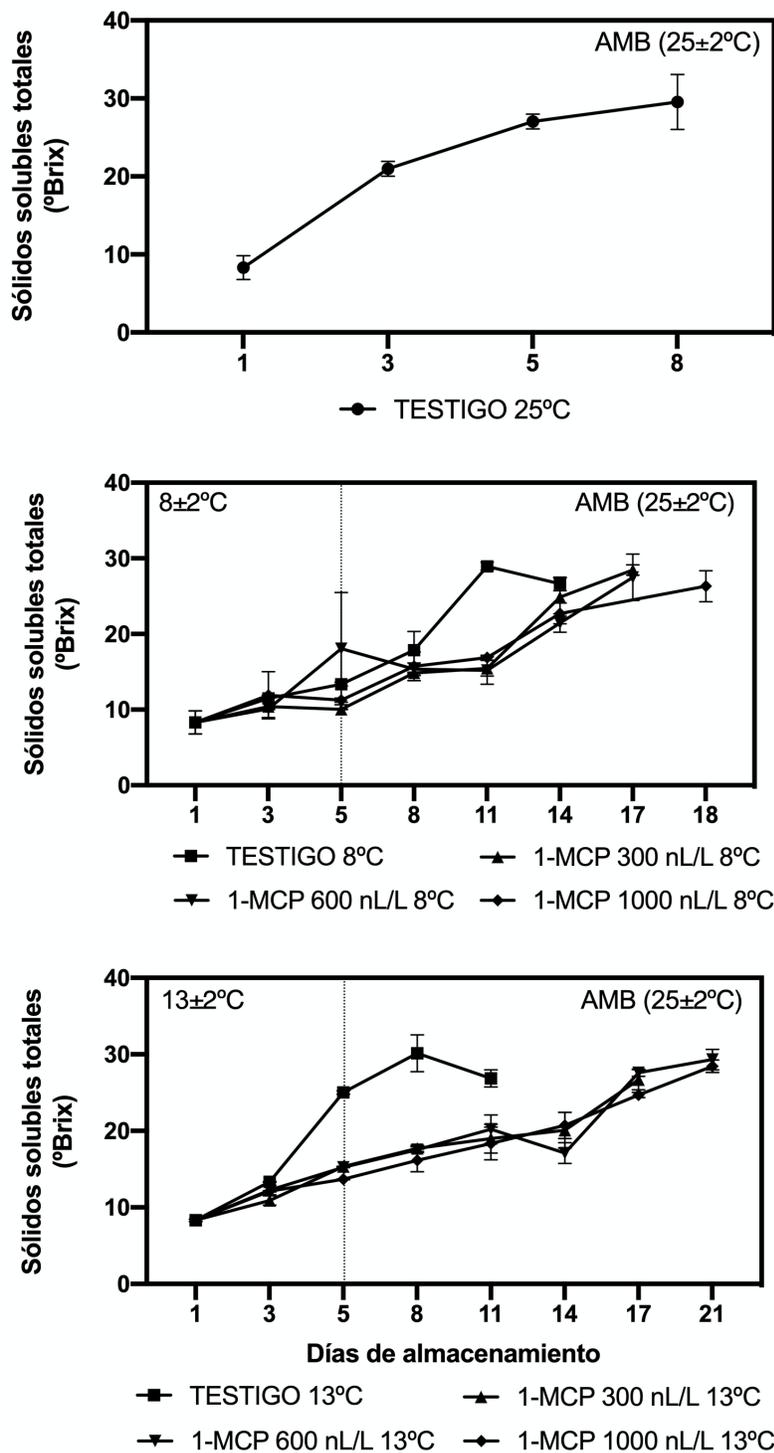


Figura 6.4 Sólidos solubles totales en los frutos de yuca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

Finalizando con los valores de SST de los frutos testigo almacenados a 13 °C (Fig. 6.4 C) de igual manera se distingue el incremento progresivo de este valor. Con 8.3 ° Bx en el día inicial y 26.85 ° Bx en el día 11, mostrando valores similares al testigo de 25 °C.

Durante la maduración de los frutos se presenta un aumento de SST debido a la degradación del almidón por acción de enzimas α y β -amilasas, fosforilasas de almidón (α -1,4-glucano-fosforilasa) García *et al.*, (2015). Oliveira *et al.*, (2006) reportan que la actividad de la fosforilasa en el plátano (*Musa accuminata*) es inducida durante la maduración poscosecha y que está asociada con la degradación del almidón; la regulación de la actividad de fosforilasa depende principalmente de la expresión del gen y la ausencia de la percepción al etileno causada por el 1- MCP promueve un efecto positivo para la expresión de la fosforilasa, causando la degradación del almidón cuando la beta amilasa está inhibida. No obstante, éste efecto puede ser anulado por el aumento del nivel del etileno, ya sea el autocatalítico o el exógeno. En algunos casos este comportamiento difiere con lo reportado por otros investigadores, ya que Osuna *et al.*, (2005) reportan no encontrar diferencias estadísticas significativas en este parámetro en frutos de mango 'Kent' testigo y tratados con diferentes concentraciones de 1-MCP (100, 200, 300, 600 y 900 nL / L).

Los datos que reporta el análisis estadístico, indica que no existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos pero, si en los testigo de temperaturas (8 y 13 °C) donde podemos adjudicar el control de la producción de SST al efecto del 1-MCP.

6.2.2 Acidez titulable (AT)

Los valores de acidez titulable que se obtuvieron en esta parte experimental presentaron fluctuaciones en la mayoría de los frutos (tratamientos y testigo), ya que se obtuvieron valores altos y bajos en el transcurso de vida de anaquel.

Los frutos testigo almacenados a 25 °C (Fig. 6.5 A) presentaron valores iniciales de 0.17 g / 100 g en el día 1. No obstante, en el siguiente día de análisis (día 3) se genera el valor máximo obtenido de AT, reportando 0.45 g / 100 g. En el día final de vida de anaquel (día 8) se reportó 0.25 g / 100 g de AT. En comparación con lo reportado por Jagadeesh (2007) éstos valores son similares en frutos de yaca en estado de madurez de consumo, ya que este autor reporta valores promedio de 0.302 g / 100 g entre 24 muestras de yaca de diferentes regiones de la India.

Las yacas tratadas con diferentes concentraciones de 1-MCP y almacenadas a 8 °C (Fig. 6.5 B), no mostraron diferencias significativas en los valores de AT, para el tratamiento con 1-MCP de 300 y 600 nL / L, el almacenamiento se prolongó hasta el día 17 y la acidez aumentó de 0.17 hasta 0.37 y 0.46 g / 100g, respectivamente. La concentración de 1000 nL / L logró prolongar la vida útil del fruto hasta el día 18, con valores iniciales de 0.17 y hasta 0.46 g / 100g.

En los valores reportados de AT para los frutos almacenados a 8 °C (Fig. 6.5 B), la vida útil se prolongó hasta el día 14, teniendo valores iniciales de 0.17 y finales de 0.24 g / 100g. Orozco (2019), utilizaron yaca de material de trabajo “agüitada” almacenadas y sometidas a una simulación de mercadeo a 8 °C, obteniendo como valor final 0.30 g / 100g después de 13 días de vida de anaquel. Aunque estos valores son estadísticamente diferentes, podemos observar que tanto la aplicación de 1- MCP como el almacenamiento en frío, no genera una inhibición o testigo sobre este parámetro.

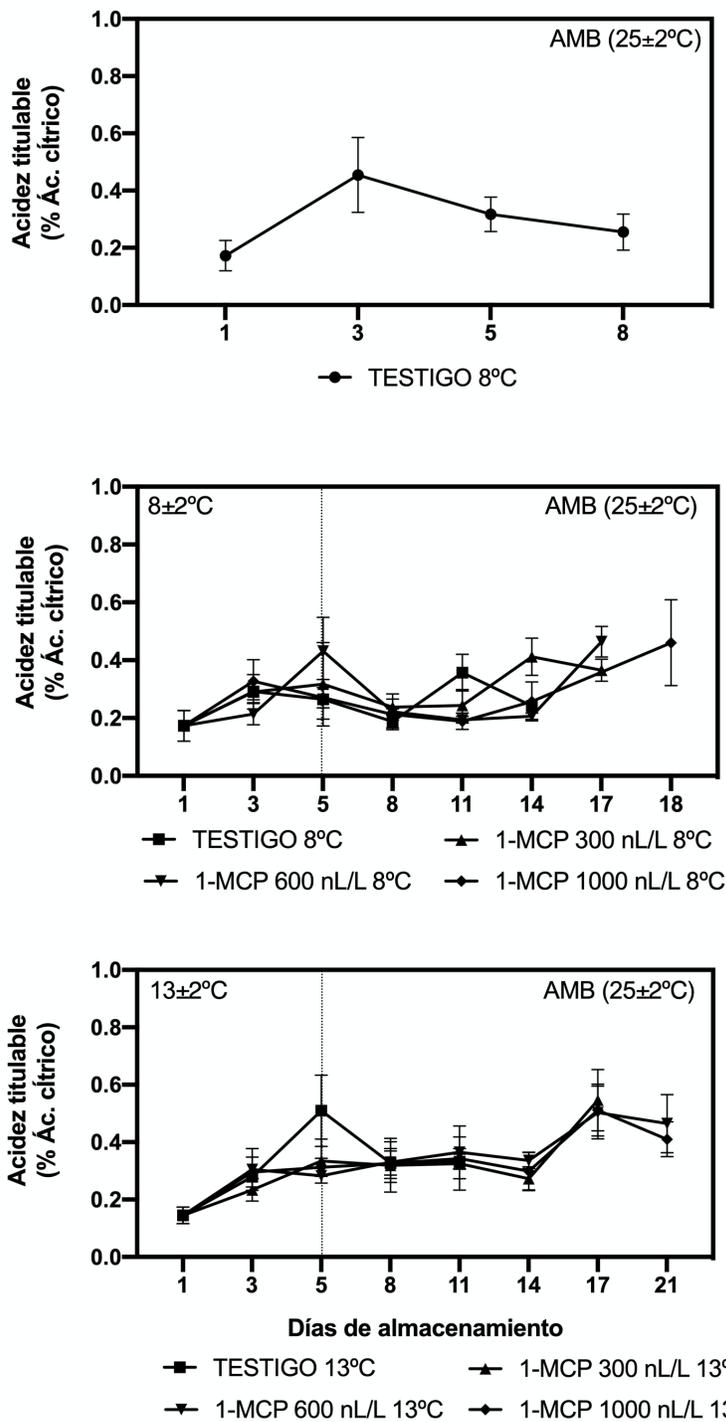


Figura 6.5 Acidez titulable en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

Como resultado de la aplicación de diferentes concentraciones de 1-MCP a frutos de yaca almacenados a 13 °C (Fig. 6.5 C) se obtuvieron valores más altos que los frutos que fueron almacenados a 8 °C. comenzando con la concentración de 300 nL / L que reporta su máximo valor de AT con 0.55 g / 100g en el último día de almacenamiento (día 17). La concentración de 600 nL / L muestra su máxima producción de AT en el día 17 de almacenamiento con 0.5 g / 100g y finalizando en el día 21 con 0.46 g / 100g. Por último la concentración más alta de 1-MCP, 1000 nL / L presentó en el mismo día que los demás tratamientos (día 17) su máxima producción de AT, con 0.51 g / 100g y finalizó en el día 21 con 0.41 g / 100g.

Por último, los datos obtenidos de los frutos testigo almacenados a 13 °C (Fig. 6.5 C) presentaron una máxima producción de AT en el día 5 de almacenamiento, obteniendo como valor 0.51 g / 100g. Al finalizar la vida de anaquel del fruto se presentaron valores de 0.33 g / 100g de AT.

Con respecto a la AT obtenida de las diferentes concentraciones de 1-MCP y temperatura de almacenamiento, valores similares son reportados por Mata-Montes de Oca *et al.* (2007) donde en su investigación utilizan frutos de yaca tratados con 1-MCP a 100 y 300 nL / L almacenados a 20 °C no obtuvo una diferencia significativa en la disminución de la AT con respecto al testigo, ya que al finalizar la vida útil de los frutos, mantuvieron ambos los mismos valores de AT. Este comportamiento puede tener una relación estrecha con la respiración del fruto, razón que explica Quintero *et al.*, (2013) donde menciona que el pH junto con la acidez titulable son los parámetros con mayor variabilidad, debido a que los ácidos orgánicos contenidos en el fruto verde se van transformando o degradando a medida que el fruto respira. En apoyo a lo mencionado por Quintero, García *et al.*, (2015) mencionan que la AT de los frutos usualmente disminuye durante la maduración, ya que los ácidos orgánicos son utilizados como sustrato respiratorio.

En el análisis estadístico se observan que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos en comparación con los testigos de temperaturas (8 y 13 °C), sin embargo, podemos observar que la concentración de 1-MCP no es un factor que genere cambios en el comportamiento de la AT de los frutos de yaca.

6.2.3 pH

El pH reportado para los frutos testigo y los tratamientos muestran una similitud con los datos de acidez titulable ya que no se presentaron de manera homogénea en el transcurso de los días de almacenamiento.

Comenzando con el testigo absoluto que se almacena a 25 °C (Fig. 6.6 A) se obtiene una lectura del día 1 de 5.88, siendo este el valor más alto que produce el fruto testigo. En el día final de vida de anaquel (día 8) se obtiene una lectura de 5.46 de pH donde se puede observar al comparar el dato inicial con el dato final un ligero descenso de este valor.

Los frutos tratados con 1-MCP (Fig. 6.6 B) mostraron una disminución gradual en el pH una vez retirados de la refrigeración, en estos frutos se mostraron datos iniciales para 300, 600, y 1000 nL / L de 5.88 y finales de 5.15, 5.07 y 5.14, respectivamente.

Finalizando con esta temperatura de almacenamiento, los frutos testigo almacenados a 8 °C (Fig. 6.6 B) generan en el día 8 de almacenamiento su máximo valor de pH (5.53), sin embargo, en el día 14 este valor disminuye hasta obtener 5.21 de pH.

Al comparar los datos de las diferentes concentraciones de 1-MCP en frutos de yaca almacenados a 13 °C (Fig. 6.6 C), se observó el mismo comportamiento, que los frutos almacenados a 8 °C. Las concentraciones de 300, 600, 1000 nL / L obtuvieron en su día final de almacenamiento valores pH de 4.99, 5.14 y 5.19 respectivamente.

El testigo almacenado a 13 °C (Fig. 6.6 C) presenta su máximo valor en el día 1 de la experimentación, finalizando su vida de anaquel en el día 11 con un valor de pH de 5.17.

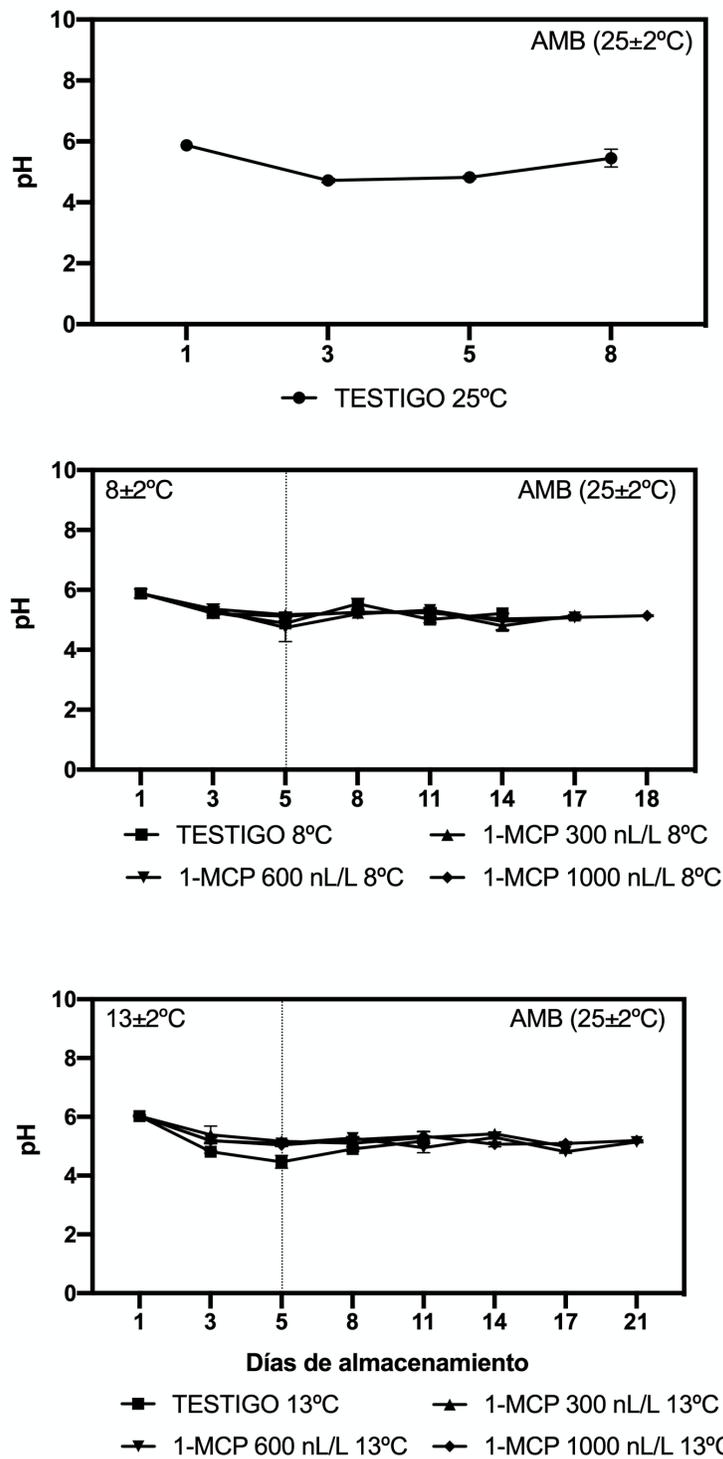


Figura 6.6 pH en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

En la investigación realizada por Orozco (2019) con frutos de yaca material de trabajo “Agüitada” tratados con 1-MCP (100 y 300 nL / L) y en simulación a mercadeo (7 días a 8 y 13 °C y posteriormente a 25 °C) obtuvieron datos de pH similares a los encontrados en esta investigación, ya que Orozco obtiene resultados de sus frutos testigo de 8 y 13 °C (sin tratamiento) valores de 5.66 y 5.58 respectivamente. Vargas *et al.*, (2017) reportan que para bulbos de yaca tratados con 1-MCP a 1000 nL / L y almacenados a 5 °C no presentaron diferencias significativas en los valores de pH con respecto al testigo sin tratamiento.

Giménez & Melgarejo (2010) mencionan que la síntesis y el consumo de ácidos orgánicos durante la maduración de los frutos depende de las características metabólicas de cada especie, de aquí parten las diferencias que se pueden encontrar entre frutos de diversas especies.

El análisis muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos en comparación con los testigo de temperaturas (8 y 13 °C), sin embargo podemos observar que la concentración de 1-MCP no es un factor que provoque cambio en la generación del pH de frutos de yaca en estado de madures de consumo.

6.1.4 Firmeza en cáscara y bulbos

Cáscara

Los resultados obtenidos de la prueba de firmeza para la cáscara de los frutos testigo almacenados a 25 °C (Fig. 6.7 A) podemos observar como paulatinamente este valor comienza a disminuir en el transcurso de los días de almacenamiento. Comenzando en el día 1 de almacenamiento se obtuvo una lectura de 300.68 N de fuerza para la cutícula. Finalizando esta prueba en el día 8 de almacenamiento se reporto una fuerza de 238.68 N lo que en porcentaje quiere decir que el fruto pierde un 20 % de su firmeza al finalizar su vida de anaquel.

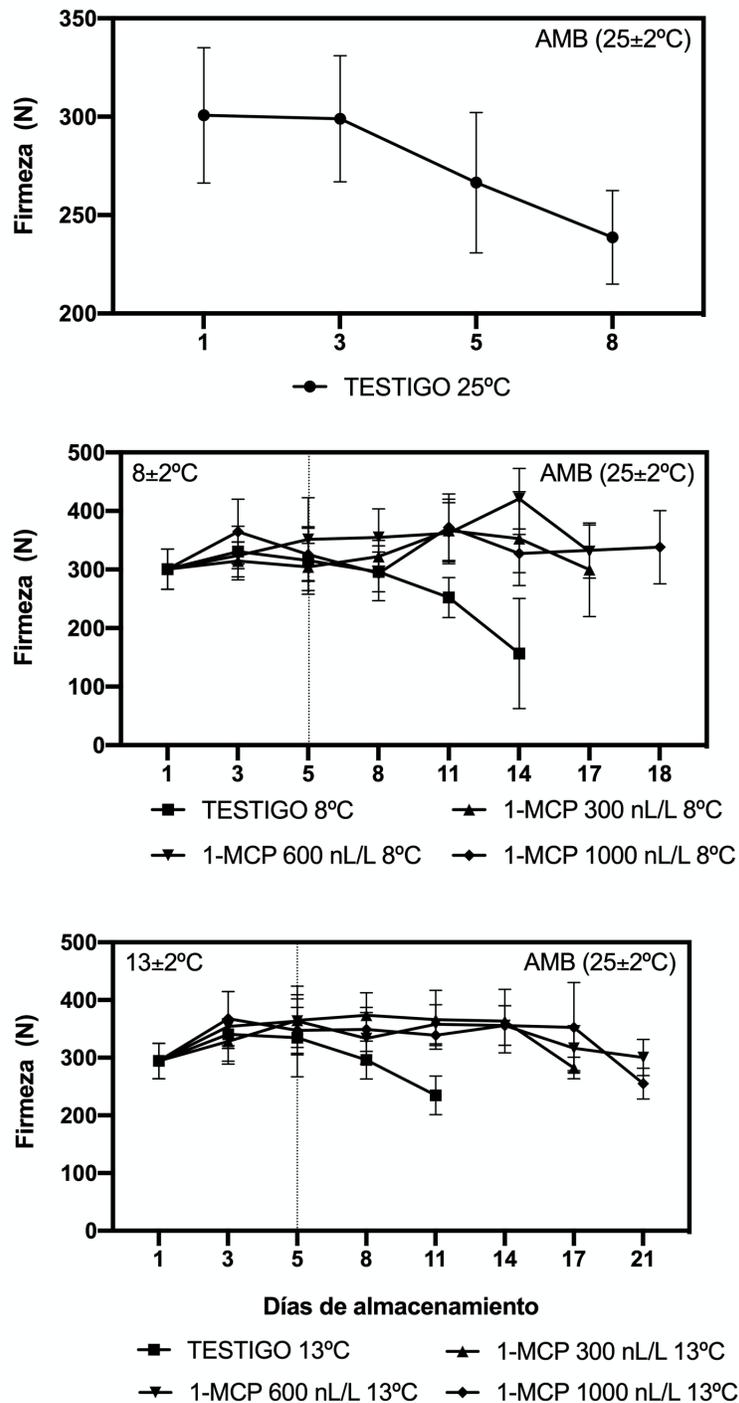


Figura 6.7 Firmeza en los frutos de yaca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

Para los frutos con tratamientos de 1-MCP almacenados a 8 °C (Fig. 6.7 B) la concentración de 300 nL / L mostró una pérdida gradual de firmeza en la cutícula desde el día 1 (300.68 N) hasta su senescencia en el día 17 (299.58 N) de igual manera se observó el mismo comportamiento con el tratamiento a 600 nL / L con la diferencia de que los frutos presentaron valores de firmeza más altos en su último día (330.81 N). El tratamiento con la mayor concentración de 1-MCP (1000 nL / L) prolongó la vida útil del fruto hasta el día 18 y presentó valores de firmeza más elevados (338.16 N).

En los frutos almacenados a 8 °C (Fig. 6.7 B) se observó mínima pérdida de firmeza del día inicial (300.67 N) hasta el día 5 (315.56 N). Diferencias notorias se obtuvieron después de realizar la simulación de mercadeo y trasladar los frutos a 25 °C, ya que el fruto almacenado a 8 °C en su último día útil, obtuvo un valor de 156.6 N.

Los tratamientos con 1-MCP almacenados a 13 °C (Fig. 6.7 C) siguieron la misma tendencia de disminuir los parámetros de firmeza conforme pasan los días de almacenamiento. Para el tratamiento con 300 nL / L se observa que al momento de realizar la simulación de mercadeo éste no pierde su firmeza de forma súbita, sin embargo en el último día de vida de anaquel, se presentó una firmeza de 282.15N lo que se traduce en solo un 6 % de la pérdida de firmeza total. Destacando por los valores obtenidos, la concentración de 600 nL / L esta concentración logró obtener en su último día de vida de anaquel 300.33 N de firmeza lo que podemos traducir en un 0.11 % de pérdida de firmeza. La concentración de 1-MCP más alta (1000 nL / L) mostró datos más bajos que las dos concentraciones inferiores, ya que en el día final de análisis se reportaron 255.13 N de firmeza.

El testigo almacenado a 13 °C (Fig. 6.7 C) mostró la mayor pérdida de firmeza de todos los frutos analizados a 13 °C, ya que en el último día de vida de anaquel reporta valores de 234.83 N lo que nos permite dilucidar que la temperatura de almacenamiento juega un papel importante en la pérdida de firmeza de los frutos de yaca.

Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) atribuyen que el etileno tiene un fuerte efecto en la firmeza de la cutícula de los frutos de yaca, ya que estimula la actividad de enzimas que degradan la pared celular; Payasi *et al.* (2009) afirman que la degradación de los polímeros de la pared celular involucra una acción coordinada de enzimas y proteínas modificadoras de la pared celular tales como poligalacturonasa (PG, EC 3.2.1.15), pectinmetilesterasa (PME, EC 3.1.1.11), β -galactosidasa (EC 3.2.1.23) xiloglucano endotransglicosilasa (XET, EC 2.4.1.207) y expansinas. Los valores obtenidos en esta experimentación son similares a los que reporta Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) con frutos de yaca tratados con 1-MCP a 100 y 300 nL / L, ya que reporta 340 N como firmeza inicial y un descenso importante en el día final con 60 N para frutos con 300 nL / L.

El análisis muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos en comparación con los testigo de temperaturas (8 y 13 °C), corroborando el efecto positivo que tiene el utilizar el 1-MCP para la conservación de este parámetro, ya que es uno de los más importantes a la hora de que el fruto es comercializado.

Bulbos

El parámetro de firmeza en los bulbos de yaca almacenados a 25 °C (Fig. 6.8 A) presentan una firmeza inicial en el día 1 de 16.91 N donde notoriamente este valor comienza a disminuir al paso de los días de almacenamiento, llegando hasta los 6 N en el día 8.

La firmeza reportada en los bulbos del fruto de yaca almacenados a 8 °C (Fig. 6.8 B) conforme los tratamientos con 1-MCP, a concentraciones de 300 y 600 nL / L no hubo diferencias significativas en los valores de firmeza durante su periodo de almacenamiento, siendo el día 17 su último con valores de 8.76 y 8.61 N respectivamente. El tratamiento con 1000 nL / L mostró un comportamiento lineal en la firmeza durante los días 5 a 11, a partir de ahí mostró una disminución gradual en la firmeza siendo el día 18 su último día útil con 9.18 N de firmeza.

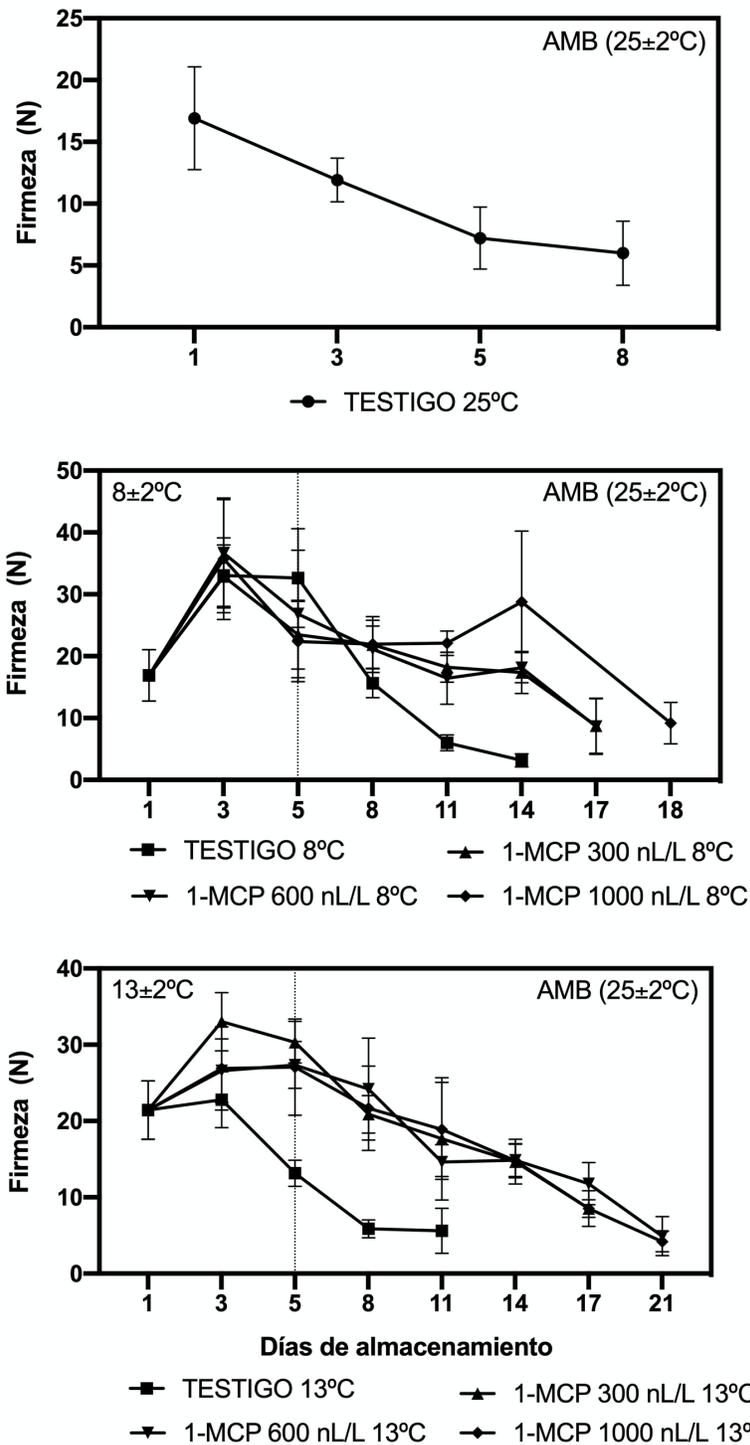


Figura 6.8 Firmeza en los bulbos de frutos de yuca, tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones y almacenados a temperaturas de 25 °C (A), 8 ± 2 °C (B) y 13 ± 2 °C (C). La línea punteada indica el día del cambio de temperatura de refrigeración a temperatura de 25 °C.

El análisis de firmeza de los bulbos almacenados a 8 °C (Fig. 6.8 B) mostraron un descenso notorio en la firmeza a partir del día 5, cuando comienza la simulación de mercadeo, llegando a prolongarse su vida de anaquel hasta el día 14 con valores de firmeza de 1.26 N.

Los frutos de yaca que fueron tratados a diferentes concentraciones de 1-MCP y almacenados a 13 °C (Fig. 6.8 C) presentan el mismo comportamiento que los almacenados a 8 °C. La simulación de mercadeo logra generar una pérdida notoria en la firmeza de los bulbos de todos los tratamientos. La concentración de 300 nL / L reporta en su último día de vida de anaquel valores de 8.53 N. las concentraciones de 600 y 1000 nL / L logrando alargar la vida de anaquel de los frutos de yaca hasta el día 21 de almacenamiento reportan valores de 4.91 y 4.19 N respectivamente que, comparadas con el fruto testigo las diferencias son mínimas.

Por último, el testigo que se almacenó sin tratamiento a 13 °C desde el tercer día de almacenamiento presentó una disminución en los valores de firmeza, reportando en el último día de vida de anaquel (día 11) 5.62 N.

Amornputti *et al.* (2014) reportan que la firmeza de la pulpa de d'urian tratada con 1-MCP (500 nL / L) sometida a una simulación de mercadeo (3 días en 15°C y posteriormente a 25 °C) no obtuvo diferencias significativas con el testigo almacenado a 25 °C. Por otro lado, Razzaq *et al.*, (2015) reportan en mango (Kensington Pride) que el uso de 1-MCP (10 µL/L) almacenado a 25 °C durante 10 días muestra diferencias significativas con respecto a frutos de mango no tratados.

En la investigación de Guerreiro *et al.*, (2015) mencionan que el ablandamiento de la fruta es uno de los parámetros con mayor importancia que definen la calidad de los frutos en almacenamiento posterior a la cosecha, el ablandamiento de la pulpa es atribuida principalmente a la hidrólisis del almidón en azúcar y por la degradación de la pared celular por pectina.

El análisis muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos en comparación con el fruto testigo almacenado a 25 °C. cabe

mencionar que aunque el 1-MCP tiene efectos de conservación de la firmeza en la cáscara del fruto, los efectos en la pulpa son de menor intensidad, lo que le permite al fruto obtener una firmeza similar a la de un fruto que no ha sido tratado con este gas.

6.1.5 Color cáscara y bulbos

Cáscara

La degradación de la clorofila (Cuadro 6.1) en la cáscara del fruto testigo almacenado a 25 °C obtuvo un valor inicial de 106.25 °Hue (verde limón) donde posterior al paso de los días disminuye poco a poco. Una vez realizada la simulación de mercadeo podemos observar como la degradación de la clorofila comienza a acelerar, ya que al final de la vida de anaquel de estos frutos se obtuvo un valor de 84.45 °Hue (verde).

Referente a los valores obtenidos de color en los frutos con tratamiento de 1-MCP almacenados a 8 °C, el atraso de la degradación del color llegó hasta el día 17 en el caso del tratamiento con 1-MCP de 300 y 600 nL / L, dando valores de °Hue cercanos a 85.74 y 87.19 respectivamente (de verde oscuro a marrón), y en el tratamiento con 1-MCP de 1000 nL / L hasta el día 18 un valor de 79.45 °Hue (verde oscuro a marrón), los tonos observados fueron similares a los del testigo absoluto de 25 °C en los tres tratamientos.

Para la fruta tratada a 8 °C hubo un atraso en la degradación de la clorofila hasta el día 14 dando un valor de °Hue de 87.54, color verde oscuro a marrón.

El comportamiento de los frutos que fueron tratados con 1-MCP y almacenados a 13 °C (Cuadro 6.2) fue el mismo que los frutos almacenados a 8 °C. Los frutos tratados con 1-MCP de 300 nL / L reportan valores finales de 89.15 °Hue. Los tratamientos con 1-MCP de 600 y 1000 nL / L obtuvieron valores de 87.83 y 88.87 °Hue respectivamente, los cuales estadísticamente son similares a los valores reportados en los frutos testigo de 13 y 25 °C, con una ventaja de 10 y 13 días extra de vida de anaquel.

Cuadro 6.1 Color (°Hue) de la cáscara del fruto de yaca almacenado a 8 °C y 25 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Días de almacenamiento	Testigo absoluto (25 ± 2°C)	Testigo sin 1-MCP (8°C ± 2°C)	1-MCP 300 nL/L	1-MCP 600 nL/L	1-MCP 1000 nL/L
1DR	106.25±1.52a 	106.25±1.52a 	106.25±1.52a 	106.25±1.52a 	106.25±1.52a 
3DR	103.47±2.44a 	104.16±0.93a 	102.88±4.49a 	105.47±2.25a 	105.2±2.31a 
5DR	98.68±5.91a 	102.14±2.09a 	102.13±5.48a 	104.67±1.97a 	105.13±3.95a 
5DR+3AMB	84.45±8.33a 	96.75±7.34b 	102.22±4.59bc 	103.86±3.27c 	104.55±2.46c 
5DR+6AMB		92.11±4.57b 	101.29±6.4c 	102.99±3.92c 	104.36±3.2c 
5DR+9AMB		82.51±6.44b 	98.58±7.46c 	99.75±6.23c 	99.29±5.9c 
5DR+12AMB			85.74±9.06b 	87.19±6.25b 	
5DR+13AMB					79.45±6.92b 

El día del cambio de temperatura de refrigeración en el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media ± su desviación estándar (n = 3). Las letras mayúsculas representan el efecto de los tratamientos, las letras minúsculas representan el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

Finalmente, los frutos testigo almacenados a 13 °C tuvieron un comportamiento similar a los frutos tratados con 1-MCP retrasando la degradación de la clorofila con

el control de la temperatura. Estos frutos que lograron 11 días de vida de anaquel, reportan valores de 85.89 °Hue similares a los del fruto testigo de 25 °C.

Cuadro 6.2 Color (°Hue) de la cáscara del fruto de yaca almacenado a 13 °C y 25 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Días de almacenamiento	Testigo absoluto (25 ± 2°C)	Testigo sin 1-MCP (13°C ± 2°C)	1-MCP 300 nL/L	1-MCP 600 nL/L	1-MCP 1000 nL/L
1DR	106.25±1.52a 	106.25±1.52a 	106.25±1.52a 	106.25±1.52a 	106.25±1.52a 
3DR	103.47±2.44a 	104.37±1.67a 	103.1±12.94a 	107.41±2.26a 	105.57±2.31a 
5DR	98.68±5.91a 	102.27±3.4ab 	107.1±1.37ab 	107.39±1.48ab 	110.74±15.36b 
5DR+3AMB	84.45±8.33a 	94.88±5.61ac 	107.16±1.88b 	106.54±3.36b 	102.18±3.71bc 
5DR+6AMB		85.89±6.9b 	105.18±3.68c 	96.25±32.67bc 	103.86±1.98c 
5DR+9AMB			96.23±3.07b 	92.4±3.53b 	94.17±1.31b 
5DR+12AMB			89.15±5.65b 	84.36±4.65b 	86.77±1.56b 
5DR+16AMB				87.83±2.26b 	88.87±1.28b 

El día del cambio de temperatura de refrigeración en el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media ± su desviación estándar (n = 3). Las letras mayúsculas representan el efecto de los tratamientos, las letras minúsculas representan el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

En la investigación realizada por Osuna *et al.*, (2005) para frutos de aguacate 'Hass' tratado con 1-MCP a 200 nL / L realizando una simulación de mercadeo (22 °C por 12 días y 6 °C por 6 días) reporta un atraso en la formación del color negro característico de un fruto de aguacate en estado de madurez de consumo.

El mecanismo por el cual el 1-MCP retrasa la degradación de la clorofila puede estar relacionado con la mitigación de expresión de genes que codifican enzimas que degraden clorofilas (Balaguera *et al.*, 2014). El cambio de color en la cutícula de los frutos se debe a la degradación de clorofilas por actividad enzimática efecto de la producción del etileno ya que éste, además de inducir la degradación de clorofilas, también afecta la funcionalidad de los cloroplastos, debido a la disminución de la fluorescencia de la clorofila (Martino *et al.*, 2007; García 2015).

El análisis muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos en comparación con el fruto testigo almacenado a 25 °C. Cabe destacar que los días anteriores a la simulación de mercadeo, los frutos testigo y con tratamiento, muestran valores similares en °Hue, siendo posterior al cambio de temperatura de almacenamiento los frutos tratados con 1-MCP que continúan retrasando la degradación de la clorofila.

Bulbos

Los valores presentados de °Hue para los bulbos testigo almacenados a 25 °C (Cuadro 6.3) en su día inicial fueron de 80.5 °Hue (amarillo claro) mostrando que los carotenoides se produjeron en un periodo de 8 días hasta la senescencia en donde se observaron valores con un de 64.06 °Hue (amarillo oscuro), cabe mencionar que la simulación a mercadeo jugó un papel importante en el aceleramiento de la formación de carotenoides.

Al analizar los cambios de color en los bulbos del fruto de yaca tratados con 1-MCP a 300 y 600 nL / L, se observó que se retardó la degradación de los carotenoides hasta el día 17, presentando valores de 72.7 y 72.53 °Hue, respectivamente (amarillo). Los frutos tratados con 1-MCP a 1000 nL / L prolongó un día más la vida

Cuadro 6.3 Color ($^{\circ}$ Hue) de los bulbos del fruto de yaca almacenado a 8 °C y 25 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Días de almacenamiento	Testigo absoluto (25 ± 2°C)	Testigo sin 1-MCP (8°C ± 2°C)	1-MCP 300 nL/L	1-MCP 600 nL/L	1-MCP 1000 nL/L
1DR	80.5±10.73a 	80.5±10.73a 	80.5±10.73a 	80.5±10.73a 	80.5±10.73a 
3DR	73±7.71a 	73.94±2.15a 	67.79±1.45a 	73.31±2.68a 	68.72±2.13a 
5DR	64.86±2.62a 	71.17±2.12b 	71.94±1.63b 	72.9±8.65b 	72.54±2.07b 
5DR+3AMB	64.06±4.48a 	73.75±3.81b 	72.61±1.31b 	72.55±1.23b 	77.87±7.76b 
5DR+6AMB		63.94±9.54b 	73.69±1.91c 	73.68±1.99c 	73.02±2.78c 
5DR+9AMB		69.96±5.61a 	71.27±2.49b 	74.65±1.77b 	74.47±1.69b 
5DR+12AMB			72.7±1.43b 	72.53±3.05b 	
5DR+13AMB					67.12±4.5b 

El día del cambio de temperatura de refrigeración en el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media ± su desviación estándar (n = 3). Las letras mayúsculas representan el efecto de los tratamientos, las letras minúsculas representan el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

del fruto, presentando un valor de °Hue de 67.12 (amarillo a amarillo oscuro), valor similar al de los testigos de 8 y 25° en el último día de anaquel de los frutos.

Como consecuencia del almacenamiento a 8 °C los frutos a esta temperatura lograron alargar la vida de anaquel hasta el día 14, sin embargo, los valores de °Hue fueron similares a los reportados por los frutos testigo almacenados a 25 °C ya que al finalizar la vida de anaquel de los frutos de 8 °C mostraron valores de 69.96 °Hue.

Por otro lado, los resultados obtenidos de los frutos tratados con 1-MCP y almacenados a 13 °C (Cuadro 6.4) obtuvieron resultados similares a los testigos, ya que la concentración de 300 nL / L reportó en el día 17 un valor de °Hue de 67.74 (amarillo). Con la ventaja de alargar la vida de anaquel de los frutos de yaca hasta 21 días las concentraciones de 600 y 1000 nL / L presentan valores de °Hue de 64.87 y 62.76 (amarillo intenso y anaranjado) respectivamente.

Por último, los frutos testigo almacenados a 13 °C presentan valores similares a los frutos testigo de 25 °C con un desfase en los días de aparición del color. Estos frutos al finalizar la vida de anaquel reportan un color de 63.5 °Hue (anaranjado pálido).

En otros estudios han encontrado resultados similares, tal es el caso del fruto de ciruelas en donde se reporta que para ciruelas tratadas con 500 nL / L de 1-MCP y almacenadas a 20 °C no existen diferencias significativas con respecto a los testigo almacenados a 25 °C ya que solamente genera un atraso en la aparición de la coloración característica de la ciruela (Menniti *et al.*,2004)

En la investigación realizada por Mata-Montes de Oca *et al.*, (2007) reportan que la concentración de 1-MCP a 300 nL / L afectó la apariencia de los bulbos ya que éstos no desarrollaron el color característico de un bulbo en estado de madurez de consumo, caso contrario ocurrió en esta investigación, ya que los bulbos lograron producir la coloración característica.

Cuadro 6.4 Color ($^{\circ}$ Hue) de los bulbos del fruto de yaca almacenado a 8 °C y 25 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Días de almacenamiento	Control absoluto (25 ± 2°C)	Control sin 1-MCP (13°C ± 2°C)	1-MCP 300 nL/L	1-MCP 600 nL/L	1-MCP 1000 nL/L
1DR	80.5±10.73a 	80.5±10.73a 	80.5±10.73a 	80.5±10.73a 	80.5±10.73a 
3DR	73±7.71a 	70.04±2.16a 	74.41±3.17a 	69.41±1.16a 	70.47±2.61a 
5DR	64.86±2.62a 	70.79±2.03b 	71.14±2.42b 	72.93±1.46b 	74.14±1.62b 
5DR+3AMB	64.06±4.48a 	68.25±1.59ac 	74.32±0.96b 	70.76±1.22bc 	74.74±2.49b 
5DR+6AMB		63.5±4.17b 	73.3±0.49c 	72.48±0.85c 	72.35±2.26c 
5DR+9AMB			68.35±2.08b 	70.03±1.57b 	70.46±2.78b 
5DR+12AMB			67.74±3.29b 	68.17±2.38b 	64.84±3.37b 
5DR+16AMB				64.86±1.67b 	62.76±2.06b 

El día del cambio de temperatura de refrigeración en el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media ± su desviación estándar (n = 3). Las letras mayúsculas representan el efecto de los tratamientos, las letras minúsculas representan el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

El análisis muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos en comparación con los frutos testigo almacenados a 25, 8 y 13 °C. También se puede observar que el 1-MCP tiene efecto en la producción de carotenoides, aun modificando la temperatura de almacenamiento, lo que disminuye la producción de la coloración característica de los bulbos en estado de madurez de consumo.

El efecto inhibitorio de 1-MCP sobre la síntesis de pigmentos no sería inesperado porque el bloqueo de la percepción de etileno tiene una acción negativa en varios otros eventos relacionados con la maduración climatérica. Sin embargo, los niveles más bajos de carotenoides en la pulpa de fruta expuesta a etileno exógeno son bastante sorprendentes, ya que la hormona tiene el mismo efecto desencadenante que ocurre durante la maduración no inducida. Este aparente efecto contradictorio podría tomarse como una indicación de que la acumulación de trans-licopeno está finamente ajustada por el nivel de etileno o la inducción del tiempo. De esta manera, el bloqueo de la percepción de etileno por 1-MCP impediría la producción natural de etileno y la inducción de la síntesis de carotenoides (Fabi *et al.*, 2007)

Por otro lado, el suministro masivo de etileno por aplicación exógena podría perturbar la concatenación de todos los eventos involucrados en la síntesis de carotenoides, que serían señalados por la hormona. Otra posibilidad sería la anticipación de eventos que tengan un efecto negativo o inhibitorio sobre la biosíntesis de trans-licopeno o uno de sus precursores muy tempranos (Fabi *et al.*, 2007)

Sobre la base de los resultados de Marty *et al.*, (2005) usando albaricoque, la biosíntesis de carotenoides puede estar bajo regulación compleja y el efecto de etileno en la expresión génica también puede ser diverso. Estos autores descubrieron que los genes de fitoeno sintasa y fitoeno desaturasa, genes arriba de los pasos de acumulación de fitoeno y fitoflueno, estaban claramente regulados por etileno, mientras que los genes abajo, como β -caroteno y ξ -caroteno desaturasa, eran independientes del etileno.

6.3 Fenoles solubles totales y capacidad antioxidante

Este análisis consistió en la cuantificación fenoles solubles totales (FST) y capacidad antioxidante (CAOX) por el método FRAP y DPPH. En esta sección de resultados, únicamente se presentarán los valores obtenidos de los frutos testigo y los tratamientos de 1-MCP a 600 nL / L a sus dos temperaturas (8 y 13 °C), ya que esta concentración presentó una amplia vida de anaquel con características atractivas al consumidor; además de valores que indican que el fruto continúa su maduración ante la aplicación del 1-MCP durante el almacenamiento.

6.3.1 Fenoles solubles totales

Los resultados de la determinación de fenoles solubles totales (FST) de los frutos testigo de yaca a 25 y 8 °C además de los tratamientos con 1-MCP se muestran en el Cuadro 6.5 se puede observar que los valores iniciales (día 1) del fruto testigo almacenado a 25 °C son de 1135.85 mg EAG / 100g. Al realizar la simulación de mercadeo (día 5) se genera un incremento considerable en el valor de FST ya que se reporta 1637.75 mg EAG / 100g, no obstante, al finalizar la vida de anaquel del fruto en el día 8 se obtiene un descenso del valor de FTS, ya que se reportan 1200.69 mg EAG / 100g, siendo valores estadísticamente similares a los del día inicial.

El fruto testigo almacenado a 8 °C tiene el mismo comportamiento que el fruto de 25 °C, ya que al inicio del análisis se presentan valores de 1217.18 mg EAG / 100g, posterior a la simulación de mercadeo (día 5) se mantiene el valor, reportando 1248.82 mg EAG / 100g. En el último día de almacenamiento el fruto reporta valores similares a los días anteriores con, 1293.25 mg EAG / 100g (Cuadro 6.5).

El tratamiento con 1-MCP a 600 nL / L muestra un efecto interesante en los frutos de yaca, ya que al obtener los resultados de FST se puede observar que estadísticamente los valores reportados al inicio y al final de la experimentación no

tienen diferencia significativa. Los valores obtenidos para el primer día de almacenamiento, el día de simulación de mercadeo y el final de la vida de anaquel son 1135.85, 1231.20 y 1163.94 mg EAG / 100g respectivamente.

Cuadro 6.5 Fenoles solubles totales (mg EAG / 100g BH) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 8 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Día	Testigo absoluto 25 °C	Testigo 8 °C	1-MCP 600 nL / L 8 °C
1	1135.85±31.28 ^{aA}	1217.18±26.68 ^{bAC}	1135.85±31.28 ^{aAC}
3	1364.73±45.05 ^{aB}	1394.88±20.02 ^{aB}	1104.97±17.70 ^{bA}
5	1637.75±43.07 ^{aC}	1248.82±69.63 ^{bA}	1231.20±45.84 ^{bCB}
8	1200.69±4.40 ^{aD}	1127.28±8.08 ^{aC}	1288.96±0.37 ^{bB}
11		1384.94±45.20 ^{bBD}	1194.02±36.07 ^{aAB}
14		1293.25±1.05 ^{bAD}	1104.78±36.32 ^{cA}
17			1163.94±28.48 ^{aAC}

El día de simulación de mercadeo es el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media ± su desviación estándar (n = 3). Las letras minúsculas representan el efecto de los tratamientos y las mayúsculas el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

Los valores obtenidos de los frutos testigo y los tratados con 1-MCP almacenados a 13 °C (Cuadro 6.6) son un poco diferentes entre si, más sin embargo ambos logran mantener valores similares en el día inicial de la prueba y el final

Para el fruto testigo en el día 1 se obtienen valores de 1416.42 mg EAG / 100g, seguido de la simulación de mercadeo en el día 5 con 1485.30 mg EAG / 100g y

finalizando en el día 11 con 1523.40 mg EAG / 100g. En el análisis estadístico de estos datos indica que no existen diferencias significativas, sin embargo, los parámetros de FST son más altos que los reportados en los frutos testigo y los tratamientos.

Cuadro 6.6 Fenoles solubles totales (mg EAG / 100g BH) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 13 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Día	Testigo absoluto 25 °C	Testigo 13 °C	1-MCP 600 nL / L 13 °C
1	1135.85±31.28 ^{aA}	1416.42±43.69 ^{bA}	1135.85±31.28a ^{AB}
3	1364.73±45.05 ^{aB}	1103.84±0.63 ^{bB}	1127.93±2.72 ^{bA}
5	1637.75±43.07 ^{aC}	1485.30±1.54 ^{bA}	1121.99±21.94 ^{cA}
8	1200.69±4.40 ^{aD}	1458.09±6.46 ^{bA}	1211.14±5.23 ^{aAB}
11		1523.40±63.78 ^{bA}	1070.58±0.19 ^{cAB}
14			1244.13±52.48 ^{aB}
17			1209.54±7.35 ^{aAB}
21			1110.46±4.83 ^{cAB}

El día de simulación de mercadeo es el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media ± su desviación estándar (n = 3). Las letras minúsculas representan el efecto de los tratamientos y las mayúsculas el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

Por último, los frutos tratados con 600 nL / L de 1-MCP y almacenados a 13 °C tienen un comportamiento similar a los frutos tratados y almacenados a 8 °C, esta aseveración se puede afirmar comparando los valores obtenidos en estos frutos con los del tratamiento anterior. En el día 1 se obtuvo un valor de 1135.85 mg EAG /

100g, en el día de simulación de mercadeo (día 5) un valor de 1121.99mg mg EAG / 100g y por último en el día final de vida de anaquel (día 21) un valor de 1110.46 mg EAG / 100g.

En la investigación de Shafiq *et al.*, (2017) reportan valores en frutos testigo en madurez de consumo provenientes de Lahore, localidad de Pakistán obteniendo 239.87 mg EAG / 100g. En otro estudio realizado por Jagtap *et al.* (2010) con frutos testigo de yaca en estado de madurez de consumo provenientes de la localidad de Radhanagari de la región Ghats occidental en la India reportan valores de FST de 21 mg EAG / 100g. Al comparar estos valores con los obtenidos para el testigo a 25 °C, se encontró que este fue mayor al de estos autores. Estudios han demostrado que existen factores que van a modificar el contenido fenólico de un fruto; el tipo de cultivar va relacionado con la genética del fruto, factores ambientales como la presencia o ausencia de luz, temperatura, regímenes de agua y la disponibilidad de dióxido de carbono atmosférico. Además de factores agronómicos que involucran la intervención del hombre como la aplicación de riego, nutrición mineral, injertos, agentes estimulantes y las practicas agrícolas orgánicas y convencionales (Anjos *et al.*, 2020)

Vargas-Torres *et al.*, (2017) reportaron valores próximos a los 850 mg EAG / 100g en bulbos de yacas tratadas con sorbato de potasio al 1 % y cloruro de calcio 0.1 % en el día 12 de almacenamiento sin tratamiento previo con 1-MCP. No obstante, al aplicar un tratamiento de 1-MCP a 1000 nL / L a los bulbos de yaca a las mismas condiciones con sorbato de potasio y cloruro de calcio, obtuvieron como resultado un aumento en los FST dando un valor de 900 mg EAG / 100g. Este efecto de aumento se dio de la misma manera en esta investigación en los bulbos almacenados a 8 °C con la aplicación de 1-MCP a 600 nL / L y un efecto inverso se observó al compararlo con los bulbos almacenados a 13 °C con el tratamiento de 1-MCP. La degradación del contenido fenólico en los frutos durante su almacenamiento puede ser resultado del ataque de especies reactivas de oxígeno o por la polimerización de compuestos fenólicos monoméricos (Piretti *et al.*, 1996).

El aumento en los FST observado en los bulbos tratados con 1-MCP y almacenados a 8 °C y 13 °C observado en los primeros 8 días de almacenamiento puede ser debido a que el proceso de maduración del fruto promueve la síntesis de polifenoles (Vargas-Torres *et al.*, 2017). Además, pudiera estar relacionado con la capacidad potencial para activar la producción de mecanismos de defensa en el fruto, como lo son compuestos fenólicos (Liu *et al.*, 2018).

Sin embargo un retraso en la acumulación de FST puede ser una respuesta a la aplicación de 1-MCP y su relación con la inhibición de la respiración y producción de etileno (Liu *et al.*, 2018), dando lugar al atraso del proceso de maduración y también a la inhibición de la actividad enzimática de la polifenol oxidasa, la cual cataliza la oxidación de los polifenoles (Vargas-Torres *et al.*, 2017).

6.3.2 Capacidad antioxidante

6.3.2.1 FRAP

El ensayo FRAP mide el potencial reductor de un antioxidante que reacciona con un complejo tripiridiltriazin férrico (Fe^{3+} -TPTZ) y lo reduce a un complejo ferroso ó (Fe^{2+} -TPTZ) en un medio ácido (Liu *et al.*, 2018).

Los valores obtenidos de Capacidad antioxidante (CAOX) por el método FRAP de los frutos de yaca testigo (25 y 8 °C) y de los frutos tratados con 1-MCP (Cuadro 6.7) muestran diferencias significativas entre ellos. Los frutos testigo almacenados a 25 °C reportan en el primer día de almacenamiento 4.35 mmol ET / g, posteriormente al realizar la simulación de mercadeo (día 5) este valor incrementa hasta 6.16 mmol ET / g, para posteriormente disminuir en el día 8, finalizando así, su vida de anaquel con un valor de 2.84 mmol ET / g.

Un comportamiento diferente es observado en los frutos testigo almacenados a 8 °C, ya que a lo largo de la experimentación los valores de FRAP no incrementaron o disminuyeron significativamente. En el día 1 de almacenamiento se obtuvieron 3.2

mmol ET / g, en el día 5 de simulación de mercadeo 4.10 mmol ET / g y en el día final de vida de anaquel (día 14) 3.80 mmol ET / g.

Los frutos tratados con 600 nL / L de 1-MCP de igual manera presentaron valores de FRAP estadísticamente similares en el transcurso de los días de almacenamiento. Como valor inicial de estos frutos se obtuvo 4.68 mmol ET / g, al realizar la simulación

Cuadro 6.7 Capacidad antioxidante por método FRAP ($\mu\text{mol ET / g BH}$) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 8 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Día	Testigo absoluto 25 °C	Testigo 8 °C	1-MCP 600 nL / L 8 °C
1	4.68±0.32 ^{aA}	3.27±0.02 ^{bA}	4.68±0.32 ^{aA}
3	4.019±0.82 ^{aA}	4.51±0.11 ^{aB}	3.86±0.15 ^{aAB}
5	5.85±0.06 ^{aB}	4.10±0.16 ^{bAB}	4.36±0.19 ^{bAB}
8	2.64±0.13 ^{aC}	3.36±0.13 ^{bA}	3.73±0.25 ^{bB}
11		5.87±0.09 ^{bC}	4.27±0.10 ^{cAB}
14		3.80±0.26 ^{bAB}	3.68±0.01 ^{bB}
17			4.23±0.55 ^{bAB}

El día de simulación de mercadeo es el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media \pm su desviación estándar (n = 3). Las letras minúsculas representan el efecto de los tratamientos y las mayúsculas el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

de mercadeo es valor se mantuvo en 4.36 mmol ET / g y finalizando su vida de anaquel en el día 18 se obtuvieron valores de 4.23 mmol ET / g.

Los valores obtenidos de CAOX por el método FRAP de los frutos de yaca testigo de 25 y 13 °C no presentan diferencias significativas; sin embargo, los frutos tratados con 1-MCP (Cuadro 6.8) presentan valores inferiores a los testigo mencionados.

En la obtención de los valores de CAOX de los frutos testigo almacenados a 13 °C se observó que no existen diferencias significativas entre el valor inicial y el valor final, no obstante, se reportó un incremento en lo valores al momento de realizar la simulación de mercadeo. El valor reportado en el día 1 de almacenamiento fue de

Cuadro 6.8 Capacidad antioxidante por método FRAP ($\mu\text{mol ET} / \text{g BH}$) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 13 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Día	Testigo absoluto 25 °C	Testigo 13 °C	1-MCP 600 nL / L 13 °C
1	4.68±0.32 ^{aA}	4.31±0.08 ^{aA}	4.68±0.32 ^{aA}
3	4.01±0.82 ^{aA}	4.18±0.13 ^{aA}	1.25±0.09 ^{bB}
5	5.85±0.06 ^{aB}	4.93±0.34 ^{aA}	1.75±0.12 ^{bBC}
8	2.64±0.13 ^{aC}	4.74±0.34 ^{bA}	3.82±0.04 ^{abA}
11		4.85±1.11 ^{bA}	1.45±0.09 ^{aBC}
14			1.88±0.06 ^{aBC}
17			3.07±0.01 ^{aAC}
21			1.42±0.15 ^{aBC}

El día de simulación de mercadeo es el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media \pm su desviación estándar ($n = 3$). Las letras minúsculas representan el efecto de los tratamientos y las mayúsculas el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

4.31 mmol ET / g, después de 5 días de almacenamiento se realizó la simulación de mercadeo, los valores reportados fueron 4.93 mmol ET / g un incremento considerable a comparación de los datos iniciales; sin embargo, como ya se mencionó el fruto presentó valores cercanos a los iniciales en el último día de almacenamiento (día 11), reportando 4.85 mmol ET / g.

Finalmente, el tratamiento con 600 nL / L de 1-MCP y almacenado a 13 °C logro generar un efecto inverso en los frutos de yaca, obteniendo en el día 1 de almacenamiento 4.68 mmol ET / g, posteriormente se observó una disminución importante de este valor en la simulación de mercadeo (día 5), ya que se obtuvieron valores de 1.75 mmol ET / g y finalmente en el día 21 de almacenamiento el fruto no logró elevar este valor, llegando a reportar 1.42 mmol ET / g.

Liu *et al.*, (2015) trabajaron en los cambios de las propiedades fenólicas y antioxidantes de la fruta de durazno durante la maduración y respuestas al 1-metilciclopropeno, reportando datos para los frutos testigo almacenados a 20°C de 0.0048 mmol ET / g y los mismos valores se reportaron para los frutos con 1-MCP a 5000 nL / L almacenados a la misma temperatura. No obstante, al finalizar la vida útil de los frutos en el día 10 se obtienen valores de FRAP del fruto testigo de 0.008 mmol ET / g y para el fruto con 1-MCP se logró observar un descenso de 0.004 mmol ET / g. Esto es atribuido a que existen cambios similares en el contenido de compuestos fenólicos totales y compuestos fenólicos individuales lo cual podría explicar el fenómeno de la actividad antioxidante FRAP. Ya que encontraron una correlación positiva significativa entre los FST y la CAOX FRAP (Zheng *et al.*, 2012). Al comparar este fenómeno con los datos obtenidos en este estudio se observó un comportamiento similar, ya que el contenido de FST en el testigo a 25, 8 y 13 °C mostró una correlación positiva con la actividad FRAP, de igual manera con el tratamiento de 1-MCP a 600 nL / L con ambas temperaturas.

Sin embargo, al realizar una comparación con los datos obtenidos en CT y CAOX FRAP se encontró que no existe una relación ya que el comportamiento de los CT fue en aumento por cada día de almacenamiento en todos los casos tanto testigo a 25, 8 y 13 °C y tratamiento de 1-MCP a 600 nL / L con ambas temperaturas. Esto

puede ser atribuido a que la CAOX FRAP es evaluada en matrices con compuesto mayoritariamente hidrofílicos (Wu *et al.*, 2004).

El tratamiento con 1-MCP puede influenciar la CAOX de un fruto durante el periodo de maduración, estos cambios pueden ser similares a los ocurridos en el contenido fenólico total del fruto debido a la correlación que existe entre los FST y sus propiedades antioxidantes (Zheng *et al.*, 2012). Estudios han demostrado que la reducción o aumento en el potencial de reducción férrico de un fruto es inconsistente ya que va a depender del cultivar, las condiciones de almacenamiento y el método analítico (Hoang *et al.*, 2011).

Tratamientos poscosecha como el almacenamiento a bajas temperaturas pueden aumentar la actividad de enzimas antioxidantes como la fenilalanina amonio liasa (PAL) la cual es clave entre el metabolismo primario (ruta del shikimato) y el secundario (ruta fenilpropanoide) y puede ser inducida mediante estrés por enfriamiento (Liu *et al.*, 2018). La actividad PAL y la ruta fenilpropanoide han sido relacionadas como mecanismos de defensa del fruto lo cual sugiere que a una temperatura mínima de tolerancia al frío el fruto puede mantener o aumentar su CAOX debido a la actividad enzimática de la PAL (Siboza *et al.*, 2014). En ese sentido, se puede relacionar este fenómeno con los datos obtenidos en los testigo a 8 y 13 °C ya que se mantuvieron los valores de CAOX FRAP durante los días de almacenamiento, lo cual indica que a estas temperaturas de tolerancia al frío, el fruto logro una estabilidad.

La aplicación de 1-MCP genera una respuesta en el sistema antioxidante del fruto, ya que este tiene la capacidad de detener la producción de radicales libres presentes durante la respiración climatérica, a través de mecanismos que aun no han logrado ser esclarecidos (Maclean *et al.*, 2006). Sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser una evidencia de que el 1-MCP no afecta la CAOX del fruto de yaca a 8 y 13 °C a una concentración de 600 nL / L.

6.3.2.2 DPPH

La eliminación de radicales estables DPPH es un ensayo aplicado para evaluar la capacidad antioxidante. DPPH es un radical libre estable con absorción característica a 517 nm, donde los antioxidantes reaccionan con este radical y lo convierten en 2,2-difenil-1-picrylhidrazino. El grado de decoloración indica el potencial de inhibición de la muestra (Liu *et al.*, 2018).

Los valores obtenidos de la CAOX por el método de DPPH de los frutos testigo almacenados a 25 y 8 °C además de los frutos tratados con 1-MCP mostraron diferencias significativas en todos los días de almacenamiento (Cuadro 6.9 y Cuadro 6.10).

Al paso de los días de almacenamiento de los frutos testigo a 25 °C se presentaron valores estadísticamente cercanos; sin embargo, al comparar las cifras de DPPH iniciales con las finales observamos un ligero descenso. En el día 1 de almacenamiento se reportó un promedio de 4.06 mmol ET / g, al realizar la simulación de mercadeo este valor se mantuvo en 3.97 mmol ET / g, no obstante, al finalizar la vida de anaquel del fruto este valor descendió hasta los 2.65 mmol ET / g.

Por otro lado, el fruto testigo almacenado a 8 °C mostró valores más altos de CAOX (en comparación con el fruto testigo de 25 °C), ya que estas cifras fueron superiores a los 9 mmol ET / g. Los valores presentados en el primer día de almacenamiento fue 9.83 mmol ET / g, seguido de la simulación de mercadeo en el día 5 con valores de 9.25 mmol ET / g y finalmente después de 14 días de almacenamiento se presenta el valor más alto con 10.23 mmol ET / g.

Los frutos tratados con 1-MCP a 600 nL / L presentaron valores estadísticamente similares, y parecidos a los encontrados en los frutos testigo de 25 °C 4.06 mmol ET / g fue el valor obtenido en el primer día de almacenamiento, seguido de la simulación de mercadeo en el día 5 con 3.65 mmol ET / g, para finalmente en el día 17 de almacenamiento a 25 °C el fruto reportara 3.02 mmol ET / g.

Los valores obtenidos de la CAOX por el método FRAP de los frutos testigo almacenados a 13 °C y los frutos tratados con 1-MCP a 600 nL / L (Cuadro 6.11 y 6.12) presentan diferencias significativas, ya que el testigo de 13 °C presenta valores más altos que el testigo a 25 °C y los tratamientos con 1-MCP

El testigo almacenado a 13 °C a diferencia con su homólogo almacenado a 8 °C presenta una mínima disminución del parámetro de DPPH en los frutos tratados conforme los días de almacenamiento transcurren. Es 10.72 mmol ET / g el valor inicial de estos frutos y 9.25 mmol ET / g después de realizar la simulación de mercadeo pasando 5 días. Una vez transcurrido 11 días de almacenamiento, el fruto testigo termina su vida de anaquel, reportando 9.90 mmol ET / g.

Cuadro 6.9 Capacidad antioxidante por método DPPH (mmol ET / g BH) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 8 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Día	Testigo absoluto 25 °C	Testigo 8 °C	1-MCP 600 nL / L 8 °C
1	4.06±0.11 ^{aA}	9.83±0.19 ^{bAD}	4.06±0.11 ^{aA}
3	2.91±0.11 ^{aB}	5.46±0.07 ^{bB}	4.13±0.11 ^{cA}
5	3.97±0.09 ^{aA}	9.25±0.42 ^{bA}	3.65±0.10 ^{aAC}
8	2.65±0.17 ^{aB}	9.26±0.41 ^{bA}	3.66±0.22 ^{cAC}
11		3.52±0.25 ^{bC}	2.99±0.14 ^{bB}
14		10.23±0.05 ^{bD}	3.33±0.18 ^{cBC}
17			3.02±0.06 ^{aB}

El día de simulación de mercadeo es el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media ± su desviación estándar (n = 3). Las letras minúsculas representan el efecto de los tratamientos y las mayúsculas el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 6.10 Capacidad antioxidante por método DPPH en porcentaje de inhibición (%) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 8 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Día	Testigo absoluto 25 °C	Testigo 8 °C	1-MCP 600 nL / L 8 °C
1	16.82	41.75	16.82
3	10.90	20.44	18.03
5	15.85	38.67	15.34
8	12.30	42.67	15.55
11		15.02	13.47
14		41.53	14.20
17			13.70

El día de simulación de mercadeo es el día 5, a temperatura de 25 °C.

Cuadro 6.11 Capacidad antioxidante por método DPPH (mmol ET / g BH) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 13 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Día	Testigo absoluto 25 °C	Testigo 13 °C	1-MCP 600 nL / L 13 °C
1	4.06±0.11 ^{aA}	10.72±0.08 ^{bA}	4.06±0.11 ^{aACD}
3	2.91±0.11 ^{aB}	3.75±0.099 ^{bB}	4.45±0.08 ^{cAD}
5	3.97±0.09 ^{aA}	9.25±0.058 ^{bC}	4.88±0.05 ^{cD}
8	2.65±0.17 ^{aB}	9.97±0.043 ^{bD}	4.33±0.266 ^{cAC}
11		9.90±0.053 ^{bD}	3.78±0.19 ^{cC}
14			4.10±0.13 ^{cAC}
17			2.77±0.11 ^{aB}
21			4.04±0.09 ^{cC}

El día de simulación de mercadeo es el día 5, a temperatura de 25 °C. Los valores se presentan con su media ± su desviación estándar (n = 3). Las letras minúsculas representan el efecto de los tratamientos y las mayúsculas el efecto de los días de almacenamiento. Letras diferentes, indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 6.12 Capacidad antioxidante por método DPPH en porcentaje de inhibición (%) de los bulbos del fruto de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos almacenados a 13 °C con y sin tratamiento previo de 1-metilciclopropeno.

Día	Testigo absoluto 25 °C	Testigo 13 °C	1-MCP 600 nL / L 13 °C
1	16.828	42.8516	16.828
3	10.909	16.1393	17.36
5	15.859	39.4292	21.80
8	12.308	40.0964	17.47
11		39.3431	17.55
14			15.36
17			9.48
21			16.65

El día de simulación de mercadeo es el día 5, a temperatura de 25 °C.

Finalmente, los frutos tratados con 1-MCP lograron mantener los valores de DPPH similares a los reportados en día inicial de la prueba. Después del tratamiento con 1-MCP los frutos en su primer día de almacenamiento mostraron cifras de 4.06 mmol ET / g. Pasado los 5 días en refrigeración y proceder a la simulación de mercadeo, los frutos muestran valores de 4.88 mmol ET / g siendo un aumento poco apreciable. Finalmente, después de 21 días de almacenamiento, la vida útil de los frutos termina, obteniendo como valores finales de CAOX 4.00 mmol ET / g. Al realizar una relación entre los valores de CT, FST y DPPH, no se encontró una similitud en el comportamiento de aumento o decremento en los valores obtenidos por lo que un análisis en el que se involucre una correlación de estos tres análisis no pudiera ser posible.

Saxena *et al.*, (2009) presentaron cuales son los cambios fitoquímicos en los bulbos de la yaca, obteniendo un gráfico donde se muestra cómo al paso de los días de almacenamiento la CAOX por DPPH de los bulbos testigo disminuye, este comportamiento fue similar al presentado en los bulbos testigo a 8 y 13 °C, ya que disminuyó paulatinamente hasta el último día de almacenamiento. El mismo autor presentó resultados para bulbos de yaca tratados a atmósferas controladas y los valores obtenidos fueron disminuyendo hasta el último día de almacenamiento. Este efecto se dio de la misma forma en los bulbos tratados con 1-MCP a 8 y 13 °C con una concentración de 600 nL / L.

El descenso en la actividad de eliminación de radicales DPPH puede atribuirse a una disminución en las concentraciones de fenoles, ácido ascórbico y flavonoides durante el almacenamiento de los frutos, ya que la CAOX está correlacionada con la presencia de estos compuestos (Thaipong *et al.*, 2006). En ese sentido, los FST y CT no disminuyeron y no tuvieron una relación directa con la actividad DPPH.

En algunos casos, la aplicación de 1-MCP puede mantener o aumentar la actividad DPPH debido a que puede estimular la generación de fenoles solubles, carotenoides y ácido ascórbico, los cuales en sinergia pueden ser responsables de la CAOX del fruto durante su proceso de maduración (Thaipong *et al.*, 2006). En este estudio no se encontró evidencia de que el 1-MCP logre mantener o aumentar

la actividad DPPH, ya que los porcentajes de inhibición de este radical van en decremento hasta el último día de almacenamiento.

6.4 Análisis sensorial

Una vez realizado los análisis de resultados de la prueba sensorial (Fig. 6.9) se pudo llegar a un promedio de nivel de aceptación entre los jueces que evaluaron los bulbos testigo (25 °C), y los bulbos tratados con 1-MCP a 600 nL / L almacenados a 8 °C y 13 °C. En el análisis de color (Fig. 6.9 A) se pudo observar una mayor preferencia en los bulbos tratados con 1-MCP almacenados a 13 °C, mostrando una media de aceptación de 9.53 ± 2.67 , seguido del tratamiento con 1-MCP almacenado a 8 °C con una media de 8.36 ± 2.70 y finalmente el testigo a 25 °C con una media de 8.06 ± 3.05 . Durante el proceso de maduración de los frutos ocurre la degradación del aparato fotosintético y la ruptura de las membranas de los tilacoides para la transformación de los cloroplastos a cromoplastos; posteriormente se da la generación de carotenoides, los cuales otorgan los colores rojos, amarillos o anaranjados a diversos frutos (Murillo *et al.*, 2011). En los bulbos de yaca la coloración es otorgada por el β -caroteno y se ha demostrado que la aplicación de 1-MCP no afecta la generación de estos ya que la síntesis de pigmentos no se ve afectada por el bloqueo de los receptores de etileno (Fabi *et al.*, 2007). Sin embargo, autores como (Vinha *et al.*, 2013) señalan que la temperatura de almacenamiento será clave para la biosíntesis de carotenoides, ya que temperaturas muy bajas pueden influenciar la baja producción de carotenoides debido a un posible daño por frío, lo cual podría ser motivo de que los jueces tuvieron poca presencia a los bulbos almacenados a 8 °C, ya que no presentaron un color característico otorgado por los carotenoides. El mismo autor señala que a temperaturas más elevadas a las que el fruto pueda ser almacenado sin sufrir daños en su estructura, puede acelerar el metabolismo del fruto y como consecuencia la rápida acumulación de carotenoides.

En la evaluación de olor (Fig. 6.9 B) se observó que el grado de aceptación mayor se dio en el tratamiento de 1-MCP a 13 °C con una media de 8.8 ± 3.01 , seguido de

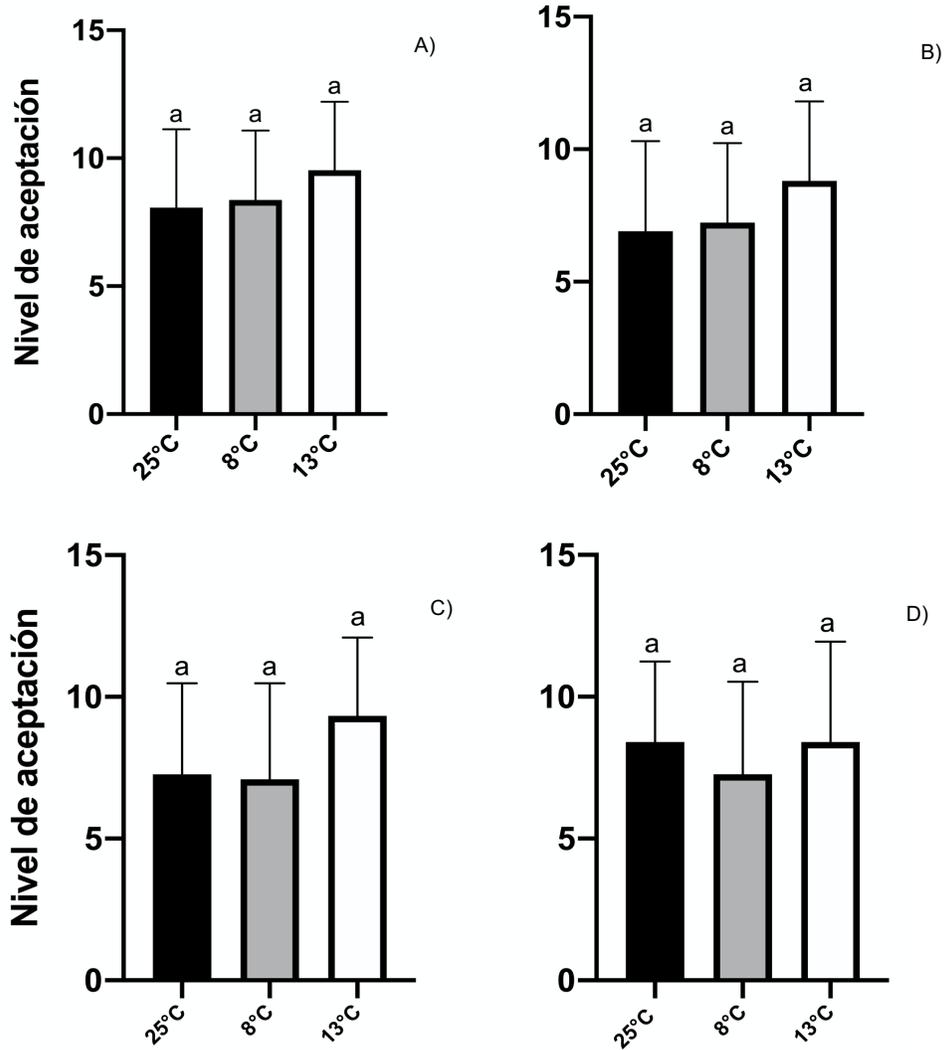


Figura 6.9 Análisis sensorial de los bulbos de yaca con un testigo absoluto a 25 °C y bulbos con tratamiento previo a 600 nL / L de 1-metilciclopropeno almacenados a 8 y 13 °C, donde se muestra el promedio de 30 jueces no entrenados evaluando el color (A), olor (B), sabor (C) y textura (D).

los bulbos tratados con 1-MCP y almacenados a 8 °C con una media de 7.23 ± 3.00 y por ultimo el testigo a 25 °C con una media de 6.9 ± 3.40 . La acción inhibitoria del 1-MCP sobre el etileno afecta los procesos de maduración dependientes de este

compuesto en frutos climatéricos, incluyendo la producción de compuestos volátiles aromáticos. Sin embargo, estudios previos indican que cuando un fruto es tratado con 1-MCP, el ablandamiento y producción de compuestos volátiles procedieron de manera similar al compararlos con frutos sin tratar, pero todo esto dependía en gran medida de la concentración a la que es aplicada el 1-MCP (Argenta *et al.*, 2003). Por lo tanto, la producción de etileno se ve altamente relacionada con la generación de compuestos volátiles característicos de los bulbos de yaca. Sin embargo, los bulbos tratados con 1-MCP almacenados a 13 °C presentaron una velocidad de producción de etileno de $18.19 \pm 9.59 \mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$ y los de 8 °C una velocidad de $52.71 \pm 7.74 \mu\text{L} / \text{kg}\cdot\text{h}$, por lo que se esperaría que los bulbos almacenados a 13 °C tuvieran una menor generación de compuestos volátiles. No obstante, en el análisis de velocidad se observó que el 1-MCP pudo mantener la velocidad de producción de etileno, por lo que se puede constatar que la calidad aromática del bulbo no se vio afectada por el tratamiento.

Los resultados en sabor (Fig. 6.9 C) demostraron que los bulbos con 1-MCP almacenados a 13 °C fueron los de mayor aceptación con una media de 9.33 ± 2.75 , seguido del testigo a 25 °C con una media de 7.26 ± 3.21 y finalizado por los bulbos con 1-MCP almacenados a 8 °C con una media de 7.1 ± 3.37 . El sabor es una combinación de los sabores básicos (salado, dulce, amargo y ácido), sensación en la boca y el aroma (Meilgaard *et al.*, 2007). Una diversa cantidad de compuestos contribuyen a las características de sabor de un fruto o vegetal; Los sólidos solubles totales y la acidez titulable a menudo son relacionados para evaluar la calidad sensorial general de un fruto (Mattheis & Fellman, 1999). En este estudio se encontró que los bulbos almacenados a 13 °C tuvieron una mayor preferencia con los jueces seguido de los almacenados a 8 °C y finalmente el testigo a 25 °C. Esto tiene correlación con los valores obtenidos en este estudio para SST y AT ya que los SST tienen una alta concentración de azúcares tales como fructosa y glucosa y ácido cítrico y málico los cuales contribuyen al sabor de los bulbos (Alonso *et al.*, 2002; Causse *et al.*, 2003).

Finalmente, en el análisis de textura (Fig. 6.9 D) se encontró que los bulbos con 1-MCP a 13 °C y el bulbo testigo a 25 °C tuvieron el mismo grado de aceptación con una media de 8.4 ± 3.54 y 8.4 ± 2.84 respectivamente y por ultimo el tratamiento de 1-MCP a 8 °C con una media de 7.26 ± 3.26 . Como es observado, los jueces tuvieron valores de preferencia similares entre el tratamiento a 13 °C y el testigo a 25 °C, esto es debido a que se ha encontrado que la aplicación de 1-MCP no afecta negativamente la textura del bulbo, ya que esta va correlacionada con la firmeza que tiene y que a su vez cambia conforme al proceso de maduración. *Amornputti et al.*, (2014) realizaron el análisis de simulación de mercadeo en pulpa de durian tratada con 1-MCP (500 nL / L, 15°C y posteriormente a 25°) y no obtuvieron diferencias significativas con el testigo almacenado a 25 °C. (Lu *et al.*, 2018) realizaron una evaluación sensorial de firmeza en manzanas ‘Fuji’ tratadas con 1-MCP (1.0 µL / L) y no encontraron diferencias significativas con el testigo sin tratar.

Se ha encontrado que el 1-MCP previene o retrasa el ablandamiento, el cual está estrechamente relacionado con la producción de etileno (Watkins, 2006). En ese sentido, los bulbos tratados con 1-MCP almacenados a 13 °C pudieron conservar la firmeza hasta el día de consumo sin que afectara este parámetro y pudiera ser muy similar al del testigo a 25 °C. Sin embargo, la simulación de mercadeo puede generar una pérdida de firmeza y textura en los bulbos, al ser expuestos a temperaturas más elevadas y verse reflejado en el producto final por el ablandamiento, el cual es atribuido principalmente a la hidrólisis de azúcares y almidones propios del fruto, llegando a una degradación de la pared celular por la pectina, producto de la maduración (Guerreiro *et al.*, 2015).

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

Los parámetros fisiológicos presentaron diferencias significativas entre los frutos testigo y los tratados. Se observó efecto del 1-MCP en estos parámetros generando un atraso en la maduración de los frutos. La concentración de 600 nL / L almacenado a 13 °C presentó cifras más convenientes para la cadena de mercadeo, aumentando la vida útil 14 días más con respecto al fruto testigo absoluto.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos mostraron diferencias significativas entre los frutos testigo y los tratados con 1-MCP, los cuales atrasaron la aparición de los valores promedio de un fruto sin la aplicación de este regulador. Los frutos tratados con la concentración de 600 nL / L almacenados a 13 °C, mostraron después de 14 días valores fisicoquímicos similares a las reportadas por el fruto testigo a 25 °C.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en los análisis de FST entre los frutos testigo y los tratados con 1-MCP a 600 nL / L almacenados a 8 y 13 °C, de igual manera, la CAOX en FRAP y DPPH mostró diferencias significativas entre los testigo y el tratamiento, lo cual pudiera encaminar a un análisis más completo para elucidar con mayor certeza los efectos de la aplicación del 1-MCP sobre estos parámetros; aun así, las cifras obtenidas revelan que los bulbos de yaca mantienen un efecto de CAOX interesante.

La evaluación sensorial mostró que el 1-MCP no afectó los parámetros sensoriales de los bulbos y que el tratamiento almacenado a 13 °C tratado con 1-MCP a 600 nL / L obtuvo valores más altos de aceptación en el análisis sensorial.

CAPITULO 8. BIBLIOGRAFÍA

- Adams-Phillips, L., Barry, C., & Giovannoni, J. (2004). Signal transduction systems regulating fruit ripening. *Trends in Plant Science*, 9(7), 331–338.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.05.004>
- Alonso, A., Garcá, R., Garcá, S., Ruiz, J. J., Beniel, C. De, & Beniel, D. (2002). Characterization of Spanish Tomatoes using Aroma Composition and Discriminant Analysis. *Food Science and Technology*, 1, 47–55.
<https://doi.org/10.1177/1082013208102385>
- Amornputti, S., Ketsa, S., & Doorn, W. G. Van. (2014). Postharvest Biology and Technology Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage life of durian fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 97, 111–114.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.06.011>
- Anjos, R., Cosme, F., Gonçalves, A., Nunes, F. M., Vilela, A., & Pinto, T. (2020). Effect of agricultural practices , conventional vs organic , on the phytochemical composition of ‘ Kweli ’ and ‘ Tulameen ’ raspberries (*Rubus idaeus* L .). *Food Chemistry*, 126833. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126833>
- APAARI. (2012). *Jackfruit Improvement in the Asia-Pacific Region A Status Report*. Association of Agricultural Research Institutions. Retrieved from www.apaari.org
- Argenta, L., Fan, X., & Mattheis, J. (2003). Influence of 1-methylcyclopropene on Ripening , Storage Life , and Volatile Production by d ‘ Anjou cv . Pear Fruit. *Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3858–3864.
- Azcon-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (2nd ed.). Madrid: Mc GRAW-HILL.
- Azizur, M., Nahar, N., Jabbar Mian, A., & Mosihuzzaman, M. (1999). Variation of carbohydrate composition of two forms of fruit from jack tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with maturity and climatic conditions. *Food Chemistry*, 65(1), 91–97.
- Balaguera-lópez, H. E., Salamanca-, F. A., García, J. C., & Herrera-arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos

- agrícolas . Una revisión Ethylene and maturation retardants in the postharvest of perishable horticultural products . A review, 8(2), 302–313.
- Balaguera-López, H. E., Salamanca-Gutiérrez, F. A., García, J. C., & Herrera-Árevalo, A. (2015). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3222>
- Barreiro, J., Milano, A., & Sandoval, A. (1997). Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33, 359–371.
- Barry, C., & Giovannoni, J. (2007). Ethylene and Fruit Ripening. *The Plant Hormone Ethylene*, 44, 275–304.
<https://doi.org/10.1002/9781118223086.ch11>
- Binder, B. M. (2008). The ethylene receptors: Complex perception for a simple gas. *Plant Science*, 175(1–2), 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2007.12.001>
- Blankenship, M., & Dole, M. (2003). 1-Methylcyclopropene: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 1–25. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00246-6)
- Blankenship, S. (2001). Ethylene Effects and the Benefits of 1-MCP. *Perishables Handling Quarterly*, (108), 2–4. Retrieved from <http://ucanr.edu/datastoreFiles/234-94.pdf>
- Bolívar, N., Saucedo, C., & Sauri, E. (2011). RESPIRACIÓN Y PARÁMETROS RELACIONADOS DURANTE LA MADURACIÓN DEL CHICOZAPOTE. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, E*, 261–266.
- Bouzayen, M., Latché, A., Nath, P., & Pech, J. C. (2010). Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO) Mechanism of Fruit Ripening. *Developmental Biology*, 1.
- Brasil, I. M., & Siddiqui, M. W. (2017). *Postharvest Quality of Fruits and Vegetables: An Overview. Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00001-9>
- Calvo, G., & Candan, A. (2015). Estrategias para modular los efectos de 1-MCP en

- peras Packham ' s Triumph : aplicación simultánea con etileno o con CO 2 y tratamientos con calor. *RIA*, 41(8332), 102–110. <https://doi.org/10.5194/gmd-2018-47>
- Cameron, A. C., Reid, M. S., & Washington, M. (2001). 1-MCP blocks ethylene-induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient, 22, 169–177.
- Causse, M., Buret, M., Robini, K., & Verschave, P. (2003). Inheritance of Nutritional and Sensory Quality Traits in Fresh Market Tomato. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 68(7).
- Chen, Y., Etheridge, N., & Schaller, G. (2005). Ethylene signal transduction. *Annals of Botany*, 95(6), 901–915. <https://doi.org/10.1093/aob/mci100>
- Cheng, Y., Dong, Y., Yan, H., Ge, W., Shen, C., Guan, J., ... Zhang, Y. (2012). Effects of 1-MCP on chlorophyll degradation pathway-associated genes expression and chloroplast ultrastructure during the peel yellowing of Chinese pear fruits in storage. *Food Chemistry*, 135(2), 415–422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.017>
- Corrales, D. (2015). *Evaluación del estado de madurez a cosecha, empaques de atmósfera modificada (MAP) y dosis de 1-MCP (1-metilciclopropeno) (EthylBlock 0,14%) sobre la vida útil y calidad de frutas de mango (Mangifera indica) cv. Tommy Atkins para exportación*. ESCUELA DE AGRONOMÍA FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. Retrieved from <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3852/1/38999.pdf>
- Czarny, J. C., Grichko, V. P., & Glick, B. R. (2006). Genetic modulation of ethylene biosynthesis and signaling in plants. *Biotechnology Advances*, 24(4), 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.003>
- Defilippi, B. G., Kader, A. A., & Dandekar, A. M. (2005). Apple aroma : alcohol acyltransferase , a rate limiting step for ester biosynthesis , is regulated by ethylene, 168, 1199–1210. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.12.018>
- DOUE. (2018). Diario Oficial de la Unión Europea. *Legislación*. Luxemburgo.

- Eberhardt, M. V, Lee, C. Y., & Liu, R. H. (2000). Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405(6789), 903–904. <https://doi.org/10.1038/35016151>
- Fabi, J., Cordenunsi, B., Barreto, G., Mercadante, A., Lajolo, F., & Oliveira, J. (2007). Papaya Fruit Ripening : Response to Ethylene and. *J. Agric. Food Chem*, 55, 6118–6123.
- FAO. (2008). Good practice for assuring the post-harvest quality of exotic tree fruit crops produced in Jamaica : A technical Guide. *FAO Rural Infrastructure and Agro-Industries Division*, 104.
- FAO. (2018). Minor Tropical Fruits-Mainstreaming a niche market. *Food Outlook*, 67–74.
- Ferreira, M. D., Brecht, J. K., Sargent, S. A., & Aracena, J. J. (1994). Physiological responses of strawberry to film wrapping and pre-cooling methods. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 107, 265–269.
- Florez-Sarasa, I., Flexas, J., Rasmusson, A. G., Umbach, A. L., Siedow, J. N., & Ribas-Carbo, M. (2011). In vivo cytochrome and alternative pathway respiration in leaves of Arabidopsis thaliana plants with altered alternative oxidase under different light conditions. *Plant, Cell and Environment*, 34(8), 1373–1383. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02337.x>
- Gago, C. M. L., Guerreiro, A. C., Miguel, G., Panagopoulos, T., Sánchez, C., & Antunes, M. D. C. (2015). Effect of harvest date and 1-MCP (SmartFresh™) treatment on “Golden Delicious” apple cold storage physiological disorders. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.018>
- García, J. C., & Aa, M. (2015). comportamiento poscosecha de banano bocadillo (*Musa acuminata* AA , Simmonds), 1–137.
- García, J., & Mercado, J. (2018). Calidad y vida de anaquel de mango (*Mangifera indica* L .) tratado con 1-MCP y recubrimiento comestible, 19.
- Giménez, S., & Melgarejo, P. (2010). Envases plásticos en el envasado en atmósfera modificada.
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M. L., Faleiro, M. L., Miguel, M. G. C., & Antunes, M. D. C. (2015). Postharvest Biology and Technology The effect of alginate-based

- edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L . fresh fruit storage. *Postharvest Biology and Technology*, *100*, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.002>
- Gutiérrez, A., Ledesma, L., García, I., & Grajales, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, *33*.
- Guzmán, T., & Cuenca, K. (2018). Postharvest Characterization of Castilla Blackberry (*Rubus glaucus*) Treated with 1-Methylcyclopropene. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *27*(1), 66–75.
- Haq, N. (2006). *Jackfruit Artocarpus heterophyllus* Author : Reino Unido.
- Hassan, K. (2010). A GUIDE TO POSTHARVEST HANDLING OF FRUITS AND VEGETABLES. *FAO*, *1*(1), 1–42.
- Hernández, A. (2005). Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre la fisiología postcosecha de frutos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam).
- Hoang, N. T. T., Golding, J. B., & Wilkes, M. A. (2011). The effect of postharvest 1-MCP treatment and storage atmosphere on ‘ Cripps Pink ’ apple phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *127*(3), 1249–1256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.052>
- Huerta-Ocampo, J. Á., Osuna-Castro, J. A., Lino-López, G. J., Barrera-Pacheco, A., Mendoza-Hernández, G., De León-Rodríguez, A., & Barba de la Rosa, A. P. (2012). Proteomic analysis of differentially accumulated proteins during ripening and in response to 1-MCP in papaya fruit. *Journal of Proteomics*, *75*(7), 2160–2169. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.01.015>
- Jagadeesh, S. L. (2007). Food Chemistry Chemical composition of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam .) selections of Western Ghats of India, *102*, 361–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.027>
- Jagtap, U. B., Panaskar, S. N., & Bapat, V. A. (2010). Evaluation of Antioxidant Capacity and Phenol Content in Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam .) Fruit Pulp, 99–104. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0155-7>
- Jain, N., Dhawan, K., Malhotra, S., & Singh, R. (2003). Biochemistry of fruit ripening of guava (*Psidium guajava* L.): Compositional and enzymatic

- changes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58(4), 309–315.
<https://doi.org/10.1023/B:QUAL.0000040285.50062.4b>
- Jeong, J., & Huber, D. J. (2004). Suppression of Avocado (*Persea americana* Mill .) Fruit Softening and Changes in Cell Wall Matrix Polysaccharides and Enzyme Activities : Differential Responses to 1-MCP and Delayed Ethylene Application, 129(5), 752–759.
- Jeong, J., Huber, D. J., & Sargent, S. A. (2002). Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 25(3), 241–256.
[https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00184-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00184-3)
- Jiang, Y., & Fu, J. (2000). Ethylene regulation of fruit ripening: Molecular aspects. *Plant Growth Regulation*, 30(3), 193–200.
<https://doi.org/10.1023/A:1006348627110>
- Jordán, M., & Casaretto, J. (2006). Hormonas y Reguladores del Crecimiento : Etileno, Ácido Abscísico, Brasinoesteroides, Poliaminas, Ácido Salicílico y Ácido Jasmónico. *Biología Vegetal*, 2. <https://doi.org/10.1007/s00299-004-0843-6>
- June, T. M., June, M., & Mahajan, B. V. C. (2010). Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage life and quality of pear fruits, (June), 4–7.
<https://doi.org/10.1007/s13197-010-0058-5>
- Kalbasi, A. A. (2004). Effects of post-harvest pre-cooling processes and cyclical heat treatment on the physico-chemical properties of “Red Haven Peaches” and “Shahmiveh Pears” during cold storage. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 1, 1–17.
<https://doi.org/10.1080/09540091.2014.968093>
- Kan, J., Wang, H., Chang, H., & . (2011). Changes of Reactive Oxygen Species and Related Enzymes in Mitochondrial Respiration During Storage of Harvested Peach Fruits. *American Family Physician*, 83(2), 159–165.
[https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(11\)60317-9](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60317-9)
- Klee, H. J., & Giovannoni, J. J. (2011). Genetics and Control of Tomato Fruit Ripening and Quality Attributes. *Annual Review of Genetics*, 45(1), 41–59.

<https://doi.org/10.1146/annurev-genet-110410-132507>

- Krishnakumar, T., & Thirupathi, V. (2014). Effect of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Postharvest Quality and Shelf Life of Partially Ripened Bananas. *Trends in Biosciences*, 7, 3680–3686.
- Li, L., Lichter, A., Chalupowicz, D., Gamrasni, D., Goldberg, T., Nerya, O., ... Porat, R. (2016). Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.031>
- Liu, H., Cao, J., & Jiang, W. (2015). Postharvest Biology and Technology Changes in phenolics and antioxidant property of peach fruit during ripening and responses to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 108, 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.012>
- Liu, H., Jiang, W., Cao, J., & Ma, L. (2018). Scientia Horticulturae A combination of 1-methylcyclopropene treatment and intermittent warming alleviates chilling injury and affects phenolics and antioxidant activity of peach fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 229(November 2017), 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.010>
- Liu, R. H. (2004). Potential Synergy of Phytochemicals in Cancer Prevention: Mechanism of Action. *The Journal of Nutrition*, 134(12), 3479S–3485S. <https://doi.org/10.1093/jn/134.12.3479S>
- Lu, X., Meng, G., Jin, W., & Gao, H. (2018). Scientia Horticulturae Effects of 1-MCP in combination with Ca application on aroma volatiles production and softening of 'Fuji' apple fruit. *Scientia Horticulturae*, 229(September 2017), 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.033>
- Luna-Esquivel, G., Alejo-Santiago, G., Ramirez-Guerrero, L., & Arévalo-Galarza, M. (2013). La yaca un fruto de exportación. *Agro Productividad*, 6(5), 58–70.
- Macleon, D., Murr, D., Deell, J., & Horvath, C. (2006). Postharvest Variation in Apple (*Malus × domestica* Borkh.) Flavonoids following Harvest, Storage, and 1-MCP Treatment. *J. Agric. Food Chem.*, 54(3), 870–878.
- Manfugás, J. E. (2007). *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. (E. Universitaria, Ed.). Ciudad de La Habana.

- Martínez, M. E., Balois, R., Alia, I., Cortes, M. A., Palomino, A., & López, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *19*, 4075–4087.
- Martino, G. De, Mencarelli, F., & Golding, J. B. (2007). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science Preliminary investigation into the uneven ripening of banana (*Musa sp.*) peel. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *35*(0014-0671/07/3502-0193), 193–199.
<https://doi.org/10.1080/01140670709510185>
- Marty, I., Bureau, S., Sarkissian, G., Gouble, B., Audergon, J. M., Albagnac, G., ... Agroparc, S. (2005). Ethylene regulation of carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in colour-contrasted apricot varieties (*Prunus armeniaca*), *56*(417), 1877–1886. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri177>
- Mata-Montes de Oca, M., Osuna-García, J., Hernández-Estrada, A., Ochoa-Villareal, M., & Tovar-Gómez, B. (2007). EFECTO DEL 1-METILCICLOPROPENO Y CALIDAD DE FRUTOS DE JACA (*Artocarpus heterophyllus* Lam .). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *13*(2), 165–170.
- Mata-Montes de Oca, M., Osuna-García, J., Hernández-Estrada, A., Ochoa-Villareal, M., & Tovar-Gómez, B. (2007). EFECTO DEL 1-METILCICLOPROPENO Y CALIDAD DE FRUTOS DE JACA (*Artocarpus heterophyllus* Lam .). *Chapingo Serie Horticultura*, *13*(2), 165–170.
- Mattheis, J. P., & Fellman, J. K. (1999). Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, *15*, 227–232.
- Meilgaard, M., Civille, G., & Carr, T. (2007). *Sensory evaluation techniques* (4th ed.).
- Menniti, A. M., Gregori, R., & Donati, I. (2004). 1-Methylcyclopropene retards postharvest softening of plums, *31*(April 2000), 269–275.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.009>
- Milanez, J. T., Neves, L. C., Colombo, R. C., Shahab, M., & Roberto, S. R. (2018). Bioactive compounds and antioxidant activity of buriti fruits, during the postharvest, harvested at different ripening stages. *Scientia Horticulturae*, *227*(December 2016), 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.045>

- Mir, N. A., Curell, E., Khan, N., Whitaker, M., & Beaudry, R. M. (2001). Harvest Maturity , Storage Temperature , and 1-MCP Application Frequency Alter Firmness Retention and Chlorophyll Fluorescence of ‘ Redchief Delicious ’ Apples, *126*(5), 618–624.
- Montalvo González, E., Fernández León, E. A., Rea Paez, H., Mata Montes de Oca, M., & Tovar Gómez, B. (2014). USO COMBINADO DE 1-METILCICLOPROPENO Y EMULSIONES DE CERA EN LA CONSERVACIÓN DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, *36*(SPE1), 296–304. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500035>
- Montreau, F. (1972). Sur le dosage des composés phénoliques totaux dans les vins par la méthode Folin-Ciocalteu. *OENO One*, *24*(4), 397–404.
- Morton, J. F. (1965). THE JACKFRUIT (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Florida State Horticultural Society*, (53), 336–344.
- Murillo, E., Mclean, R., Britton, G., Ag, A., & Nagy, V. (2011). Sapotexanthin, an A-Provitamin Carotenoid from Red Mamey (*Pouteria sapota*). *Natural Products*, *74*, 283–285.
- Oliveira, J., Vieira, A., Zaczuk, P., Cordenunsi, B., Aparecida, J., Purgatto, E., & Maria, F. (2006). Beta-amylase expression and starch degradation during banana ripening, *40*, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.11.008>
- Olmos-Cornejo, J. E., Anaya-Esparza, L. M., Pérez-Larios, A., Domínguez-Ávila, J. A., Montalvo-González, E., & González-Aguilar, G. A. (2018). Effects of Minimal Processing Technologies on Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) Quality Parameters. *Food and Bioprocess Technology*, *11*(9), 1761–1774. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2136-z>
- Orozco, I. (2019). EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL 1-METILCICLOPROPENO DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE YACA (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TEPIC*, *1*, 70.
- Ortiz-Franco, Z., Ramírez-Villa, Z., Cervantes-Mojica, J., Muy-Rangel, M., Gómez-Lim, M., García-Galindo, H., ... Sáyago-Ayerdi, S. (2016). Efecto Del 1-Metilciclopropeno En La Maduración De Mango Ataulfo En Condición Simulada Para Exportación a Europa., *39*(3), 305–316.

- Osuna-García, J. A., Cáceres-Morales, I., Montalvo-González, E., Mata-Montes de Oca, M., & Tovar-Gómez, B. (2007). Efecto Del 1-Metilciclopropeno (1-Mcp) Y Tratamiento Hidrotérmico Sobre La Fisiología Y Calidad Del Mango 'Keitt.' *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 157–163.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2007.02.014>
- Osuna García, J. A., Pérez Barraza, M. H., Vázquez Valdivia, V., & Urías López, M. A. (2009). Alternativa comercial para extender vida de anaquel de papaya "Maradol," 15(2), 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2010.09.033>
- Osuna García, Jorge A., Pérez Barraza, M. H., Vázquez Valdivia, V., & Gómez Jaimez, R. (2011). Aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y su efecto en ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(3), 197–204.
- Osuna, J., Beltran, J., Vazquez, V., & . (2005). Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre el comportamiento postcosecha del aguacate "Hass." *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(1), 1–8.
- Owino, W. O., Nakano, R., Kubo, Y., & Inaba, A. (2002). Differential Regulation of Genes Encoding Ethylene Biosynthesis Enzymes and Ethylene Response Sensor Ortholog during Ripening and in Response to Wounding in Avocados. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(4), 520–527.
<https://doi.org/10.21273/jashs.127.4.520>
- Parrilla, C. (2002). *A través de los sentidos*.
- Payasi, A., Mishra, N. N., Lucia, A., Chaves, S., & Singh, R. (2009). Biochemistry of fruit softening : an overview, 15(2), 103–113.
- Perato, S. M., Martínez-Zamora, M. G., Salazar, S. M., & Díaz-Ricci, J. C. (2018). The elicitor AsES stimulates ethylene synthesis, induce ripening and enhance protection against disease naturally produced in avocado fruit. *Scientia Horticulturae*, 240(June), 288–292.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.030>
- Picallo, A. (2002). El análisis sensorial como herramienta de calidad carne y productos cárnicos de cerdo. *Jornadas Regionales de Actualización En El Sector Lácteo y Porcino*.

- Piretti, V., Gallerani, G., & Brodnik, U. (1996). Polyphenol polymerisation involvement in apple superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 39(5 I), 11–18.
- Prior, R. L., & Cao, G. (2000). Antioxidant Phytochemicals in Fruits and Vegetables : Diet and Health Implications, 35(617), 588–589.
- Prussia, S., & Shewfelt, R. (1993). Systems approach to postharvest handling. In *Postharvest Handling: A Systems Approach* (pp. 43–71). San Diego.
- Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J., & Vasco, J. (2013). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL MANGO COMUN (*Mangifera indica* L .) DURANTE SU PROCESO DE MADURACION PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE COMMON MANGO (*Mangifera indica* L .) DURING RIPENING PROCESS CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA, 11(1), 10–18.
- Razzaq, K., Singh, Z., & Sattar, A. (2015). Role of 1-MCP in regulating ‘ Kensington Pride ’ mango fruit softening and ripening. *Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0101-7>
- Roman, Y. (2017). *EVALUACIÓN SENSORIAL DE FRUTOS DE PAPAYA (Carica papaya Linnaeus)*. CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTADO DE JALISCO, A. C.
- SADER. (2018). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Nayarit.
- Saha, M., Islam, M., & Molla, M. (2016). Determination of Harvest Maturity of Jackfruit. *BANGLADESH HORTICULTURE*, 2(1), 23–36.
- Saxena, A., Saxena, T., Raju, P. S., & Bawa, A. S. (2011). Effect of Controlled Atmosphere Storage and Chitosan Coating on Quality of Fresh-Cut Jackfruit Bulbs. *Food and Bioprocess Technology*, 6(8), 2182–2189.
- Saxena, A, Bawa, A., & Raja, P. (2011). *Jackfruit (Artocarpus heterophyllus Lam.)*. *Civil Engineers Australia* (Vol. 76). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-735-8.50012-7>
- Saxena, Alok, Maity, T., Raju, P. S., & Bawa, A. S. (2012). Degradation Kinetics of Colour and Total Carotenoids in Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Bulb Slices During Hot Air Drying. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 672–

679. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0409-2>
- Serek, M., Woltering, E. J., Sisler, E. C., Frello, S., & Sriskandarajah, S. (2006). Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnology Advances*, 24(4), 368–381. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.007>
- Shafiq, M., Mehmood, S., Yasmeen, A., Khan, S. J., Khan, N. H., & Ali, S. (2017). Evaluation of Phytochemical , Nutritional and Antioxidant Activity of Indigenously Grown Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam). SIAP. (2017). *Boletín de exportaciones Jackfruit*. México.
- SIAP. (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.
- Siboza, X. I., Bertling, I., & Odindo, A. O. (2014). Salicylic acid and methyl jasmonate improve chilling tolerance in cold-stored lemon fruit (*Citrus limon*) Author: *Journal of Plant Physiology*. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.05.012>
- Song, J. S., Yoo, S. K., Kim, D. S., & . (2018). The effect of 1-(3-phenylpropyl)cyclopropene versus 1-MCP on the quality and storage life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 145(February), 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.05.021>
- Stepanova, A. N., & Alonso, J. M. (2009). Ethylene signaling and response: where different regulatory modules meet. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(5), 548–555. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.07.009>
- Swami, S. B., Thakor, N. J., Haldankar, P. M., & Kalse, S. B. (2012). Jackfruit and Its Many Functional Components as Related to Human Health: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(6), 565–576. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00210.x>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-zevallos, L., & Hawkins, D. (2006). ARTICLE IN PRESS Comparison of ABTS , DPPH , FRAP , and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 19, 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Tovar, B., García, H., & Mata, M. (2001). Physiology of pre-cut mango . I . ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Research International*, 34(8), 207–215.

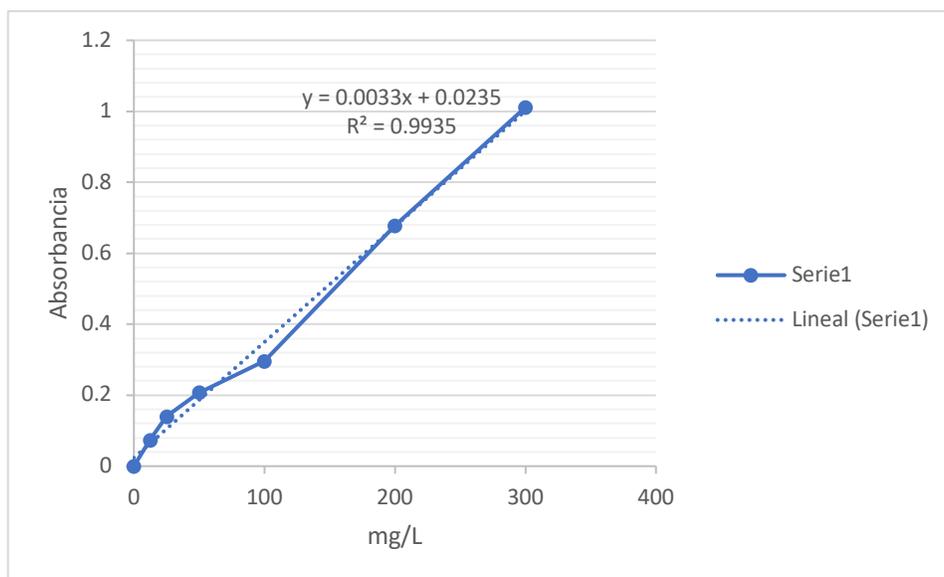
- Vargas-Torres, A, Becerra-Loza, A., Sayago-Ayerdi, S., García, M., & Montalvo, E. (2017). Scientia Horticulturae Combined effect of the application of 1-MCP and different edible coatings on the fruit quality of jackfruit bulbs (Artocarpus heterophyllus Lam) during cold storage, 214, 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.045>
- Vargas-Torres, Apolonio, Becerra-Loza, A. S., Sayago-Ayerdi, S. G., Palma-Rodríguez, H. M., García-Magaña, M. de L., & Montalvo-González, E. (2017). Combined effect of the application of 1-MCP and different edible coatings on the fruit quality of jackfruit bulbs (Artocarpus heterophyllus Lam) during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 214, 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.045>
- Ververidis, P., & John, P. (1991). Complete recovery in vitro of ethylene-forming enzyme activity. *Phytochemistry*, 30(3), 725–727. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)85241-Q](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)85241-Q)
- Villalobos, M. C. (2017). Jaca (Artocarpus Heterophyllus Lam.) Centenario de Nayarit. In *Enciclopedia Centenario de Nayarit* (Vol. 91, pp. 399–404).
- Villamizar, F., Ramírez, A., & Meneses, M. (1993). Estudio de la caracterización física, morfológica y fisiológica poscosecha de la uchuva (Physalis peruviana L.). *AgroDesarrollo*, 4(1-2), 305–320.
- Vinha, A. F., Barreira, S. V. P., Castro, A., Costa, A., & Oliveira, M. B. P. P. (2013). Influence of the Storage Conditions on the Physicochemical Properties , Antioxidant Activity and Microbial Flora of Different Tomato (Lycopersicon esculentum L .) Cultivars, 5(2), 118–128. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n2p118>
- Wang, J., Pan, H., Wang, R., Hong, K., & Cao, J. (2016). Patterns of flesh reddening, translucency, ethylene production and storability of ‘Friar’ plum fruit harvested at three maturity stages as affected by the storage temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 121, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.07.009>
- Watkins, C. B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*, 24(4), 389–409. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.005>

- Xanthopoulos, G. T., Templalexis, C. G., Aleiferis, N. P., & Lentzou, D. I. (2017). The contribution of transpiration and respiration in water loss of perishable agricultural products: The case of pears. *Biosystems Engineering*, 158, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.03.011>
- Yang, S. F., & Hoffman, N. E. (1984). ETHYLENE BIOSYNTHESIS AND ITS REGULATION IN HIGHER PLANTS. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 35(132), 155–189.
- Yang, X., Song, J., Campbell-Palmer, L., Fillmore, S., & Zhang, Z. (2013). Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 78, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.11.012>
- Yoo, S. D., Cho, Y., & Sheen, J. (2009). Emerging connections in the ethylene signaling network. *Trends in Plant Science*, 14(5), 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.02.007>
- Zapata, N. (1996). *NUEVAS TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS: ATMÓSFERAS MODIFICADAS* (Mundi-Pren).
- Zheng, H., Kim, Y., & Chung, S. (2012). A profile of physicochemical and antioxidant changes during fruit growth for the utilisation of unripe apples. *Food Chemistry*, 131(1), 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.038>

ANEXOS

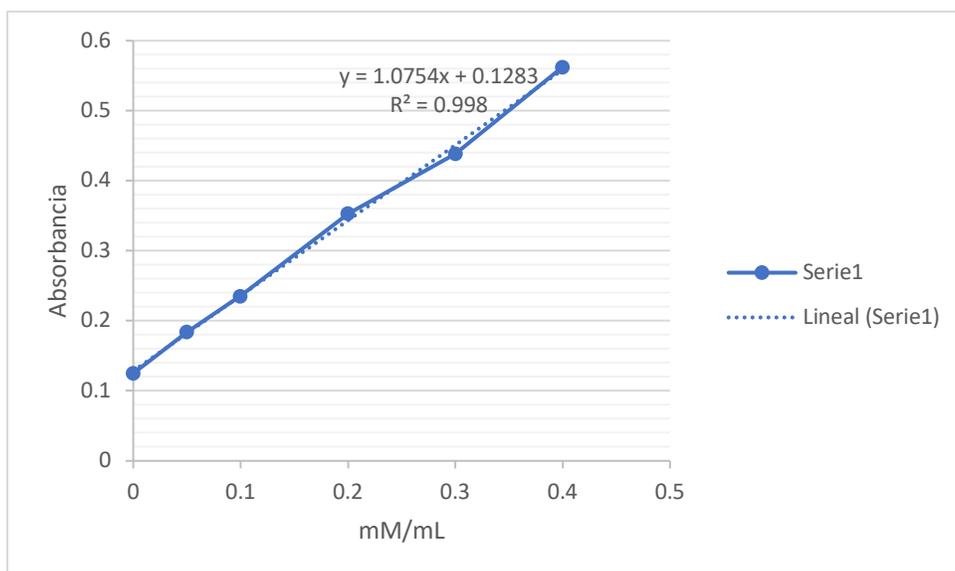
I. Curva de calibración con ácido gálico para realizar la cuantificación de fenoles solubles totales.

ug/ml o mg/L	Absorbancia
0	0
12.5	0.074
25	0.14
50	0.207
100	0.296
200	0.678
300	1.011



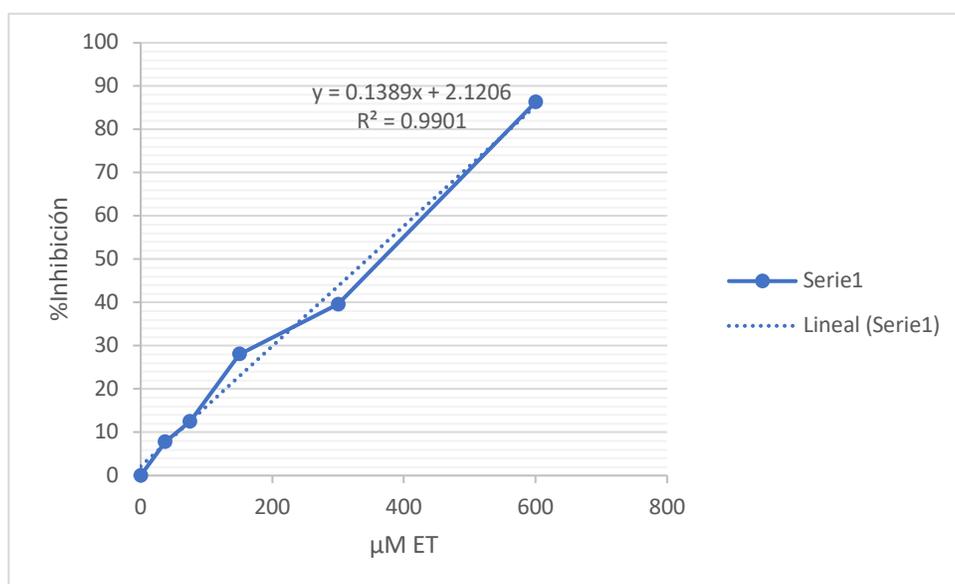
II. Curva de calibración con trolox para realizar la determinación de capacidad antioxidante por el método de FRAP.

mM/mL	Absorbancia
0.4	0.5625
0.3	0.43875
0.2	0.35325
0.1	0.2355
0.05	0.184
0	0.125



III. Curva de calibración con trolox para realizar la determinación de capacidad antioxidante por el método de DPPH.

[μM ET]	%Inhibición
600	86.2973
300	39.5454
150	28.02531
75	12.51453
37.5	7.826424
0	0



IV. Formato del cuestionario que se aplicó a los jueces para llevar a cabo la evaluación sensorial de los bulbos de yaca.

Nombre: _____

Fecha: _____ Género: _____ Edad: _____

Frente a usted se encuentran tres bulbos de yaca, marque con una (X) sobre cualquier parte de la línea de acuerdo a su nivel de aceptabilidad.

Muestra: IHJN9

	Me desagrada	Me es indiferente	Me agrada
COLOR	-----	-----	-----
OLOR	-----	-----	-----
SABOR	-----	-----	-----
TEXTURA	-----	-----	-----

Muestra: OPLK4

	Me desagrada	Me es indiferente	Me agrada
COLOR	-----	-----	-----
OLOR	-----	-----	-----
SABOR	-----	-----	-----
TEXTURA	-----	-----	-----

Muestra: SDTY6

	Me desagrada	Me es indiferente	Me agrada
COLOR	-----	-----	-----
OLOR	-----	-----	-----
SABOR	-----	-----	-----
TEXTURA	-----	-----	-----

Comentarios: _____

V. Anova realizada para la variable de respuesta velocidad de respiración en los frutos tratados con 1-MCP a 300,600 y 1000 nL / L almacenados a 8 °C.

Table Analyzed	VR 8 °C				
Two-way ANOVA Alpha	Ordinary 0.05				
Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?	
Interaction	59.09	<0.0001	****	Yes	F (DFn, DFd) P value
Row Factor	25.47	<0.0001	****	Yes	F (68, 180) = 24.94 P<0.0001
Column Factor	9.174	<0.0001	****	Yes	F (17, 180) = 43.00 P<0.0001
ANOVA table	SS	DF	MS		F (4, 180) = 65.83 P<0.0001
Interaction	310228	68	4562		
Row Factor	133711	17	7865		
Column Factor	48164	4	12041		
Residual	32922	180	182.9		
Data summary					
Number of columns (Column Factor)	5				
Number of rows (Row Factor)	18				
Number of values	270				

VI. Anova realizada para la variable de respuesta velocidad de respiración en los frutos tratados con 1-MCP a 300,600 y 1000 nL / L almacenados a 13 °C.

Table Analyzed	VR 13 °C
Two-way ANOVA Alpha	Ordinary 0.05
Source of Variation	% of total variation
Interaction	58.28
Row Factor	18.55
Column Factor	12.77
ANOVA table	SS
Interaction	618587
Row Factor	196853
Column Factor	135584
Residual	110337
Data summary	
Number of columns (Column Factor)	5
Number of rows (Row Factor)	21
Number of values	315

	P value	P value summary	Significant?	
Interaction	<0.0001	****	Yes	F (DFn, DFd) P value F (80, 210) = 14.72 P<0.0001
Row Factor	<0.0001	****	Yes	F (20, 210) = 18.73 P<0.0001
Column Factor	<0.0001	****	Yes	F (4, 210) = 64.51 P<0.0001

VII. Anova realizada para la variable de respuesta velocidad de producción de etileno en los frutos tratados con 1-MCP a 300,600 y 1000 nL / L almacenados a 8 °C.

Table Analyzed VPE 8 °C

Two-way ANOVA
Alpha Ordinary
0.05

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	64.20	<0.0001	****	Yes
Row Factor	19.34	<0.0001	****	Yes
Column Factor	1.475	0.0019	**	Yes

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Interaction	39112	68	575.2	F (68, 180) = 11.34	P<0.0001
Row Factor	11783	17	693.1	F (17, 180) = 13.66	P<0.0001
Column Factor	898.4	4	224.6	F (4, 180) = 4.428	P=0.0019
Residual	9131	180	50.73		

Data summary
Number of columns (Column Factor) 5
Number of rows (Row Factor) 18
Number of values 270

VIII. Anova realizada para la variable de respuesta velocidad de producción de etileno en los frutos tratados con 1-MCP a 300,600 y 1000 nL / L almacenados a 13 °C.

Table Analyzed VPE 13 °C

Two-way ANOVA
Alpha Ordinary
0.05

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?
Interaction	64.71	<0.0001	****	Yes
Row Factor	9.480	<0.0001	****	Yes
Column Factor	2.209	0.0008	***	Yes

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DF _n , DF _d)	P value
Interaction	49938	80	624.2	F (80, 210) = 7.198	P<0.0001
Row Factor	7316	20	365.8	F (20, 210) = 4.218	P<0.0001
Column Factor	1705	4	426.1	F (4, 210) = 4.914	P=0.0008
Residual	18212	210	86.73		

Data summary
Number of columns (Column Factor) 5
Number of rows (Row Factor) 21
Number of values 315