



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TEPIC**



**ESTUDIO DEL EFECTO DE DOS ABSORBEDORES DE ETILENO  
SOBRE LA MADURACIÓN DE YACA (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)  
DURANTE SU ALMACENAMIENTO**

POR

**I. B. Q. MARIA DE JESUS TOLEDO PALOMERA**

Estudiante de Maestría en Ciencias en Alimentos

TESIS PROPUESTA A LA

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIA EN ALIMENTOS**

DIRECTORA DE TESIS

**DRA. MARÍA DE LOURDES GARCÍA MAGAÑA**

**CO-DIRECTOR**

**DRA. EFIGENIA MONTALVO GONZÁLEZ**

Tepic, Nayarit

Enero, 2020



Instituto Tecnológico de Tepic


"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

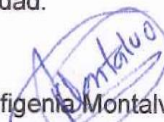
Tepic, Nayarit, **21/ENERO/2020**


**CONSEJO DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**  
No. Oficio CMCA: 14-2020


**M.C. Luz del Carmen Romero Islas**  
**JEFE DE LA DIV. DE EST. DE POSG. E INV.**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TEPIC**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto comunico a usted que el Consejo de la Maestría en Ciencias en Alimentos ha designado como revisores de la tesis de la alumna **I. B. Q. María de Jesús Toledo Palomera** con número de control **G11400959**, cuyo título es **"Estudio del efecto de los absorbentes de etileno sobre la maduración de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) durante su almacenamiento"** a los miembros que a continuación se enlistan, mismos que han evaluado y aprobado el contenido del manuscrito para obtener el grado de Maestro(a) en Ciencias en Alimentos y que firman de conformidad.

  
Dra. María de Lourdes García Magaña  
(Presidente)

  
Dra. Efigenia Montalvo González  
(Secretario)

  
Dra. Yolanda Nolasco González  
(Vocal)

  
Dr. Jorge Alberto Sánchez Burgos  
(Vocal suplente)

Por lo anterior, le solicito se sirva elaborar los oficios correspondientes para **AUTORIZAR LA IMPRESIÓN DE TESIS**. Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**Excelencia en Educación Tecnológica®**



**Dr. Ulises Miguel López García**  
**Presidente del Consejo de Maestría en Ciencias en Alimentos**

c.c.p. Expediente





**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

*Instituto Tecnológico de Tepic*

*"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"*

**Tepic, Nay., a 27 de enero de 2020**  
**025-108-2020**

**C. MARÍA DE JESÚS TOLEDO PALOMERA**  
**PRESENTE**

De acuerdo con el reglamento de los Institutos Tecnológicos, dependientes de la Dirección General de Educación Superior Tecnológica de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la comisión revisora le hizo a su trabajo de Tesis de Maestría en Ciencias en Alimentos denominado **"Estudio del efecto de los absorbedores de etileno sobre la maduración de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) durante su almacenamiento"**, la División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza para que proceda a la Impresión del mismo.

***Sin más por el momento, quedo de usted.***

**ATENTAMENTE**  
**Excelencia en Educación Tecnológica®**  
**Sabiduría Tecnológica, Pasión de nuestro espíritu®**

**LUZ DEL CARMEN ROMERO ISLAS**  
**JEFA DIVISION DE EST. DE POSG. E INVEST.**



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE TEPIC  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c.p.- Archivo  
\*agvl

## **AGRADECIMIENTOS**

A CONACYT por el apoyo financiero otorgado para la realización de este proyecto.

A mi directora DRA. María de Lourdes García Magaña por todo el apoyo brindado para poder culminar este proyecto, por su entrega, dedicación y optimismo, ¡¡¡muchas gracias!!!

A todo mi comité tutorial por sus valiosas aportaciones para el buen desarrollo de este proyecto.

A mi ADAN por su apoyo, paciencia, compañía, asesorías y comprensión en los momentos mas cruciales en mi paso por este posgrado.

A mis compañeros del laboratorio por brindarme su apoyo cuando lo necesité.

## **DEDICATORIAS**

A DIOS por darme la fuerza, paciencia y salud durante este proceso que se culmina con la elaboración de esta tesis.

A mi CARMEN por todos sus consejos, su ayuda y por escucharme, le dedico esta tesis.

A mi ADAN por todo el tiempo que estuvo conmigo en los momentos más difíciles en esta etapa de mi vida.

A mi FAMILIA por animarme para salir adelante y por creer en mí

## INDICE DE CONTENIDO

<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
2.1. La yaca ( <i>Artocarpus heterophyllus Lam.</i> ).....	3
2.1.1. Composición química y valor nutrimental .....	4
2.1.2. Producción internacional, nacional y estatal de yaca ( <i>Artocarpus heterophyllus Lam.</i> ) .....	8
2.1.3. Características y perspectivas del mercado .....	10
2.1.4. Manejo poscosecha y transporte .....	12
2.2. Frutos climatéricos y no climatéricos.....	13
2.2.1. Frutos climatéricos .....	14
2.2.2. Frutos no climatéricos.....	15
2.3. Maduración en los frutos.....	15
2.3.1. Cambios durante la maduración de los frutos.....	16
2.3.2. Factores que influyen en la maduración y senescencia de los frutos .....	17
2.2.3.2. Temperatura y Humedad Relativa.....	18
2.2.3.3. Etileno .....	19
2.2.3.4. Síntesis de etileno y su efecto en los frutos .....	21
2.2.2.4.3. Regulación de la biosíntesis de etileno y su mecanismo de acción....	23

2.3. Conservación en poscosecha y transporte .....	24
2.3.1. Temperaturas de refrigeración .....	25
2.3.2. Utilización de ceras .....	26
2.3.3. Absorbedores de etileno .....	28
2.4. Funcionamiento de los absorbedores de etileno .....	28
2.4.1. Tipos de absorbedores de etileno .....	29
2.4.2. Aplicación de absorbedores de etileno .....	30
2.4.3. Factores que influyen en los absorbedores .....	30
<b>CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>32</b>
<b>CAPÍTULO 4. OBJETIVOS.....</b>	<b>33</b>
4.1. Objetivo general.....	33
4.1.1. Objetivos específicos.....	33
<b>CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
5.1. Estudio fisiológico Velocidad de respiración (VR) y velocidad de producción de etileno (VPE).....	37
5.2. Evaluación de sólidos solubles totales .....	38
5.3. Evaluación de acidez titulable .....	38
5.5. Evaluación de firmeza.....	38
5.6 Determinación de color .....	38
5.7 Pérdida fisiológica de peso.....	39
5.8. Análisis estadístico.....	39
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>

ETAPA I: ESTUDIOS FISIOLÓGICOS DE VR, VPE Y %PFP.....	40
6.1 Estudio fisiológico Velocidad de respiración (VR).....	40
6.2 Estudio fisiológico de Velocidad de producción de etileno (VPE).....	43
6.3. Pérdida fisiológica de peso (%PFP).....	45
ETAPA II: ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS .....	48
6.4. Evaluación de firmeza en el fruto entero .....	48
6.5. Evaluación de firmeza en los bulbos .....	50
6.6. Parámetros fisicoquímicos de los bulbos de yaca.....	53
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO 8. REFERENCIAS .....</b>	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO 9. ANEXOS.....</b>	<b>71</b>
Anexo A. Color de cáscara (h) temperatura 8±°C.....	71
Color de los bulbos (h) temperatura 8±°C .....	72
Color de los cáscara (h) temperatura 13±°C .....	73
Color de los bulbos (h) temperatura 13±°C .....	74
Color de las cáscaras (h) temperatura 18±°C.....	75
Color de los bulbos (h) temperatura 18±°C .....	76



## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Frutos de yaca.....	4
Figura 2.2. Partes del fruto de yaca. ....	5
Figura 2.3. Producción agrícola municipal de yaca. ....	10
Figura 2.4. Maduración climatérica y no climatérica.....	14
Figura 2.5. Biosíntesis de Etileno y ciclo de Yang. ....	22
Figura 2.6. Efecto de la temperatura en frutas y hortalizas de acuerdo a su sensibilidad al daño por frio.....	26
Figura 5.1.Desarrollo de la metodología .....	36
Figura 6.1. Velocidad de respiración en los frutos de yaca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas de refrigeración.....	41
Figura 6.2. Velocidad de producción de etileno en los frutos de yaca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas de refrigeración.....	45
Figura 6.3. Pérdida fisiológica de peso en los frutos de yaca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas de refrigeración.....	47
Figura 6.4. Pérdida de firmeza en los frutos enteros de yaca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas de refrigeración.....	50
Figura 6.5. Pérdida de firmeza en los bulbos de yaca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas de refrigeración .....	51
Figura 6.6. Cambio de color de en las cáscara de los frutos enteros de yaca durante su almacenamiento.....	60
Figura 6.7. Cambio de color de en bulbos de los frutos de yaca durante su almacenamiento.....	61

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Composición química de la yaca.....	6
Cuadro 2.2. Líderes mundiales en la producción de yaca.....	8
Cuadro 2.3. Producción agrícola nacional de yaca.....	9
Cuadro 2.4. Volumen y valor anual aproximado de yaca exportado de México...	11
Cuadro 2.5. Clasificación de frutas tropicales según su producción de etileno....	20
Cuadro 2.6 Condiciones y tiempo de almacenamiento de los frutos de yaca.....	27
Cuadro 6.1 Parámetros fisicoquímicos en los bulbos de yaca almacenados a $8\pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ .....	52
Cuadro 6.2 Parámetros fisicoquímicos en los bulbos de yaca almacenados a $13\pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ .....	55
Cuadro 6.3 Parámetros fisicoquímicos en los bulbos de yaca almacenados a $18\pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ .....	57

## RESUMEN

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) es uno de los cultivos de mayor importancia en el estado de Nayarit, ya que es un cultivo destinado a la exportación. Sin embargo, después de ser cosechada esta fruta, presenta un rápido proceso de maduración debido a su altas tasa respiratoria y elevada producción de etileno, a cortando el tiempo de comercialización de los frutos. La temperatura es un factor importante durante el transporte de los frutos debido a que pueden presentar daños por frio, lo que hace que el manejo postcosecha y el transporte del fruto sea fundamental para retardar el proceso de maduración. Esta investigación evaluo el efecto de absorbedores de etileno y temperaturas de almacenamiento en la fisiología y parámetros fisicoquímicos en los frutos de yaca.

Se realizaron pruebas fisiológicas en los frutos como pérdida fisiológica de peso (PFP), velocidad de respiración (VR) y producción de etileno (VPE), utilizando cromatografía de gases. En paralelo, se realizarán análisis fisicoquímicos como la determinación solidos solubles totales (SST) Acidez titulable (AT), pH, color y firmeza, para evaluar los principales parámetros de calidad en la fruta.

Los resultados obtenidos mostraron que el control absoluto almacenado a 25°C, presentó el punto máximo de VR, a los 3 días de almacenamiento, mientras que el control a 8±2°C presentó un retardo en la aparición de la máxima VR, alcanzando el punto máximo a los 9 días de almacén, y los tratamientos con absorbedores la presentaron en el día 7. Los frutos a 13±2°C también presentaron un retardo en la aparición de la máxima VR, ya que el control alcanzo el punto máximo a los 7 días de almacén, y los tratamientos con absorbedores en el día 9, esto debido a la influencia de los absorbedores de etileno. Por último el control y los tratamientos con absorbedores a 18±2°C presentaron la máxima VR en el día 6 de almacén. El control absoluto presento la máxima producción de etileno a los 3 días de almacén, coincidiendo con el día en que se presentó la máxima VR, esta coincidencia se presentó también en el control y los absorbedores almacenados a 13±2°C, y en el control y el tratamiento con absorbedor I a 18±2°C, mientras que el control y los tratamientos con

absorbedores I y II, a  $8\pm 2^{\circ}\text{C}$  no mostraron estas coincidencias, presentando la máxima producción de etileno a los 11, 10 y 8 días de almacén respectivamente. La PFP presentó diferencias en el control absoluto, los controles y los tratamientos con absorbedores presentaron un PFP del 12% aproximadamente en el día 11 de almacenamiento. Los resultados obtenidos para la pérdida de firmeza en la cáscara y en los bulbos no mostraron diferencias significativas entre los controles y los tratamientos con absorbedores, sin embargo en ambos parámetros el tratamiento con absorbedor II presentó una tendencia constante de mantener la firmeza. El color en la cáscara y en los bulbos mostró una tendencia positiva con el absorbedor II. Los parámetros AT, pH y SST mostraron diferencias entre las temperaturas.

La VR y VPE disminuyeron con las temperaturas de refrigeración  $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $13\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $18\pm 2^{\circ}\text{C}$  consiguiendo prolongar la vida útil de los frutos, 14 días (5 DR + 9 AMB), 13 días (5 DR + 8 AMB) y 11 días (5 DR + 6 AMB) respectivamente, mostrando que el absorbedor II, presentó un efecto al mantener las características de calidad de los frutos. Las temperaturas de refrigeración y los tratamientos con absorbedores no mostraron alteraciones en los parámetros fisicoquímicos permitiendo el desarrollo de los frutos.

## **ABSTRACT**

Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) Is one of the most important crops in the state of Nayarit, as it is a crop destined for export. However, after being harvested this fruit, it presents a rapid ripening process due to its high respiratory rate and high ethylene production, cutting the loading time of the fruits. The temperature is an important factor during the transport of the fruits because they can present damages by cold, what does that the postharvest handling and the transport of the fruit is fundamental to delay the process of

maturation. This research evaluates the effect of ethylene absorbers and storage temperatures on physiology and physicochemical parameters in jackfruit fruits.

Physiological tests were performed on fruits such as physiological weight loss (PFP), respiration rate (VR) and ethylene production (VPE), using gas chromatography. In parallel, perform physicochemical analyzes such as the determination of total soluble solids (SST) Titratable acidity (AT), pH, color and firmness, to evaluate the main quality parameters in the fruit.

The results indicated that the absolute control stored at 25° C, presented the maximum point of VR, the 3 days of storage, while the control at  $8 \pm 2^\circ$  C showed a delay in the appearance of the maximum VR, reaching the point maximum at 9 days of storage, and the treatments with absorbers the observation on day 7. The fruits at  $13 \pm 2^\circ$  C also specify a delay in the appearance of the maximum VR, since the control reached the maximum point at 7 days of storage, and treatments with absorbers on day 9, due to the influence of ethylene absorbers. Finally the control and treatments with absorbers at  $18 \pm 2^\circ$  C observations the maximum VR on day 6 of storage. The absolute control showed the maximum production of ethylene at 3 days of storage, coinciding with the day when the maximum VR was presented, this coincidence was also presented in the control and the absorbers stored at  $13 \pm 2^\circ$  C, and in the control and treatment with absorbent I at  $18 \pm 2^\circ$  C, while control and treatments with absorbers I and II, at  $8 \pm 2^\circ$  C without problems these coincidences, presenting the maximum production of ethylene at 11, 10 and 8 days warehouse respectively. The PFP presents the differences in absolute control, controls and treatments with absorbers that are considered a PFP of approximately 12% on day 11 of storage. The results obtained for the loss of firmness in the shell and in the bulbs without differences of differences between the controls and the treatments with absorbers, nevertheless in both parameters, the treatment with the absorbent II present a constant tendency to maintain the firmness. The color in the shell and in the bulbs showed a positive trend with the absorber II. The parameters AT, pH and SST vary the differences between temperatures.

The VR and VPE decreased with cooling temperatures  $8 \pm 2$  ° C,  $13 \pm 2$  ° C  $18 \pm 2$  ° C, prolonging the fruit's shelf life, 14 days (5 DR + 9 AMB), 13 days (5 DR + 8 AMB) and 11 days (5 DR + 6 AMB) respectively, showing that the absorber II, presenting an effect by maintaining the quality characteristics of the fruits. The cooling temperatures and the treatments with absorbers without altered alterations in the physicochemical parameters affected the development of the fruits.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) es un fruto tropical perteneciente a la familia Moraceae, originario del sureste de la India. Los frutos de yaca fueron introducidos en México en la década de 1960. En el año 2018 se tuvo una producción de 22,192.83 toneladas con una exportación alrededor de 16,798 toneladas, principalmente a Estados Unidos, según reporta el (SIAP, 2017). En Nayarit este fruto, es uno de los cultivos de mayor importancia, con una producción estimada de 20,360.33 toneladas y su éxito productivo se ha incrementado sustancialmente. Los frutos de yaca son altamente apreciados por su valor nutrimental, y generalmente se consumen como fruta fresca (Villalobos, 2017). Sin embargo, después de ser cosechada presenta un rápido proceso de maduración limitando su exportación. La temperatura es un factor importante durante el transporte de los frutos debido a su sensibilidad, ya que puede presentar daños por frío, lo que hace que el manejo poscosecha y el transporte del fruto sea fundamental para retardar el proceso de maduración; actualmente, el procedimiento poscosecha aplicado es mínimo, lo que ocasiona que tenga una vida de almacenamiento corta que va de 3 a 4 días a una temperatura de 25°C (López y Cansino, 2015). De todo esto surge como una alternativa para extender la vida de anaquel de los frutos de yaca la aplicación de retardadores de la maduración como los oxidantes de etileno, también llamados absorbedores de etileno, siendo el permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>) el compuesto más importante por su alta fuerza oxidante y alta eficiencia en captar etileno producido biológicamente por los frutos ayudando a retardar los efectos de la maduración en frutos de papaya, plátano y chirimoya, con efectos mínimos en la calidad sensorial del fruto (Solano, 2014). No obstante, los estudios de este tipo en yaca son

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

limitados, por lo que se propone evaluar el efecto de absorbedores de etileno y temperaturas de almacenamiento (8, 13 y 18  $\pm$ 2 °C) en la fisiología y en los principales parámetros fisicoquímicos de la fruta.



## CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

### 2.1. La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam. ) es un frutal tropical originario del sureste de la India, aunque se encuentra distribuido también en Australia, Isla Mauricio, Kenia, Uganda, Brasil, Jamaica, Las Bahamas, Hawái, Florida y México (Crane y Balerdi, 2000; Muratalla-Lúa *et al.*, 2013). Esta especie pertenece a la familia Moraceae, cuyos frutos varían en peso, de 1.6 a 25 kg (Muratalla-Lúa *et al.*, 2013; Pushpakumara, 2006), aunque también se han reportado frutos que alcanzan un peso de hasta 50 kg, un árbol puede producir entre 2 y 200 frutas (Fig. 2.1). La pulpa del fruto es blanda y arenosa de color amarillo/naranja dependiendo de la variedad, con una fusión de aroma y sabor a plátano, piña y mango (Villalobos, 2017). El consumo del fruto se realiza principalmente en fresco, enlatado y como conserva en almíbar (Velázquez, 2017).

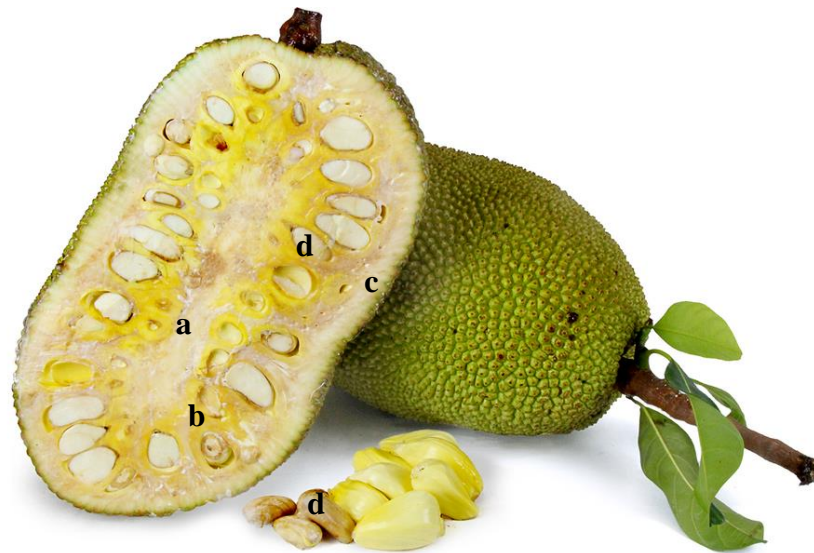
Estos frutos fueron introducidos en Nayarit en 1994, cuya producción se destina principalmente a Estados Unidos (EUA). La variedad que predomina es la “*Agüitada*” debido a su resistencia a fuertes vientos y su propagación asexual (enraizado de estacas). El árbol de este genotipo presenta hojas pequeñas y enrolladas en los bordes, con pocas hojas en comparación con otras variedades; es de porte bajo y muestra tolerancia a plagas y enfermedades. Su fruto es uniforme, con un periodo de crecimiento de 2.5 meses, y en invierno de 4 meses, con peso entre 8 y 9 kg, pulpa naranja, de sabor, texturas agradables, y cáscara delgada, que son características deseables para el mercado de exportación. Los frutos de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) son altamente apreciados por su valor nutricional, (Muratalla-Lúa *et al.*, 2013; Villalobos, 2017).



**Figura 2.1** Frutos de yaca (Álvarez, 2018).

### **2.1.1. Composición química y valor nutrimental**

El fruto se divide principalmente en tres partes, el eje de la fruta, el perianto persistente y el verdadero fruto (Fig. 2.2). El perianto se compone de tres regiones comestibles; el bulbo, la región fusionada media y el superior libre. Existen frutos pequeños cuyo peso oscila entre 2 y 3 Kg, de los cuales la proporción es 59% de pulpa, 37% de cáscara y 4% de semilla. La yaca en estado de madurez de consumo, es de color amarillo/naranja y aromatizado, cada fruto es cilíndrico de forma ovoide y tienen una longitud de 30-40 cm (Piña-Dumoulin *et al.*, 2010).



**Figura 2.2.** Partes del fruto de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) **a:** eje o centro del fruto, **b:** perianto, parte comestible y región media fusionada (formando el anillo del sincarpo), **c:** región no comestible de color verde y amarillo al madurar; y **d:** fruto verdadero (semillas) rodeado por el perianto fresco (SIAP, 2017).

La pulpa es la parte de la fruta más comercializada y usada tanto en estado de madurez fisiológica como de madurez comestible, la semilla es también consumida y tiene alto valor nutricional. Estas partes contienen altos niveles de carbohidratos, son ricas en vitaminas, minerales y proteínas, como se muestra en el Cuadro 2.1 (APAARI, 2012).

**Cuadro 2.2.** Composición química de la yaca (100 g de porción comestible), base húmeda

Componente	Fruta tierna	Fruta madura	Semilla
Agua	76.20-85.20g	72.00-94.00g	51.00-64.50g
Proteínas	2.00- 2.60 g	1.20-1.90 g	6.60-7.04g
Grasa	0.10-0.60 g	0.10-0.40 g	0.40-0.43 g
Carbohidratos	9.40-11.50 g	16.00-25.40 g	25.80-38.40 g
Fibra	2.60-3.60 g	1.00-1.50 g	1.00-1.50 g
Azúcares totales	ND	20.60	ND
Minerales totales	0.90 g	0.80-0.90 g	0.90-1.20 g
Calcio	30.00-73.20 mg	20.00-37.00 mg	50.00 mg
Magnesio	37.00 mg	27.00 mg	54.00 mg
Manganeso	ND	0.20 mg	ND
Fósforo	20.00-57.00 mg	38.00-41.00 mg	38.00-97.00 mg
Potasio	287.00-323.00 mg	191.00-407.00 mg	246.00 mg
Selenio	ND	0.60 mg	ND
Sodio	3.00-35.00 mg	2.00-41.00 mg	63.20 mg
Hierro	0.40-1.90 mg	0.50-1.10 mg	1.50 mg
Luteína-zeaxantina	ND	157.00 mg	ND
Cripto-xantina-β	ND	5.00 mg	ND
Caroteno-β	ND	61.00 mg	ND
Vitamina A	30 IU	175.00-540.00 IU	10.00-17.00
Tiamina	0.05-0.15 mg	0.03-0.09 mg	0.25 mg
Riboflavina	0.05-0.20 mg	0.05-0.40 mg	0.11-0.30
Vitamina C	12.00-14.00 mg	7.00-10.00 mg	11.00 mg
Vitamina E	ND	0.34 mg	ND
Piridoxina	ND	0.33 mg	ND

## CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

Niacina	ND	0.92 mg	ND
Ácido fólico	ND	24.00 µg	ND
Calorías	50.00-210.00 Kj	88.00-410.00 Kj	133.00-139.00 Kj

ND: No datos, Kj: Kilo Joules.

**Fuente:**(APAARI, 2012; Azad, 2000; Gunasena, Ariyadasa, K.P. Wikramasinghe, Herath, y Wikramasinghe, P. Rajasearuna, 1996; Monique, Simmonds, y Preedy, 2015; Soepadmo, 1992).

La pulpa es rica en vitaminas A (retinol), B1 (tiamina) la cual facilita a las células la conversión de carbohidratos a energía para el cuerpo, B2 (riboflavina) necesaria para la formación de anticuerpos, y minerales como el calcio, potasio, hierro, sodio, esenciales para mantener en equilibrio el organismo (Monique *et al.*, 2015). Además de la fructosa, glucosa y sacarosa también contiene ácidos grasos como son caprico, mirístico, láurico, palmítico, oleico, esteárico, linoleico y ácido araquidónico en las diferentes partes de la yaca (López y Cansino, 2015). Los flavonoides de la yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) son eficaces en la inhibición de la liberación de mediadores inflamatorios a partir de mastocitos, neutrófilos y macrófagos (López y Cansino, 2015). El consumidor valora aquellos alimentos que no sólo le proporcionen nutrientes indispensables para la vida (hidratos de carbono, aminoácidos, vitaminas, etc.), sino aquellos que poseen sustancias con un posible efecto protector como compuestos fitoquímicos o bioactivos como antioxidantes, vitaminas, flavonoides, glucosinolatos, compuestos órgano sulfurados, lactonas sesquiterpénicas, etc. (López y Cansino, 2015); la yaca es un frutos con propiedades funcionales a pesar de que es de origen indonesio, en México tiene una gran presencia debido a que presenta condiciones climatológicas ideales para cultivar este fruto (Crane y Balerdi, 2000; Villalobos, 2017).

### 2.1.2. Producción internacional, nacional y estatal de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*)

La yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) es un fruto cultivado ampliamente al sur de Asia, pero principalmente en Malasia e Indonesia (Crane y Balerdi, 2000). Así como también en Australia, Mauricio, Kenia y Uganda en África como se muestra en el cuadro 2.2. En América no es un cultivo extendido, pero es importante en Brasil, Hawái y en algunas islas caribeñas como Jamaica y Las Bahamas. México se encuentra entre los países productores de esta fruta, porque cuenta con los climas adecuados para su explotación, siendo Nayarit el estado de la república con las mejores condiciones para el cultivo (Crane y Balerdi, 2000). La distribución espacial del fruto, en nuestro país, se encuentra principalmente en las regiones con climas cálidos subhúmedos, como Colima Jalisco, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Veracruz y principalmente Nayarit, como se muestra en el Cuadro 2.3 (SIAP, 2018).

**Cuadro 2.2.** Líderes Mundiales en la Producción de Yaca.

País	Producción en 1000 toneladas
India	1436
Bangladesh	926
Tailandia	392
Indonesia	340
Nepal	18.97

**Fuente:** (Benjamin, 2017).

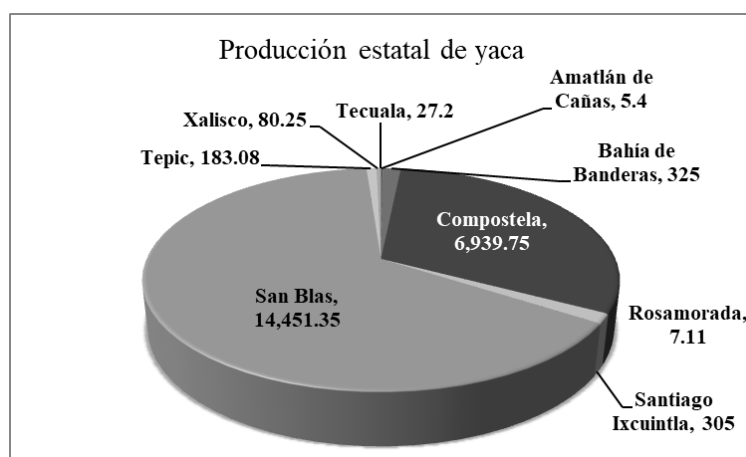
**Cuadro 2.3.** Producción agrícola nacional de yaca.

Ubicación	Sup. Sembrada (HA*)	Sup. Cosechada (HA)	Producción (T)	Rendimiento (T/HA)	PMR (\$/T)	Valor producción (miles de pesos)
Colima	7.00	7.00	63.29	9.04	8,448.9	534.74
Hidalgo	5.50	1.50	6.30	4.20	17,800.0	112.14
Jalisco	37.00	37.00	492.71	13.32	3,335.95	1,643.66
Michoacán	5.50	5.50	28.50	5.18	7,186.07	204.80
n						
<b>Nayarit</b>	<b>1,626.70</b>	<b>1,306.70</b>	<b>22,324.14</b>	<b>17.08</b>	<b>6,163.97</b>	<b>137,605.23</b>
Veracruz	69.00	69.00	1,038.70	15.04	8,704.63	9,035.41
Total	1,750.70	1,426.70	23, 994.80	16.82	6,238.51	143,950.8

HA\*: Hectáreas, T: Toneladas, PMR: Precio medio Rural

**Fuente:** (SIAP, 2018).

En el año 2018 en México se produjeron 23,994.80 toneladas de yaca en donde el estado de Nayarita aportó 22,324.14 toneladas de la producción total. En Nayarit solo 8 municipios producen yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*). de los cuales San Blas y Compostela, son los principales productores (Fig.2.3) En México se exportó 16 mil 798 toneladas de yaca, destinada principalmente a Estados Unidos, lo que represento el 90.30% de la producción nacional (SIAP, 2017).



**Figura 2.3.** Producción agrícola municipal de yaca por tonelada en el SIAP, 2018.

### 2.1.3. Características y perspectivas del mercado

Haq y Hughes (2002) estimaron que la demanda de productos frescos se expandiría en países como Japón, Malasia y el Reino Unido, además de Singapur, Hong Kong y algunos países de Medio Oriente en países de la región de Asia-Pacífico (SIAP, 2016), Kerala es el mayor exportador de yaca fresca, en Reino Unido y otros países sin datos establecido (APAARI, 2012). México ha conseguido participar en el mercado internacional de la fruta,



con ventas incipientes en algunos países europeos, como se muestra en la Cuadro 2.4 (SIAP, 2016).

**Cuadro 2.4.** Volumen y valor anual aproximado de yaca exportado de México (2014-2017).

País	Volumen (toneladas)			Valor comercial (mmd)		
	2014	2015	2016	2014	2015	2017
Total	12,685	14,705	16,798	4,210,164	5,353,090	7,346,486
Alemania		NS			1.6	
Canadá	604	892	876	559,999	698,220	505,653
Estados Unidos de América	12,076	13,811	15,918	3,649,190	4,653,423	6,838,304
Francia		NS			3	
Países Bajos	0.55			150		
Reino Unido	4.45	2.19	3.6	825	1,440	2,529
Suecia		NS			2	

mmd: Millones de dólares., NS: No significativo.

**Fuente:** SIAP, 2018.

En Nayarit el 43% de la producción es exportada a Estados Unidos, Canadá y Europa, el 27% se queda en el mercado nacional y el 30% no cumple con los requerimientos de calidad para ser exportados, y es aprovechada para cuestiones caseras (Gómez, 2016).

Para poder exportar la yaca se busca que esté libre de microorganismos, que no causen daños a la salud, y que sean duraderos, es por ello que las industrias utilizan métodos para eliminar microorganismos y aumentar la vida de anaquel de los alimentos (López y Cansino, 2015).

### 2.1.4. Manejo poscosecha y transporte

En Nayarit, después de la cosecha de la fruta, se deja deslechar, para eliminar el látex que gotea del pedúnculo del fruto después del corte. Posteriormente se acomoda en la caja del transporte separando los frutos con pedazos de cartón u otro material para evitar la fricción entre ellos, formando así varias capas y la última se cubre para evitar el calentamiento por el sol e inmediatamente se transporta al empaque, donde se espera en un área sombreada el turno para que se reciba y descargue el fruto. Durante la descarga del fruto se realiza la selección descartando aquellos que no reúnen los requisitos de calidad (índice de madurez, uniformidad y sanidad) (Muratalla-Lúa *et al.*, 2013). Los frutos seleccionados son lavados sumergiéndolos en tinas, las cuales contienen agua clorada, sin embargo no existen registros sobre las concentraciones de cloro que se utilizan para esta práctica, posteriormente los frutos son sumergidos nuevamente pero ahora en tinas que contengan una solución antifúngica (Tiabendazol) que preparan los trabajadores según las instrucciones que reporta el empaque del producto, es importante mencionar que el antifúngico que se utilizara puede cambiar según los requerimientos de los compradores. Una vez que el frutos es lavado se deja escurrir y se le elimina el exceso de agua con aire comprimido utilizando un compresor está practica además de eliminar el exceso de agua también elimina plagas adheridas a la superficie del fruto. Posteriormente, a los frutos secos se les sella el pedúnculo para evitar el desarrollo de hongos y evitar la salida del látex, durante su almacenamiento y transporte, el pedúnculo es sellado utilizando oxicloruro de cobre, el cual se prepara disolviendo el producto en agua hasta formar una pasta (no se reportan concentraciones), finalmente, los frutos son pesados y dependiendo del tamaño se colocan 1,2 y hasta 3 frutos en cajas de 40×50×25 cm, que tienen aberturas para la circulación del aire en el contenedor. La temperatura durante el transporte es de 12-14 °C, porque el fruto es sensible a daños por frío. El manejo adecuado en poscosecha y transporte del fruto se realiza con la finalidad de retardar el proceso de maduración, y evitar los cambios en la composición del fruto

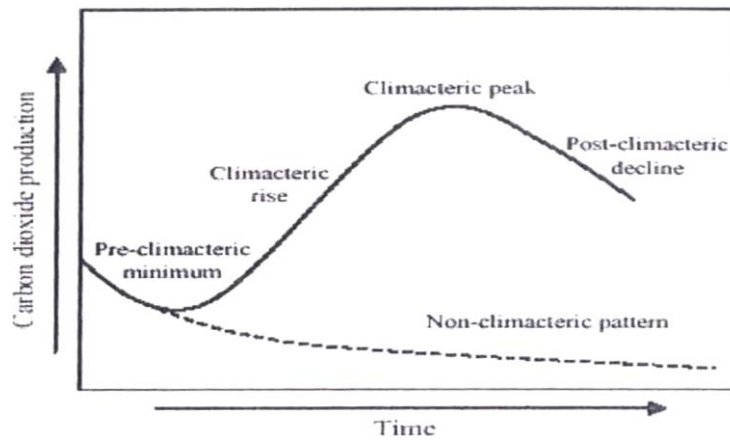
(Muratalla-Lúa *et al.*, 2013). La literatura sobre la manipulación y el almacenamiento de yaca después de la cosecha en países asiáticos es escasa, posiblemente debido a las dificultades de almacenamiento y transporte de la fruta (Saxena *et al.*, 2011). Sin embargo, se ha reportado que el manejo poscosecha en países como la India se realiza transportando las frutas de manera individual y sujetándolas del tallo, para posteriormente ser lavadas con el fin de eliminar las manchas de látex y polvo. Para asegurar la calidad de los frutos, deben manipularse cuidadosamente para evitar hematomas durante el transporte y el almacenamiento, en general para el transporte no se utiliza material de embalaje ya que estas son transportadas en cestas o canastas (Haq, 2006). Cuando la producción llega a su punto más alto, la fruta es transportada en camiones a ciudades a más de 1000 km en busca de un mayor precio de compra (Haq, 2006). Saxena *et al.* (2011) reportan que en India después de la cosecha, la fruta puede mantenerse en plataformas de red hechas con fibra de coco, con el pedúnculo cortado orientado hacia el suelo para evitar que el látex entre en contacto con la superficie de la fruta, después se clasifican los tamaños de las frutas y su grado de madurez, estas son lavadas con agua clorada como medida de fitosanidad adoptada para eliminar la suciedad, materia extraña, látex, y contaminación del campo, una vez lavadas, la fruta debe secarse a fondo para eliminar la humedad excesiva de la superficie, por último almacenamiento a granel de la fruta entera se lleva a cabo usualmente a  $12 \pm 1^\circ\text{C}$  y los bulbos envasados se almacenan de  $5-6^\circ\text{C}$ .

### **2.2. Frutos climatéricos y no climatéricos**

Mediante la respiración, las frutas obtienen la energía necesaria para desarrollar una serie de procesos biológicos indispensables. La respiración es la ruptura oxidativa de sustratos complejos como los carbohidratos a las moléculas más simples como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Sen y Hn, 2012). Los frutos se pueden clasificar en dos grandes grupos climatéricas y no-climatéricas, según su patrón respiratorio y de producción de etileno durante el proceso de maduración organoléptica de consumo (Owino y Ambuko, 2016).

### 2.2.1. Frutos climatéricos

Las frutas climatéricas son las frutas que incrementan marcadamente su ritmo respiratorio y producen altos niveles de etileno, cuando son cosechadas en su estado fisiológico de madurez, la hormona estimula y coordina los cambios fisiológicos y bioquímicos que ocurren durante el proceso de maduración, de igual manera los cambios asociados con esta etapa de desarrollo (color, sabor, aroma, textura) son rápidos, intensos y variados (Meza, 2013). En frutos climatéricos, la tasa de respiración muestra (Fig. 2.4.) la siguiente tendencia, el valor más bajo denominado como el mínimo valor se le conoce como preclimaterico seguido por un fuerte aumento de la tasa de respiración nombrado como “pico climatérico”, a este aumento repentino se llama respiración climatérica y es seguido por una disminución en la tasa de respiración en el período de la senescencia (Sen y Hn, 2012). Las frutas como el plátano, la chirimoya, el mango, la papaya y yaca son climatéricas y muestra un aumento repentino de la tasa de respiración y por consiguiente una elevada producción de etileno en el inicio del “pico climatérico” (Arias y Toledo, 2007).



**Figura 2.4.** Maduración climatérica y no climatérica (Sen y Hn, 2012)

### **2.2.2. Frutos no climatéricos**

Por el contrario, en las frutas no-climatéricas, los procesos de desarrollo y maduración son continuos y graduales; manteniendo en todo momento, niveles bajos de respiración y de producción de etileno. Las frutas climatéricas pueden ser maduras en la planta o después de cosechadas. Mientras que las frutas no-climatéricas sólo maduran para consumo en la planta (Meza, 2013). Estas diferencias entre frutos climatéricos y no climatéricos, y su comportamiento durante la maduración, tienen fuertes implicaciones en la vida poscosecha. En general, los frutos climatéricos son altamente perecederos, su maduración es rápida, se presentan fuertes cambios composicionales, y aumenta la susceptibilidad a enfermedades. Por otra parte, los frutos no climatéricos, son de maduración lenta y no experimentan cambios sustanciales durante la maduración, excepto cambios de coloración y firmeza (Sen y Hn, 2012).

### **2.3. Maduración en los frutos**

El crecimiento del fruto normalmente tarda cinco meses después de la floración, pero la cosecha puede realizarse incluso después de 4 meses, la yaca madura principalmente en los meses de marzo a junio, de abril a septiembre o de junio a agosto, dependiendo de la región climática en la que se encuentre, podría haber fruto fuera de temporada, entre septiembre y diciembre (Azad, 2000).

La fruta normalmente madura a temperatura ambiente (20-35°C) entre 3 a 10 días dependiendo de la etapa de madurez en la cosecha (Haq, 2006). El almidón es el principal material de almacenamiento en el bulbo y durante la maduración se convierte en azúcares, otro factor de cambio es el color de los bulbos que cambian de amarillo pálido a amarillo dorado acompañado por el característico aroma dulce del fruto (Villalobos, 2017). Se

distinguen tres etapas de maduración en los frutos de yaca: inmadura; maduro para cocina; y maduro para comer fresco, las frutas inmaduras, son aquellas de color verde oscuro con espinas poco espaciadas y generalmente se cocinan como verduras, por otro lado, las frutas maduras para cocinar son en general los frutos que fueron dañados o mal cortados en la cosecha (Haq, 2006). Hay varias características de la fruta que pueden usarse como indicadores de madurez, solas o en conjunto (Palang y Cajés, 2000); el mejor indicador puede ser un sonido sólido cuando el fruto es golpeado esto indica que está listo para cosechar como fruta verde, mientras que las frutas maduras tienen un sonido hueco (Azad, 2000).

### **2.3.1. Cambios durante la maduración de los frutos**

La maduración de las frutas está ligada a complejos procesos de transformación de sus componentes, como consecuencia, la fruta desarrolla una serie de características físicas y químicas que modifican su estructura interna y le permiten definir el estado de madurez en el que se encuentra (Velázquez, 2013). Durante el proceso de maduración, la pulpa del fruto de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) presenta carotenoides dicarboxílicos y crocetina, que cambia el color blanco pálido o color amarillo claro a amarillo dorado (Owino y Ambuko, 2016). La formación de los compuestos del aroma y sabor típico del fruto no está presente hasta el estado de madurez fisiológico, pero se desarrolla durante el proceso de maduración (Love, 2011). En este periodo se lleva a cabo el metabolismo secundario y los compuestos volátiles se forman a partir, de las moléculas constituyentes de la planta a través de varias vías bioquímicas (Owino y Ambuko, 2016). A medida que el fruto madura el aroma se torna más intenso gracias a los compuestos volátiles que contiene, se han encontrado más de 20 compuestos volátiles de los cuales 16 fueron ésteres y 4 alcoholes alifáticos cuya concentración varía a lo largo del proceso de maduración; los que se encuentran en mayor cantidad son el 1-butanol, 2-metil-1-butanol, etil isovalerato, metil

isovalerato y butil isovalerato (APAARI, 2012). El sabor cambia debido a la hidrólisis de los almidones que se transforman en azúcares, por la disminución de la acidez debido a la degradación de los ácidos orgánicos y a otros productos causantes del sabor astringente; los ácidos presentes en la yaca son el málico y cítrico, mientras que los ácidos succínico y oxálico se encuentran en pequeñas cantidades (Luna, 2012). La pérdida de firmeza del fruto se debe a los cambios que sufren los polisacáridos, como el almidón, pectinas, celulosas y hemicelulosa, por acciones enzimáticas a nivel de la pared celular, causando el ablandamiento del fruto, los sólidos solubles totales alcanzan los 20 °Brix o más, y el azúcar dominante es la sacarosa, con alrededor de 5% en fruto maduro (APAARI, 2012).

### **2.3.2. Factores que influyen en la maduración y senescencia de los frutos**

Un aspecto fundamental para tener en cuenta en el manejo poscosecha de frutas es que éstas continúan con el proceso de respiración aún después de cosechadas (Arias y Toledo, 2007). En este sentido, esto implica una serie de cambios estructurales, bioquímicos y de componentes que son específicos en el proceso de maduración, mientras que en la senescencia los cambios son degenerativos ya que causan la pérdida nutrimental y la muerte del tejido del fruto (Meza, 2013). Los factores que influyen en la maduración y la senescencia de los frutos son la respiración, temperatura, humedad relativa y producción de etileno

#### **2.2.3.1. Respiración**

El proceso respiratorio ocurre a expensas de las sustancias de reserva (azúcares, almidones, etc.) y son oxidadas, con el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono (Sen y Hn, 2012). La respiración genera calor que al ser liberado al medio que rodea a la fruta puede afectar al producto cosechado, la medición del calor vital de la respiración es de gran utilidad para determinar los requerimientos de enfriamiento, refrigeración y ventilación de la fruta durante su manejo poscosecha, en general, cuanto mayor es el ritmo respiratorio

del producto, menor es su vida útil de almacenamiento, (Arias y Toledo, 2007). La yaca tiene un comportamiento respiratorio, típico del climaterio con tres fases distintas de la respiración (etapas pre-climatéricas, climatéricas y post-climatéricas). La fruta de yaca inmadura pre-cortada muestra una tasa de respiración basal de  $160 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ , y en la fase climatérica, el pico de respiración fue  $245 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ . El pico climatérico se alcanzó después de 3 días de maduración. Después de 8 días de maduración, la tasa de respiración había disminuido a un nivel residual de  $60\text{-}70 \text{ mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  (Owino y Ambuko, 2016). Es conveniente, tener presente que la respiración en los frutos de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*), depende de varios factores dentro de los cuales se pueden mencionar la especie, la variedad y el grado de maduración en el que la fruta se encuentre, así como también la temperatura y la composición de los gases del ambiente que rodea a la fruta, el proceso de transpiración conlleva a la pérdida de cantidades razonables de agua lo que da como resultado la pérdida de peso de los frutos (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Se han estudiado ampliamente el uso de tecnologías para prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas que tengan propiedades de barrera frente a los gases ( $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ ) y que además pueden disminuir los procesos metabólicos como respiración y tasas de producción de etileno como lo son los recubrimientos comestibles elaborados con diferentes polisacáridos (De Azevedo, 2012). Los resultados obtenidos por (Guan *et al.*, 2015) coinciden con lo reportado por Vargas-Torres (2017), donde consiguió reducir la respiración y las tasas de producción de etileno, el ablandamiento, el cambio de color, y extender la vida útil de los frutos de yaca mínimamente procesada almacenados.

### **2.2.3.2. Temperatura y Humedad Relativa**

La temperatura y la humedad relativa son factores importantes que deben considerarse para el desarrollo y almacenamiento de los frutos, el proceso de maduración no puede detenerse, sin embargo, este proceso puede retardarse, si los factores que contribuyen a este son controlados con la finalidad de aumentar la vida útil y el periodo de comercialización de los



frutos frescos (Sargent *et al.*, 2000). Al bajar la temperatura, la tasa de respiración de los frutos será menor y por lo tanto los cambios asociados con la madurez disminuirán, las reacciones de deterioro se duplica por cada 10°C de aumento en la temperatura, por lo tanto, cuando las tasas de respiración son mayores, mayor será la necesidad de enfriamiento después de la cosecha (Ahmad y Siddiqui, 2015). La humedad relativa es un factor de importancia para mantener la calidad después de la cosecha; asegurar que existe una humedad relativa adecuada dentro de la zona de almacenamiento evitará la pérdida de agua o deshidratación significativa que conllevará una pérdida de peso, que a su vez afecta a la apariencia, textura, firmeza y en algunos casos también al sabor, para la mayoría de los frutos frescos, se recomienda una humedad relativa de aproximadamente el 90-95% (Sargent *et al.*, 2000). La yaca es una fruta, climatérica que es sensible al daño por frío, la temperatura reportada como óptima de almacenamiento para este fruto es de 13°C con una humedad relativa de 85-90% (Ahmad, y Siddiqui 2015). Se ha reportado que temperaturas entre 20 a 25°C y humedad relativa de 85% son adecuadas para favorecer el proceso de maduración con una velocidad de producción de CO<sub>2</sub> de 50-55 ml·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> en el pico climatérico a 20°C para esta fruta; lo cual sugiere una fruta perecedera con poca vida de anaquel (Mata y Tovar, 2007).

### **2.2.3.3. Etileno**

El etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) es una hormona vegetal gaseosa, responsable de regular el proceso de maduración, senescencia y finalmente la pérdida del valor nutricional y comercial de productos agrícolas (López *et al.*, 2014). Es fisiológicamente activo en niveles bajos de hasta 1 parte por millón (ppm) y tiene gran importancia en la fisiología poscosecha. En el Cuadro 2.5, se clasifican algunas frutas tropicales según su producción de etileno que van desde “muy bajo” con valores de < 0.1 ml/kg/h a 20°C hasta “muy alto” con valores >100 ml/kg/h a 20°C, se ha demostrado que la aplicación externa de este gas generalmente

promueve el deterioro de los frutos acortando su vida de anaquel por lo cual es importante tener un control sobre él (Arias y Toledo, 2007).

**Cuadro 2.5.** Clasificación de algunas frutas tropicales según su producción de etileno

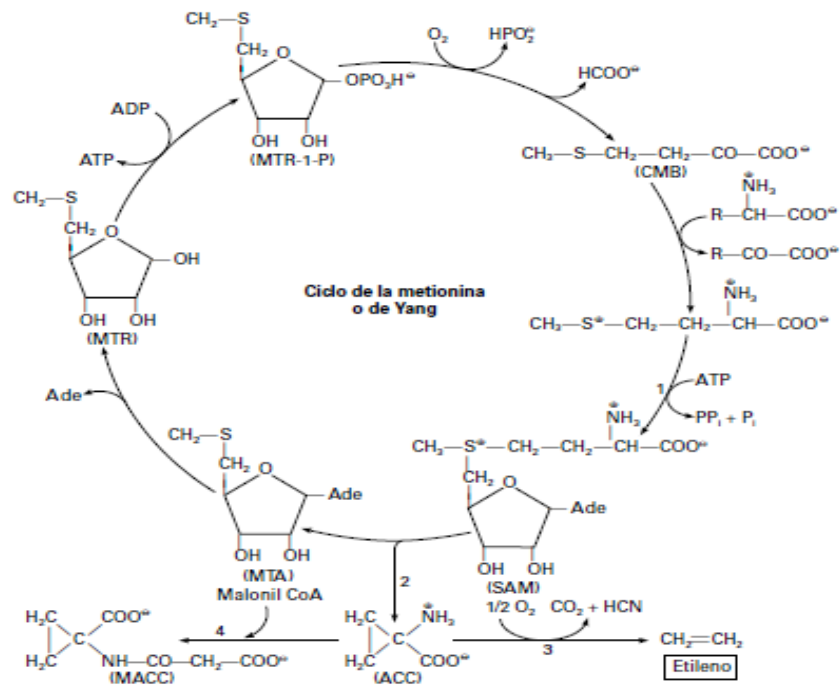
Clase	Etileno (m/kg/h a 20 °C)	Fruto
Muy bajo	< 0.1	Cítricos
Bajo	0.1 – 1.0	Piña, melón, sandía
Moderado	1.0 – 10	Mango, melón, plátano
Alto	10 –100	Aguacate, papaya, yaca
Muy alto	>100	Maracuyá

**Fuente:** (Arias y Toledo, 2007).

El aumento de la producción de etileno está asociado con el desarrollo de características de calidad en la fruta climatérica pero también con la pérdida potencial durante el almacenamiento (Azcón-Bieto y Talón, 2013). El nivel de etileno en los frutos aumentará con la madurez, si estos sufren daño físico, con la incidencia de enfermedades y a temperaturas altas (López *et al.*, 2014). Para poder controlar los niveles de etileno y garantizar la calidad del producto es necesario usar almacenamientos refrigerados y atmósferas controladas con menos de 8% de O<sub>2</sub> y más de 2% de CO<sub>2</sub>, estas condiciones contribuyen a mantener bajos niveles de etileno en el ambiente poscosecha y limitan de manera significativa la síntesis y acción del etileno en el producto cosechado (Sen y Hn, 2012). El control de la concentración de etileno en el ambiente circundante al producto cosechado es un mecanismo para regular su almacenamiento. La producción de etileno en los tejidos vegetales se incrementa en el rango de temperatura de 0 a 25°C (IICA, 2012). La senescencia es el envejecimiento natural de los tejidos vegetales y es estimulado por la presencia de etileno y tasas aceleradas de respiración, los frutos de yaca produce un alto contenido de etileno que va desde 10- 100 ml/kg/h a 20°C (Arias y Toledo, 2007).

#### 2.2.3.4. Síntesis de etileno y su efecto en los frutos

La primera etapa de la síntesis de etileno en las plantas superiores es a partir del aminoácido metionina (Wong *et al.*, 2016). La biosíntesis se inicia con la formación de S-adenosil-L-metionina (SAM) desde el aminoácido metionina, que es catalizada por la enzima SAM sintetasa (Azcón-Bieto y Talón, 2013). SAM es un metabolito primario, crucial en el metabolismo de poliaminas y precursor de muchas otras rutas, como las de biosíntesis de lignina y la metilación de los ácidos nucleicos y proteínas, por tanto, abundante dentro de los tejidos de la planta (Cervantes, 2002). Posteriormente SAM se convierte en 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) mediante la enzima ACC sintasa (ACS) y 5'-metiltioadenosina (MTA), la ACS es una enzima perteneciente a la familia de las dependientes de piridoxal-5'-fosfato y es considerada como enzima clave, puesto que es inducida por muchos estímulos y mantiene un rol en la regulación de la producción de etileno en muchos tejidos de plantas (Jiang *et al.*, 2011). Además, la MTA es reciclada a metionina, lo cual permite que los niveles de metionina permanezcan relativamente inalterados incluso durante altas tasas de producción de etileno (Corpas y Tapasco, 2014). Finalmente, el ACC es oxidado por la enzima 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico oxidasa (ACO) para formar etileno (Jiang *et al.*, 2011). La metionina es reciclada en el ciclo de "Yang" (Ver Fig. 2.4.) lo que conlleva a tener altas tasas de producción de etileno sin necesidad de altos niveles de metionina intracelular (Solano *et al.*, 2014). En este ciclo, las enzimas claves de la síntesis de este compuesto son, el ACS y el ACO; por lo que la inhibición de éstas puede detener la producción de etileno y favorecer una desaceleración de la senescencia de los frutos (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Se ha observado que, en la mayoría de las investigaciones, el etileno acelera la crisis climatérica si es aplicado antes del inicio de la misma (Arias y Toledo, 2007).



**Figura 2.5.** Biosíntesis de Etileno y ciclo de Yang (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

En los frutos climatéricos la capacidad para completar el proceso de maduración depende exclusivamente de su habilidad para sintetizar etileno (Meza, 2013). Es necesario que, durante el desarrollo del fruto en la planta, alcance un estado determinado a partir del cual adquiera la competencia para sintetizar etileno de forma autocatalítica. La producción del etileno en el fruto se produce de dos maneras, y se le denomina sistema I y II, el sistema I es el responsable de la producción del etileno basal y el de herida, éste se encuentra tanto en los frutos climatéricos como en no climatéricos, mientras que sistema II actúa solo en los climatéricos y pone en marcha la síntesis auto catalítica de etileno que induce el proceso de maduración (Solano *et al.*, 2014). Si los frutos climatéricos son cortados antes de tiempo, no alcanzarán la etapa de autoproducción de etileno, por lo que sus propiedades sensoriales no evolucionarán al no haberse activado el sistema II, si por el contrario la recolección se realiza pasado este momento, podrá continuar la maduración por su propia capacidad de

sintetizar etileno endógeno o por tratamiento exógeno (Owino y Ambuko, 2016). El etileno tiene un efecto benéfico en los frutos en estado inmaduro, si este es introducido en cámaras de maduración en concentraciones de (50 ppm) a una temperatura de 25°C por 24 horas inducirá el proceso de maduración, pasadas las 24 horas las puertas de la cámara de maduración deberán abrirse para permitir la maduración normal en condiciones ambientales, las frutas maduran dentro de 3-4 días después del tratamiento con gas etileno (Saxena *et al.*, 2011).

### **2.2.2.4.3. Regulación de la biosíntesis de etileno y su mecanismo de acción**

La activación de la producción de etileno por el mismo gas se denominada autocatálisis este proceso requiere la presencia continua de etileno y estimula coordinadamente la síntesis y la actividad de ambas enzimas, ACS y ACO (Azcón-Bieto y Talón, 2013). La inducción de ACO por el etileno parece ser previa a la de ACS, de forma que se incrementan progresivamente los niveles basales de etileno sin que ello afecte al nivel de su precursor metabólico, ACC (Xu y Zhang, 2015). Cuando la concentración de etileno ha superado un nivel umbral comenzaría la estimulación de la actividad ACS, con el consiguiente aumento de ACC y, dado que la actividad ACO ya está previamente intensificada, se genera el aumento masivo de la producción de etileno característico durante el climaterio de los frutos (Wong *et al.*, 2016). En otras situaciones del desarrollo o en condiciones adversas, la actividad ACO también puede ser estimulada por el etileno; no así la actividad ACS y la autocatálisis de la producción de etileno es, por tanto, la estimulación por la hormona de la expresión y de la actividad de una ACS específica, este proceso solamente se produce durante la maduración de los frutos climatéricos y es el que determina la entrada irreversible en el proceso de senescencia celular característico de la maduración (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Por otra parte, el etileno también puede actuar negativamente en su biosíntesis. Este

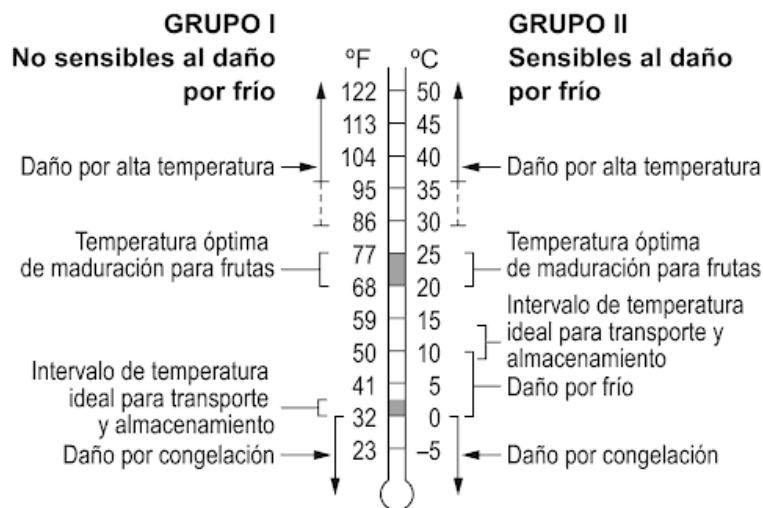
proceso es rápido y reversible, e implica diferentes mecanismos: el etileno inhibe la actividad ACS y, dependiendo de los tejidos, también puede suprimir la ACO. Además, se ha demostrado que incrementa la actividad ACC-malonil-transferasa, lo que ocasiona una reducción general del contenido de ACC disponible para la formación de etileno (Xu y Zhang, 2015).

### **2.3. Conservación en poscosecha y transporte**

Las pérdidas en calidad y cantidad entre la cosecha y el consumo afectan las cosechas hortofrutícolas. Se estima que la magnitud de las pérdidas poscosecha en frutas y hortalizas frescas es de 5 a 25% en países desarrollados y de 20 a 50% en países en desarrollo, dependiendo del producto, la variedad y las condiciones de manejo. Para reducir estas pérdidas, los productores y distribuidores deben primero entender los factores biológicos y ambientales involucrados en el deterioro y segundo, usar técnicas poscosecha para retardar la senescencia y mantener lo mejor posible la calidad (Kader, 2011). También se debe tomar en cuenta las formas adecuadas de envasado y transporte de frutas y hortalizas tropicales frescas para mantener la calidad del producto durante el transporte y la comercialización. Para la mayoría de los productos, los grandes volúmenes deben ser transportados y almacenados durante una semana o más, se recomienda utilizar de ser posible remolques y contenedores refrigerados (Velázquez y Toledo, 2007). La manera más efectiva de conservación poscosecha de los frutos, es el manejo adecuado de la temperatura. El fruto de yaca es almacenado y transportado a temperaturas de 12-14 °C como se mencionó en el capítulo anterior “manejo poscosecha y transporte” (Muratalla-Lúa *et al.*, 2013). En países como la India se realiza un almacenamiento a granel de los frutos enteros a temperaturas de  $12 \pm 1$  °C (Saxena *et al.*, 2011).

**2.3.1. Temperaturas de refrigeración**

La refrigeración es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial para conservación poscosecha de frutas (Potter y Hotchkiss, 1995; Tovar-Gómez *et al.*, 2011) y se inicia con la remoción rápida del calor de campo usando métodos de enfriamiento como: hidro enfriado, empacado con hielo, colocación de hielo sobre la carga, enfriamiento evaporativo, en cuarto frío, con aire forzado, y aire forzado enfriado por serpentines, enfriamiento al vacío o por hidro vacío (Kader, 2011), no obstante esto hace que el costo en el almacenamiento del fruto se eleve. La infraestructura de enfriamiento debe estar bien diseñada y adecuadamente equipada. Los cuartos de almacenamiento no deben estar cargados por arriba de sus límites con el producto que se tiene enfriando (adecuado). Se debe monitorear la temperatura del producto y los vehículos de transporte deben ser enfriados antes de cargar el producto para evitar retrasos entre el enfriado después de la cosecha y la carga de los vehículos y garantizar una temperatura adecuada y constante a través de todo el sistema de manejo (Kader, 2011). Se debe tener cuidado ya que las frutas tropicales y subtropicales son susceptibles de sufrir alteraciones fisiológicas en un rango de temperaturas de aproximadamente 5 a 14 °C (Fig. 2.5) ( Velázquez y Toledo, 2007; Kader, 2011).



**Figura 2.6.** Efecto de la temperatura en frutas y hortalizas de acuerdo a su sensibilidad al daño por frío (Kader, 2011)

Las bajas temperaturas pueden combinarse con recubrimientos comestibles como las emulsiones a base de ceras, los cuales modifican la atmósfera interna de gases, reducen el metabolismo y la transpiración de algunos productos hortícolas (Baldwin *et al.*, 1999; Carrillo, Ramírez, Valdez, Rojas, y Yahia, 2000; Tovar-Gómez *et al.*, 2011).

### **2.3.2. Utilización de ceras**

Las ceras comestibles son aplicadas en frutos para minimizar pérdidas de vapor de agua y para proveer un vehículo para la aplicación de fungicidas. Estas son aplicadas como mezclas cerosas que sustituyen a la cutícula del fruto, como barrera a la transpiración, intercambio gaseoso y penetración de microorganismos ayudando a la conservación de los frutos (García *et al.*, 2015).



**Cuadro 2.6** Condiciones y tiempo de almacenamiento de los frutos enteros de yaca

<b>Temperatura</b> °C	<b>Humedad</b> Relativa %	<b>Tiempo de</b> <b>Almacenamiento</b>	<b>Referencia</b>
11-13	85-90	6 semanas	Mathuer <i>et al.</i> , 1925.
11-12.7	86-90	6 semanas	Singh, 1972.
20-35	85±5	3-10 días	Haq, 2006.
20 ± 1	85±5	8-12 días	Mata <i>et al.</i> , 2007
10	-----	2-3 semanas	Love y Paull, 2011.
21-26	-----	3-7 días	Love y Paull, 2011.
11-13	85-95	3-6 semanas	APAARI, 2012.
11.11-12.78	85-95	3-6 semanas	Villalobos, 2017.

Además, la presencia de una barrera artificial a la difusión alrededor de las frutas puede causar efectos, como disminución de los niveles de O<sub>2</sub>, aumento de CO<sub>2</sub> por ende, cambios en el metabolismo del etileno; sin embargo, la efectividad de las mismas depende de los productos hortícolas, en donde se aplique y específicamente de su composición química. Por esta razón el diseño de una cubierta comestible debe ser establecido para cada tipo de fruto (Petracek-Hagenmaier y Dou, 1999; Tovar-Gómez *et al.*, 2011). Debido a que la efectividad del encerado depende del tipo de cera, del contenido de sólidos y del pH; además, se ha señalado que la cera de carnauba es mucho más permeable a los gases y relativamente hidrofóbica por lo que presenta una buena barrera a la pérdida de humedad (García-Robles *et al.*, 2015; Hagenmaier y Baker, 1995). Se han estudiado la aplicación de recubrimientos céreos a base de carnauba y candelilla en su mayoría en manzanas y cítricos, debido a que proporcionan brillo a la cutícula de los frutos, aunque se encontró que también alarga la vida de anaquel de los mismos (Alleyne y Hagenmaier, 2000; Bai y Hagenmaier,

R. D Baldwin, 2003; Ben-Abda y Martínez-Jávega, 1999; Tovar-Gómez *et al.*, 2011). No se han encontrado antecedentes o investigaciones sobre la aplicación de ceras a frutos de yaca, sin embargo, si existen investigaciones sobre las utilizations del látex del árbol de yaca para la obtención de ceras y películas comestibles.

### **2.3.3. Absorbedores de etileno**

El etileno tiene un papel doble en la poscosecha, por un lado ocasiona que los frutos adquieran características organolépticas óptimas para su consumo, pero también es responsable de la senescencia de los tejidos, generando efectos desfavorables en la calidad (Bapat *et al.*, 2010). Los productos absorbentes de etileno permiten controlar el gas etileno de las frutas permitiendo reducir la velocidad de maduración. Al retirar el etileno de los envases y embalajes donde están los productos sensibles a este gas, se permite un menor deterioro de los alimentos. El absorbedor más utilizado es el permanganato de potasio, como ingrediente activo en los filtros y bolsitas (Pareek, 2016).

### **2.4. Funcionamiento de los absorbedores de etileno**

Los absorbedores de etileno por lo general están compuestos por dos ingredientes uno “activo” y el otro “inactivo”(Owino y Ambuko, 2016). Como ingrediente inactivo, se pueden utilizar, gel de sílice seco, vermiculita, zeolita y perlita, los cuales son impregnados con el ingrediente activo permanganato de potasio (Mawatha, 2011). El permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) es un fuerte oxidante, que cuando entra en contacto con el etileno lo oxida, produciendo,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$  e  $\text{KOH}$ , esto hace que disminuyan los niveles de etileno en la atmósfera y por tanto afecta los procesos dependientes de éste durante el proceso de maduración, por esta razón es el más utilizado para captar el etileno y controlar los efectos que provoca en frutos climatéricos, ya que estos son los más afectados por la hormona. El

(KMnO<sub>4</sub>) tiene la capacidad de estar activo en cámara de almacenamiento en frío, camiones refrigerados y a temperatura ambiente no controlada (López *et al.*, 2014).

#### **2.4.1. Tipos de absorbedores de etileno**

El más conocido, económico y ampliamente utilizado sistema de absorción de etileno consiste en permanganato de potasio incrustado de gel de sílice seco. La sílice absorbe al etileno y el permanganato de potasio lo oxida a etilenglicol. La sílice se mantiene en una bolsita altamente permeable al etileno, o puede ser incorporada en una película de empaque. El permanganato de potasio, sin embargo, no es integrado en las superficies en contacto con alimentos de las películas de embalaje debido a su toxicidad (Ozdemir y Floros, 2010). De acuerdo a la consulta realizada al código de regulación federal número 21 de los Estados Unidos de Norte América, a las secciones de la 170 a 178, y 570 a la 573 no existe restricciones publicadas para la utilización de permanganato de potasio en absorbedores de etileno en frutos, lo anterior está sujeto hasta la última actualización que fue el 01 de abril del 2017 (FDA, 2017). Otro sistema disponible para absorber etileno es la zeolita impregnada con permanganato de potasio, y luego la zeolita recubierta es impregnada con un catión de amonio cuaternario. Este sistema no solo es capaz de absorber etileno del medio, sino también otros compuestos orgánicos, como benceno, tolueno y xileno (Solano *et al.*, 2014). Las perlas activadas de Aluminio impregnadas con KMnO<sub>4</sub> son un sistema un poco más costos, pero efectivo para la eliminación de etileno, la gran superficie que se crea permite la capacidad máxima absorción. El material de empaque garantiza el flujo de aire óptimo y la oxidación de etileno y otros gases contaminantes. Los absorbedores de etileno también son comúnmente llamados eliminadores de etileno y están disponibles comercialmente bajo diferentes nombres, como Evert-Fresh (Evert-Fresh Co, EE.UU.), etileno Control (Ethylene Control Incorporated, EE.UU.) Y Peak fresh (Peak Fresh Products, Australia) (Ozdemir y Floros, 2004).

### 2.4.2. Aplicación de absorbedores de etileno

Se han realizado diversos estudios utilizando absorbedores de etileno con diferentes concentraciones de permanganato de potasio como ingrediente activo y zeolita, como ingrediente inactivo o absorbente, en atmosferas controladas con resultados favorables en frutos climatéricos, como banano (Chauhan *et al.*, 2006; López *et al.*, 2014), mango y aguacate (Illeperuma y Jayasuriya, 2002; López *et al.*, 2014), tomate (Salamanca *et al.*, 2014), manzana (Brackmann *et al.*, 2006), bananito (García *et al.*, 2012), papaya (Silva *et al.*, 2009) y en frutos no climatéricos, como fresa (Wills y Kim, 1995; López *et al.*, 2014). El uso de los absorbedores se recomienda aplicar los paquetes “minis” de 8 gramos para los envíos de frutas y verduras. El paquete de absorbedor se debe colocar en las cajas (cartón, madera o plástico) junto con el producto desde el momento de ser empacado, hasta su venta. Se recomienda utilizar, 1 paquete de 8 gr para una caja de frutas/verduras, que pese de 4.54 a 6.80 Kg en viajes cortos de (20 días o menos) con almacenamiento frio mínimo. Para viajes más largos, se recomienda usar dos mini-bolsas de 8 gr en una cajas de a 6.80 a 9.07 Kg y el colocar el paquete absorbedor en un lugar seco (Deltatrak, 2018). En investigaciones realizadas para la formulación de este protocolo no se encontraron antecedentes sobre la aplicación de absorbedores de etileno en frutos de yaca.

### 2.4.3. Factores que influyen en los absorbedores

Existen estudios publicados sobre el uso de  $\text{KMnO}_4$  en la poscosecha, no obstante, la información con respecto a la dosis y la cantidad de etileno que puede oxidar el  $\text{KMnO}_4$  no es clara, pues varían con respecto al tipo de fruto usado y condiciones de almacenamiento (López *et al.*, 2014; Wills y Warton, 2004). Los resultados en la poscosecha con el uso de  $\text{KMnO}_4$  dependen del ingrediente inactivo, empaque del producto y de las condiciones de almacenamiento y temperatura (Bal y Celik, 2010). Para que el  $\text{KMnO}_4$  sea efectivo, debe

ser adsorbido a un vehículo para formar un absorbente sólido que aumente el área de contacto, debido a que las únicas fuerzas que actúan para que ocurra el contacto absorbente-etileno son la difusión y convección natural del aire en la atmósfera (Sen y Hn, 2012). Algunos de los portadores más utilizados son la zeolita, vermiculita, alúmina, perlita entre otros. Los portadores de mayor área superficial presentan mayor capacidad para absorber el  $\text{KMnO}_4$  y en consecuencia, mayor eficiencia en la reducción de los niveles de etileno (López *et al.*, 2014). En fruto de papaya el  $\text{KMnO}_4$  disminuye la tasa respiratoria y pérdida de peso (Mawatha, 2011). Por otro lado, el  $\text{KMnO}_4$  disminuye el ablandamiento e incrementa la vida poscosecha en la chirimoya (Chaves, 2009).

### CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN

La yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) es uno de los cultivos de mayor importancia en el estado de Nayarit, ya que su cultivo está destinado principalmente a la exportación, lo que genera un importante derrame económico en el estado. En el año 2018, Nayarit reportó una producción de 22,324 toneladas y a pesar de su importancia comercial, la fruta recibe un manejo poscosecha mínimo, esto debido a los escasos conocimientos poscosecha que existen sobre esta fruta en el estado. Los frutos presentan altas tasas respiratorias y una elevada producción de etileno, lo que acelera su proceso de maduración, acortando su vida de almacenamiento y limitando con ello su comercialización, generando pérdidas económicas en los productores. Existen estudios en los que se puede extender la vida de almacenamiento de los frutos de yaca por medio de retardadores químicos (controladores de síntesis del etileno) como el 1-metilciclopropeno (1-MCP) que bloquean temporalmente a los receptores de etileno; sin embargo, es una técnica que implica tiempo de activación (12 h) y condiciones especiales para su aplicación, por lo que se buscan otros métodos como el uso de absorbentes de etileno, que son fáciles de aplicar y no necesitan tiempo de activación, la manera en la que actúan, consiste en captar el etileno que los frutos producen, y por medio del permanganato de potasio, oxidar al etileno exógeno, ayudando a retardar los efectos del proceso de maduración. Actualmente no se ha estudiado el efecto de absorbentes de etileno sobre los frutos de yaca, por lo que en este proyecto se propone evaluar dos absorbentes de etileno en conjunto con temperaturas de almacenamiento en la fisiología y parámetros fisicoquímicos de la fruta para conocer sus efectos en el proceso de maduración y vida útil, ofreciendo una alternativa de solución a su acelerado proceso de maduración.

## **CAPÍTULO 4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de absorbedores de etileno y temperaturas de almacenamiento durante el proceso de maduración de frutos de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

#### **4.1.1. Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto de los absorbedores de etileno y temperaturas de almacenamiento en frutos de yaca sobre la velocidad de respiración.
  
- Evaluar el efecto de los absorbedores de etileno y temperaturas de almacenamiento en frutos de yaca sobre la velocidad de producción de etileno.
  
  
- Evaluar el efecto de los tratamientos con absorbedores y temperaturas en los principales parámetros de calidad en los frutos como los sólidos solubles totales, acidez titulable, firmeza de la fruta, color, y pérdida fisiológica de peso.

## CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la metodología las muestras se prepararon como se describe en la Figura 5.1. Se cosecharon 204 frutos de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) del material denominado “*Agüitada*” en madurez fisiológica, con un peso en el rango de 6 a 9 Kg recolectadas en el mes de mayo-junio, en huertos de yaca ubicados en el municipio de Santiago, posteriormente los frutos fueron transportados, al laboratorio de investigación de alimentos del Instituto Tecnológico de Tepic, donde se lavaron con agua corriente y posteriormente se sumergieron durante 3 min en una solución antifúngica (Tiabendazol 800 ppm) posteriormente se dejaron secar al aire. Por ultimo en el pedúnculo del fruto se colocó una solución de oxiclورو de cobre (3:2) utilizando una brocha como forma de sellado para evitar el daño por hongos y bacterias y se dejara secar. Los frutos fueron divididos en 4 grupos para la aplicación de su respectivo tratamiento como se muestra a continuación.

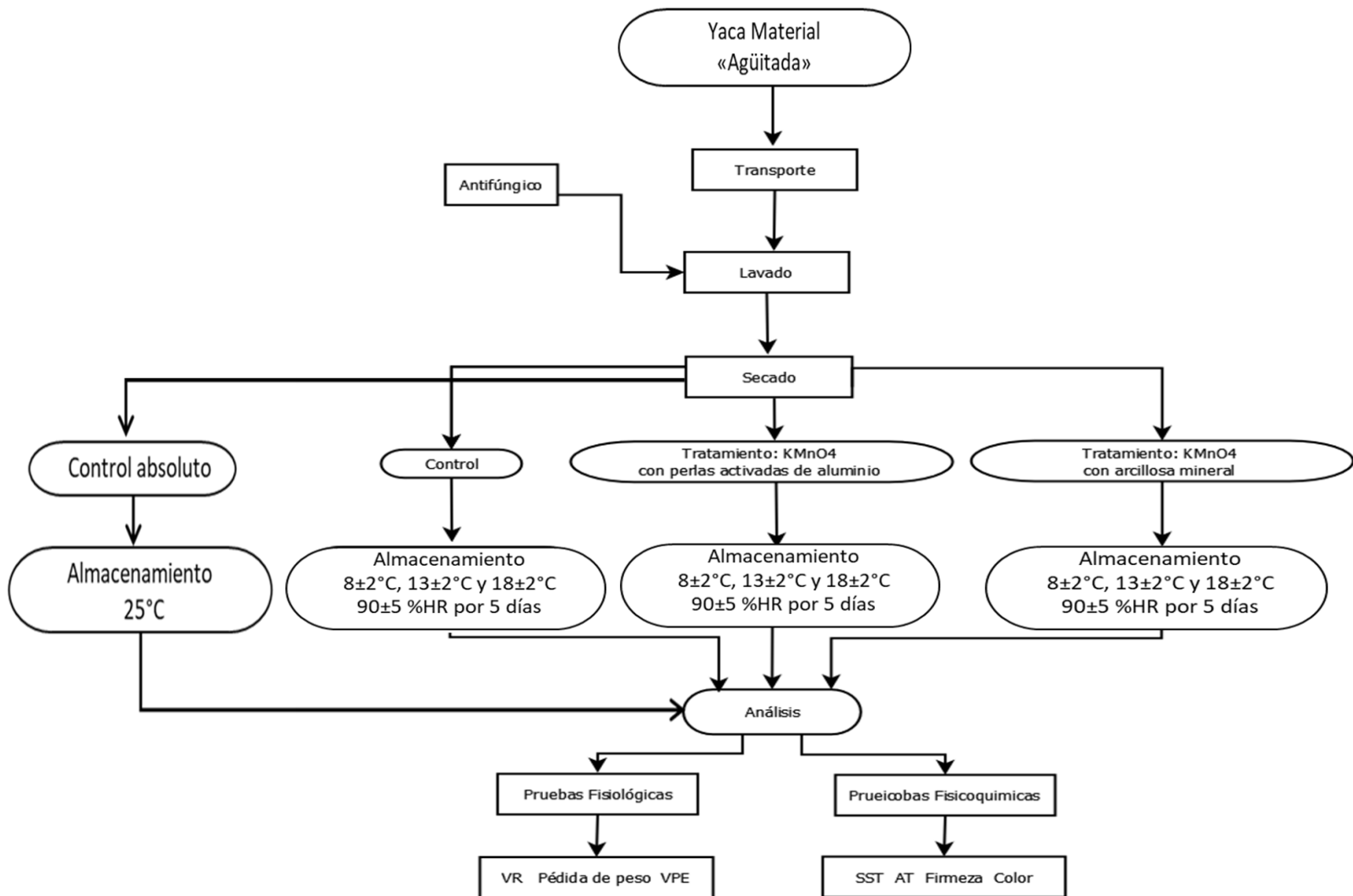
Los tratamientos fueron divididos de la siguiente manera:

- **Absorbedor de etileno I:** a base de permanganato de potasio con perlas activadas de aluminio + Refrigeración ( $8 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ ,  $13 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$  y  $18 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ ).
- **Absorbedor de etileno II:** a base de permanganato de potasio con arcillosa mineral + Refrigeración ( $8 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ ,  $13 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$  y  $18 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ ).
- **Control:** Sin aplicación de absorbedores de etileno, sometidos a ( $8 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ ,  $13 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$  y  $18 \pm 2^{\circ}\text{C} + \text{Amb}$ ).



- **Control absoluto:** Sin la aplicación de absorbedores de etileno, sometido a 25°C.

Posteriormente se realizó la aplicación de los tratamientos por duplicado que consistió en la aplicación de bolsitas de absorbedores de etileno (2 bolsitas por cada 9 kg de fruta) en cajas de cartón y temperaturas de almacenamiento ( $8 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $13 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $18 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Como absorbedores de etileno se utilizaron dos tipos (el primer absorbedor fue permanganato de potasio con perlas activadas de aluminio marca DeltaTrak, tamaño mini, modelo 19006 con un peso de 8 gr y el segundo absorbedor fue permanganato de potasio con arcillosa mineral marca Biotempak con un peso de 8 gr y de 60x65 mm con una capacidad de absorción de etileno mayor o igual a 26 ml). Los frutos control solo se les aplicó temperaturas de refrigeración ( $8 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $13 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $18 \pm 2^\circ\text{C}$ ), además se tendrá un control absoluto a 25°C. Los frutos se almacenaron a la temperatura correspondiente a su tratamiento. Después de 5 días los frutos fueron pasados a una temperatura de 25°C esto se realizó simulando las condiciones de mercadeo. Una vez aplicados los tratamientos se realizaron las pruebas fisiológicas y fisicoquímicas en los frutos que consistieron en pruebas no destructivas: pérdida fisiológica de peso, color de la cascara, respiración y producción de etileno y pruebas destructivas: firmeza en la fruta (cáscara y pulpa), sólidos solubles totales (SST), acidez titulable total, pH. Los días de análisis serán los siguientes: en los días **1**, (día de la cosecha antes de la aplicación de los tratamientos) **3, 5, 8, 11 y 14**.



**Figura 5.1.** Desarrollo de la metodología

**5.1. Estudio fisiológico Velocidad de respiración (VR) y velocidad de producción de etileno (VPE)**

La determinación de la respiración de los frutos se realizó por el método reportado por Tovar *et al.*, 2001. En donde se evaluó la respiración ( $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) y producción de etileno ( $\mu\text{L} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) realizada diariamente, durante el tiempo que los frutos permanecieron en almacén, utilizando un número de 3 frutos por tratamiento, determinando su peso y volumen previamente, los cuales se colocarán en cámaras plásticas con un volumen de 21 L aproximadamente, previstas de una septa. Para la determinación del  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$ , 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 para toma de muestras gaseosas con un volumen de 1 mL 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  $\mu\text{m}$  de espesor de película). Se utilizó  $\text{N}_2$  como gas acarreador con un flujo de 7 mL/min. La cámara de inyección y los detectores se mantubieron a 250 °C, mientras que el horno se permaneció a 50 °C por 30 s y se uso una rampa de 30 °C/min hasta alcanzar 80 °C, la velocidad de flujo del aire fue de 400 mL/min y del  $\text{H}_2$  de 30 mL/min. Para la determinación el  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ , se utilizó un detector de conductividad térmica. Los resultados se expresarán para VR en  $\text{mL CO}_2/\text{Kg} \cdot \text{h}$ , el estudio fisiológico se trabajó hasta la senescencia del fruto. Cabe señalar que los días de muestreo los frutos fueron sacados de refrigeración y se dejaron afuera para su correspondiente determinación y posteriormente se volvieron a poner en refrigeración.

### **5.2. Evaluación de sólidos solubles totales**

Los sólidos solubles totales (°Brix, 20°C) se analizaron en la pulpa de yaca, empleando un refractómetro marca Bellingham Stanley Limited con corrección por temperatura, previamente calibrado con agua destilada según el método 932.12 (AOAC 2005).

### **5.3. Evaluación de acidez titulable**

La acidez titulable se determinó mediante el método 942.15 de la AOAC 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.

### **5.4. Determinación de pH**

La determinación del potencial de hidrógeno, se realizó utilizando un potenciómetro marca HANNA instrumens modelo HI 2210 en 10 g de pulpa homogenizada, siguiendo el método 981.12 (AOAC, 2005).

### **5.5. 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 2mm 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 Newtons (N).

### **5.6 Determinación de color**

Para la determinación del color de la yaca, se empleará un colorímetro Minolta CR-300 y se reportará 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  $L^* a^* b^*$

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

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

### 5.7 Pérdida fisiológica de peso

La pérdida de peso se determinó empleando una balanza digital marca TORREY con capacidad de 20 kg y 0.5 g de precisión en los frutos que se pesarán diariamente; la diferencia en peso con respecto al original se expresara como el porcentaje de pérdida de peso. El cálculo de la pérdida de peso en porcentaje se utilizará la siguiente formula (Hernández-Lauzardo *et al.*, 2007).

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

### 5.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada uno de los estudios se expresaron como la media  $\pm$  desviación estándar ( $n=3$ ) y se analizarón mediante el programa PRISMA. Se aplicó un diseño ANOVA para evaluar el efecto de dos absorbedores de etileno y tres temperaturas en la yaca durante su almacenamiento en los diferentes estudios (fisiológicos y fisicoquímicos) y poder determinar qué tan efectivo es el uso de estos absorbedores en el manejo poscosecha y transporte. Se utilizará un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ .

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

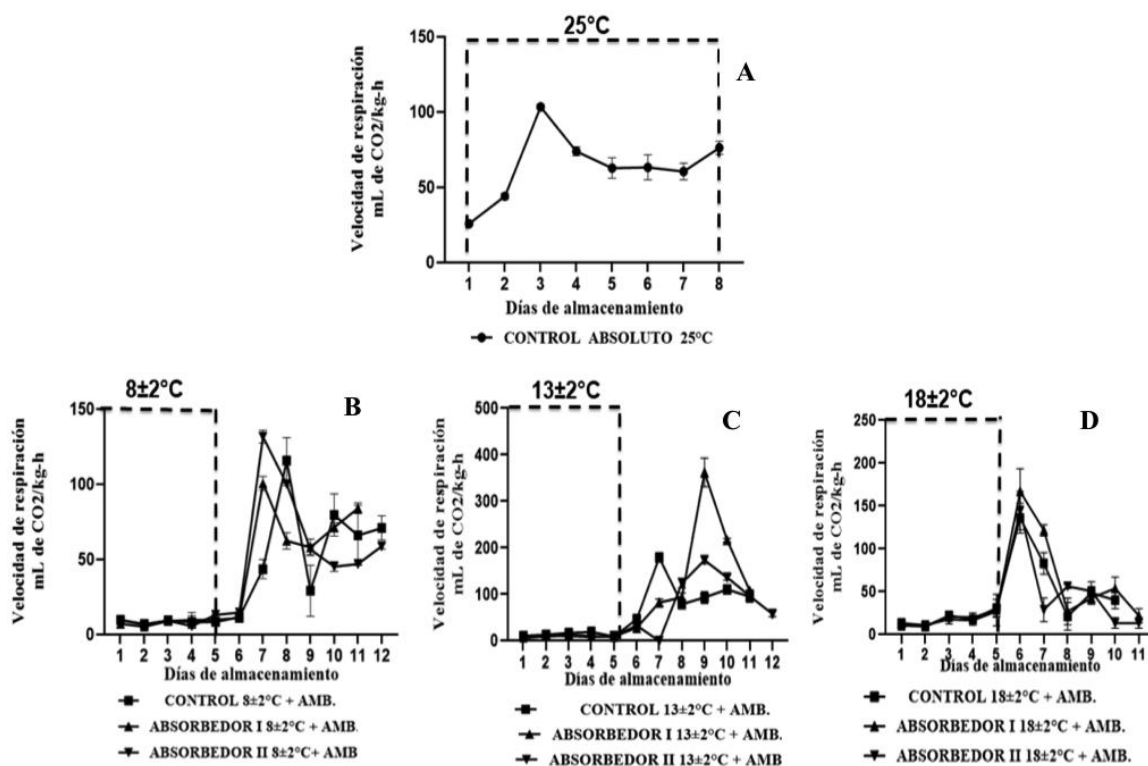
### ETAPA I: ESTUDIOS FISIOLÓGICOS DE VR, VPE Y %PFP

#### 6.1 Estudio fisiológico Velocidad de respiración (VR)

Las velocidades de respiración (La Figura 6.1) de los frutos enteros de yaca con la aplicación de dos absorbedores de etileno I y II (a base de  $\text{KMnO}_4$  con perlas activadas de aluminio y  $\text{KMnO}_4$  con arcillosa mineral) respectivamente, sometidos a las diferentes temperaturas de almacenamiento ( $8\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $13\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $18\pm 2^\circ\text{C}$  y  $25^\circ\text{C}$ ) muestran que el control absoluto (Fig. 6.1 A) presentó diferencias significativas ( $p\leq 0,05$ ) con respecto a los controles almacenados a  $8\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $13\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $18\pm 2^\circ\text{C}$  y a los tratamientos con absorbedores. La VR del control absoluto almacenado a  $25^\circ\text{C}$  presentó un incremento drástico en la producción de  $\text{CO}_2$  durante su almacenamiento, alcanzando su punto máximo a los 3 días de almacenamiento con un valor de  $103.48 \text{ mL CO}_2/\text{kg h}$ , este incremento puede identificarse como pico climatérico. De acuerdo con lo reportado por Mata *et al.* (2007) frutos enteros de yaca almacenados a una temperatura de  $20\pm 1^\circ\text{C}$  presentaron el pico climatérico a los 7 días de almacenamiento con valor de respiración de  $90.748 \text{ mL CO}_2/\text{kg h}$ . El adelanto del pico climatérico del control absoluto sometido a  $25^\circ\text{C}$  está relacionado con el incremento de la temperatura esto según Saxena *et al.* (2011) quienes reportaron que las temperaturas de  $20\text{-}25^\circ\text{C}$  son adecuadas para acelerar el proceso de maduración de los frutos enteros de yaca.

Por otro lado las velocidades de respiración (Fig. 6.1 B-D) en los frutos control y los tratados con absorbedores I y II sometidos a las temperaturas de almacenamiento de  $8\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $13\pm 2^\circ\text{C}$ ,

18±2°C se mantuvieron bajas durante los primeros 5 días de almacenamiento, días en los que permanecieron en refrigeración, no presentando diferencias significativas.



**Figura 6.1.** Velocidad de respiración en los frutos de yuca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas de 25°C (A), 8±2°C (B), 13±2°C (C) y 18±2°C (D). La línea punteada representa el tiempo que los frutos permanecieron a la temperatura de almacén.

Este comportamiento se debió a que las temperaturas de refrigeración disminuyen el ritmo biológico, la transpiración y el intercambio gaseoso de los frutos, por lo que la velocidad de respiración disminuye (Lurie, 2002). Una vez que los frutos fueron transferidos a una temperatura de 25°C con el fin de simular las condiciones de mercadeo que se manejan en los empaques de yaca, se presentaron diferencias significativas entre los controles sometidos a temperaturas de refrigeración y los almacenados con absorbedores y pudo observarse un incremento notable en su velocidad de respiración hasta alcanzar el punto máximo de producción de CO<sub>2</sub> en el caso de los frutos almacenados a 8±2°C (Fig. 6.1 B) a los 7 días de almacenamiento con valores de 100.6 CO<sub>2</sub>/kg h para el absorbedor I y 129.54 CO<sub>2</sub>/kg h para el absorbedor II y en cuanto al control almacenado a 8±2°C este aumentó su tasa respiratoria a los 7 días con un valor de 67.09 mL CO<sub>2</sub>/kg·h, y en el día siguiente presentó un aumento súbito con un valor de 115.57 mL CO<sub>2</sub>/kg·h, comportamiento que podría atribuírsele al pico climatérico. Cabe resaltar que se consiguió retardar la aparición del pico climatérico 4 días con los tratamientos con absorbedores/temperaturas y 5 días en el control almacenado a 8±2°C al compararse con el control. El retardo en la aparición del pico climatérico puede atribuirse principalmente a la temperatura inicial de almacenamiento, ya que disminuyó los efectos del etileno (Azcón-Bieto, 2013), mientras que los frutos control y los tratamientos con absorbedor I, II sometidos a la temperatura 13±2°C (Fig. 6.1 C), presentaron el pico climatérico a los 7 días de almacenamiento. El control de 13±2°C presentó un valor de 179.22 mL CO<sub>2</sub>/kg ·h y los tratamientos con absorbedores I y II presentaron el punto máximo de producción de CO<sub>2</sub> a los 9 días de almacenamiento con valores de 362.35 mL CO<sub>2</sub>/kg·h y 173.83 mL CO<sub>2</sub>/kg·h, respectivamente. Los resultados obtenidos con los tratamientos con absorbedores coinciden con lo reportado por Salcedo (2014) para frutos de tomate en donde reportó que el KMnO<sub>4</sub> presente en los absorbedores oxida al etileno produciendo CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O lo cual genera un atmósfera que reduce la respiración al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub>, esto podría ser una posible explicación del atraso en la aparición del pico climatérico en comparación de



los frutos control  $13\pm 2^{\circ}\text{C}$  donde la temperatura ejerció la mayor influencia en la conservación de los frutos. Los resultados obtenidos en la VR pertenecientes a la temperatura  $18\pm 2^{\circ}\text{C}$  mostraron que tanto los frutos control (Fig. 6.1D) como los frutos tratados con absorbedores presentaron el pico climatérico en el día 6 de almacenamiento con valores de  $135.91 \text{ CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$ , para el control,  $166.8 \text{ CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$ , para el absorbedor I y  $144.67 \text{ CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$  para el absorbedor II, siendo la temperatura el factor que mayor influencia ejerció en la presentación del pico climatérico. El uso de temperaturas de refrigeración influye directamente en el proceso de maduración ya que las bajas temperaturas provocan que el metabolismo del fruto se ralentice, reduciendo la actividad respiratoria, impidiendo con esto la señalización de enzimas que se encargan del desarrollo degenerativo de los frutos (Mitchell, 1992., Lurie, 2002). Mientras que las temperaturas superiores acortan la vida de almacenamiento de los frutos como sucedió con la temperatura de  $18\pm 2^{\circ}\text{C}$  que solo consiguió mantenerlos frutos en almacenamiento 10 días para el control y 11 para los tratamientos con los absorbedores. En contraste la temperatura de  $8\pm 2^{\circ}\text{C}$  que consiguió mantener los frutos en almacenamiento durante 14 días. Por otro lado la temperatura de  $13\pm 2^{\circ}\text{C}$  consiguió mantener los frutos en almacenamiento por 13 días con el tratamiento absorbedor II, además se ha reportado que la  $12\pm 1^{\circ}\text{C}$  es la adecuada para almacenar los frutos enteros de yaca (Saxena, 2011).

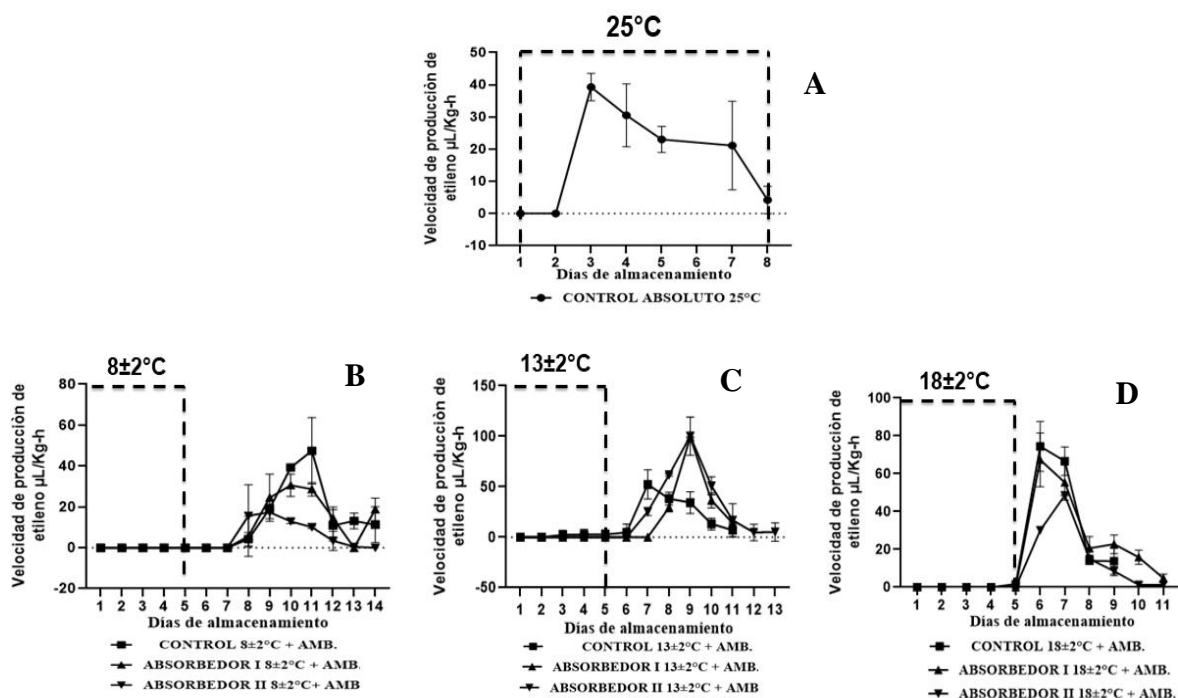
### **6.2 Estudio fisiológico de Velocidad de producción de etileno (VPE)**

Los resultados obtenidos de la velocidad de producción de etileno (Fig. 6.2 A-D), mostraron que los frutos pertenecientes al control absoluto almacenados a  $25^{\circ}\text{C}$  (Fig. 6.2 A) presentaron diferencias significativas con respecto a las demás temperaturas de almacenamiento, presentado el punto máximo de producción de etileno en el día 3 de almacenamiento con un valor de  $39.28 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$ , concurriendo con la máxima producción de  $\text{CO}_2$  en la velocidad de respiración, lo mismo sucedió para los frutos almacenados a  $13\pm 2^{\circ}\text{C}$

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

en donde las máxima producción de etileno (Fig. 6.2 C) para el control fue en el día 7 con un valor de  $52.34 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$  y para los tratamientos con absorbedores I y II se observaron en el día 9 de almacenamiento con valores de  $99.0788$  y  $100.218 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$  respectivamente, y nuevamente en los frutos almacenados a  $18\pm 2^\circ\text{C}$  (Fig. 6.2 D) en donde los frutos pertenecientes al control mostraron la máxima producción de etileno en el día 6 con un valor de  $74.45 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$  y en el tratamiento con absorbedor I de  $67.34 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$  mientras que el tratamiento con absorbedor II presento la máxima en el día 7, un día después de la máxima velocidad de respiración con un valor de  $48.5873 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$ , las coincidencias de los valores máximas en los mismos días en ambas determinaciones se deben a que el etileno juega un papel importante la maduración de los frutos y desencadena las reacciones que participan en la velocidad de respiración (Mata *et al.*, 2007). Dicho de otra forma la velocidad de respiración se eleva solo hasta que la producción de etileno se eleva esto debido a su naturaleza autocatalítica, y una vez que producción de etileno llega a su punto máximo conduce de manera irreversible al proceso de maduración. Sin embargo los frutos almacenados a  $8\pm 2^\circ\text{C}$  no presentaron estas coincidencias (Fig. 6.2 B) en los días presentando la máxima producción de etileno en el día 11 para control con un valor de  $47.94 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$ , mientras que el tratamiento absorbedor I lo obtuvo en el día 10 con valor de  $30.57 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$  y por el ultimo el valor del tratamiento con absorbedor II fue de  $15.65 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  en el día 8 de almacenamiento. El uso de temperaturas de refrigeración reduce la producción de etileno debido a que las enzimas sintetizadoras de etileno, el ácido 1-aminociclopropano carboxílico (ACC) oxidasa y la ACC sintasa, son sensibles a las bajas temperaturas y, a medida que la temperatura disminuye, se producirá menos etileno (Larrigaudiere *et al.*, 1997., Lurie, 2002). Con la disminución del etileno por parte del  $\text{KMnO}_4$  presente en los absorbedores (Wills y Warton, 2004) y las bajas temperaturas, es posible que todos los efectos que produce esta hormona durante la maduración y senescencia de los frutos se vean disminuidos, pues se elimina el etileno de la atmosfera circundante que se encarga de incrementar la maduración de los productos agrícolas y la producción autocatalítica de más

etileno, del mismo modo, la oxidación incrementa la concentración de CO<sub>2</sub>, compuesto que al parecer bloquea la síntesis de etileno endógeno.

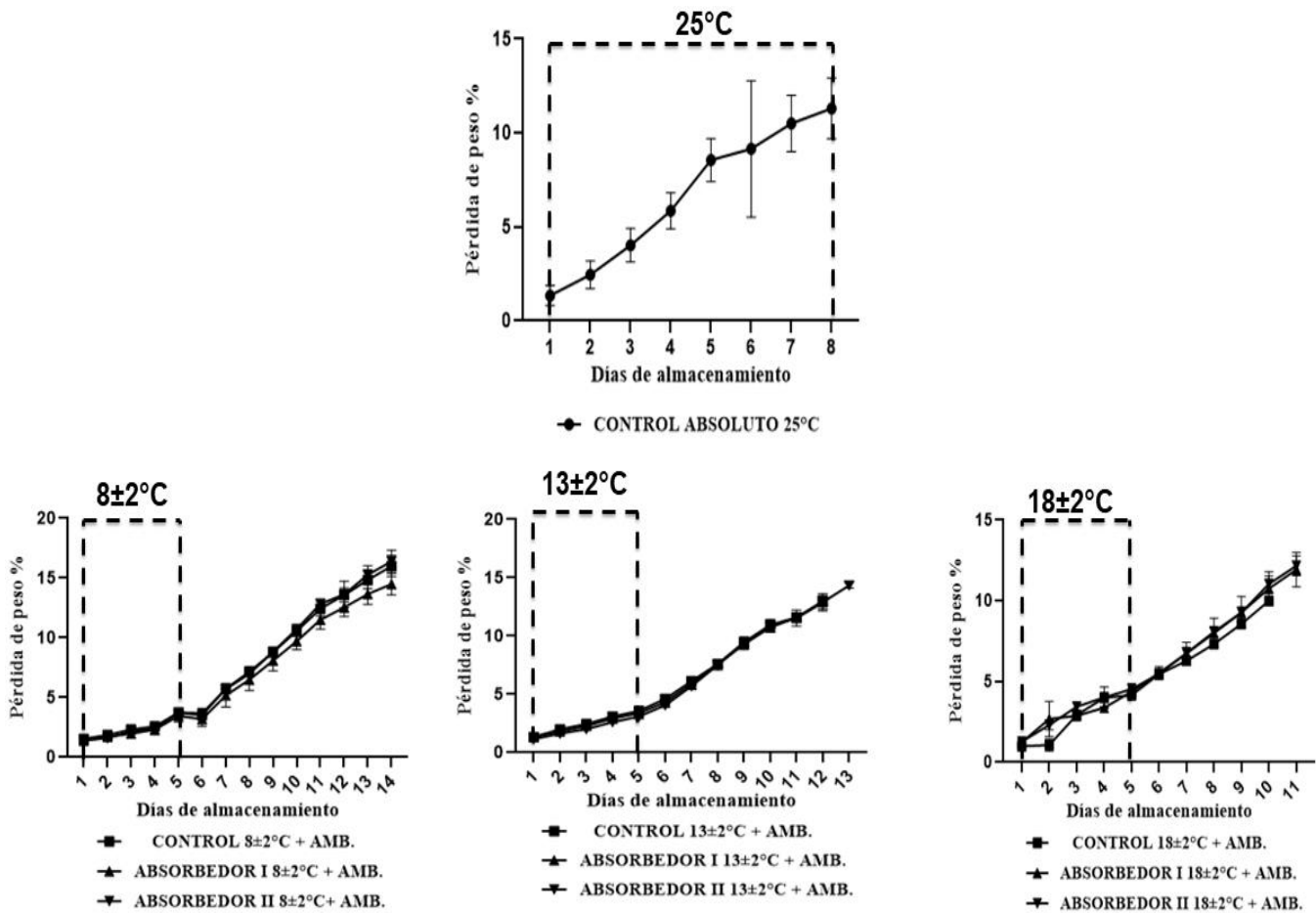


**Figura 6.2.** Velocidad de producción de etileno en los frutos de yuca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas de 25°C (A), 8±2°C (B), 13±2°C (C) y 18±2°C (D). La línea punteada representa el tiempo que los frutos permanecieron con la temperatura de almacenamiento.

### 6.3. Pérdida fisiológica de peso (%PFP)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

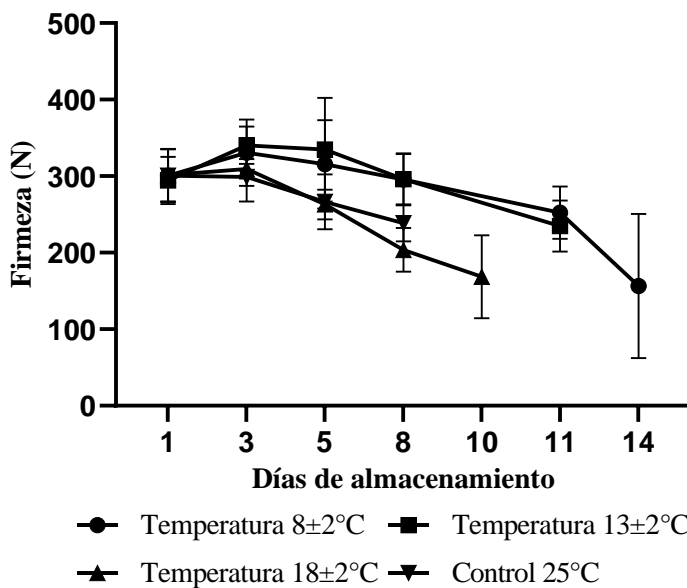
En la figura 6.3 A-C se muestran los resultados obtenidos para la pérdida fisiológica de peso (PFP) en los frutos enteros de yaca a sometidos a distintas temperaturas ( $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $13\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $18\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). No se observaron diferencia significativa en los valores de PFP entre los tratamientos con absorbedor I y II con respecto a los controles con temperatura de almacenamiento  $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $13\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ . De acuerdo con Martínez Olivo (2018), la pérdida fisiológica de peso está relacionada con la transpiración, la cual se manifiesta con la pérdida de agua en el fruto, cambios en el volumen y el peso. Las diferencias significativas existentes en la PFP entre el control absoluto almacenado a  $25^{\circ}\text{C}$  y los demás tratamientos, puede atribuir principalmente a las temperaturas de almacenamiento, los frutos al estar sometidos a temperaturas altas pierden mayor cantidad de agua por efecto de la transpiración (Azcón-Bieto y Talón, 2013) lo cual concuerda con el comportamiento de los frutos. Al finalizar la experimentación se obtuvieron valores de PFP cercanos a 12% a los 11 días de almacenamiento. Mata *et al.* (2007) reportaron valores similares de PFP en frutos de yaca tratados con 1-MCP a concentraciones de 100 y 300 nL·litro<sup>-1</sup>, almacenados a  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  de 12% aproximadamente a los 12 días de almacenamiento, con porcentaje final del 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 yuca, tratados con absorbentes de etileno y almacenados a temperaturas de 25°C (A), 8±2°C (B), 13±2°C (C) y 18±2°C (D). La línea punteada representa el tiempo que los frutos permanecieron con la temperatura de almacenamiento

## ETAPA II: ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS

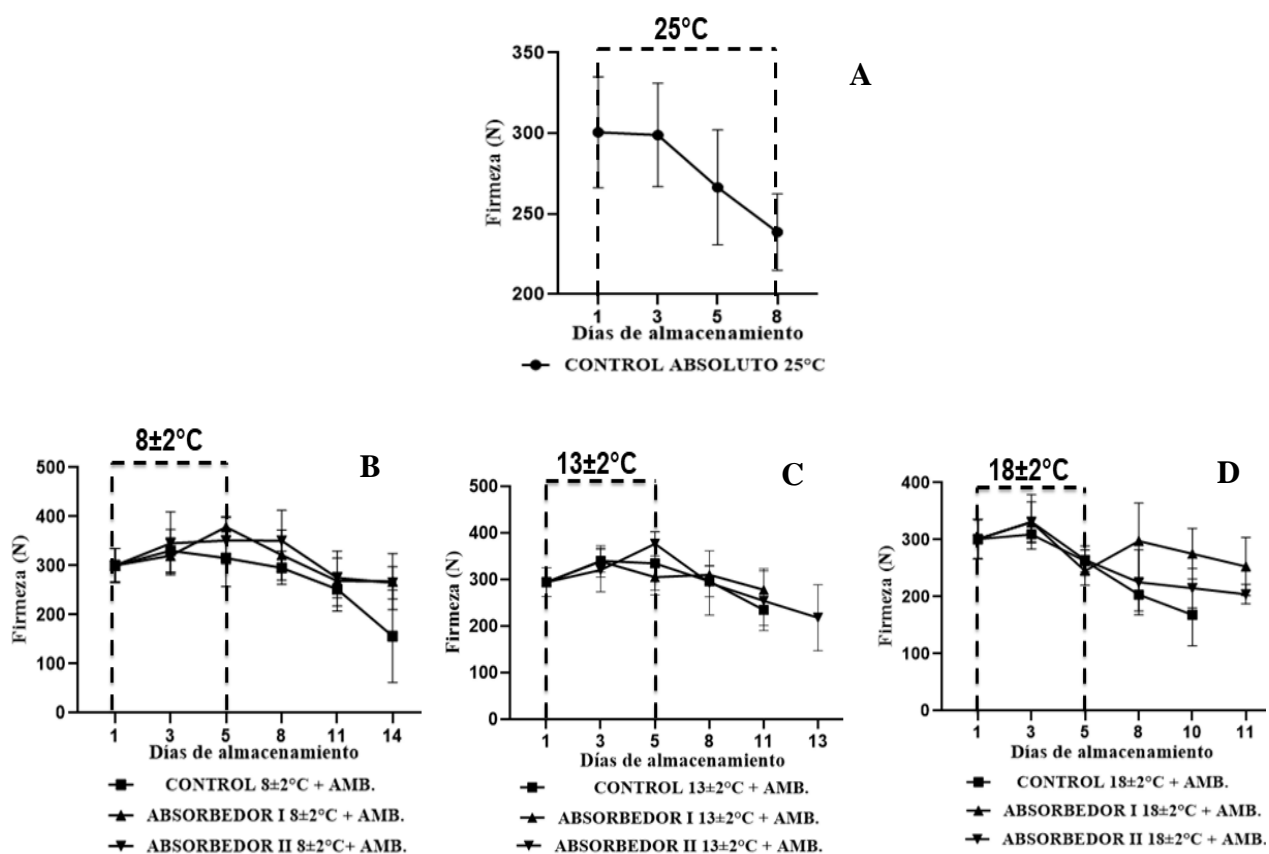
## 6.4. Evaluación de firmeza en el fruto entero



En la figura 6.4 A-D se muestra el comportamiento de la firmeza (N) en fruto entero de yaca a diferentes temperaturas de almacenamiento ( $8\pm 2$ ,  $13\pm 2$ ,  $18\pm 2$  y  $25\pm 2$  °C). Los tratamientos con absorbedor I y II se observaron diferencias significativas en los valores finales de firmeza mayores que los controles de 25 °C y el control del tratamiento correspondiente, los cuales fueron próximos a 280 N para los tratamientos con absorbedores, prolongando la firmeza de entre 5 a 6 días más con respecto del control absoluto. Esto se puede atribuir a un efecto de disminución en la respiración lo cual reduce la presencia de etileno en el fruto, con lo que se consigue una menor pérdida de firmeza, retrasando la degradación de los polisacáridos estructurales del fruto (Mártinez *al.*, 2017).

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La pérdida de firmeza generalmente es causada por la hidrólisis de almidón al azúcar y por la degradación de la pectina de la pared celular, que está asociada con la maduración de la fruta (Vargas *et al.*, 2016). Los valores más bajos de firmeza se presentaron en los frutos control a 18 °C, lo cual puede explicarse con el deterioro de la pectina y los azúcares presentes en la capa media de la célula, la cual es sensible al incremento en la temperatura y como resultado se obtiene la separación de las células al azúcar y por la degradación de la pectina de la pared celular, que está asociada con la maduración de la fruta (Vargas *et al.*, 2016). Los valores más bajos de firmeza se presentaron en los frutos control a 18 °C, lo cual puede explicarse con el deterioro de la pectina y los azúcares presentes en la capa media de la célula, la cual es sensible al incremento en la temperatura y como resultado se obtiene la separación de las células disminuyendo la firmeza. Mata y colaboradores reportan un retraso en la pérdida de firmeza de entre 8 a 12 días de fruto entero de yaca tratada con 1-MCP a concentraciones de 100 y 300 nl-litro<sup>-1</sup> almacenadas a 20±1°C debido al efecto del 1-MCP sobre la respiración del fruto



**Figura 6.4.** Pérdida de firmeza en los frutos enteros de yaca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas 25°C (A), 8±2°C (B), 13±2°C (C) y 18±2°C (D). La línea punteada representa el tiempo que los frutos permanecieron con la temperatura de almacenamiento

### 6.5. Evaluación de firmeza en los bulbos

En la figura 6.5A-D se muestran los valores de firmeza (N) en bulbos de yaca a diferentes temperaturas de almacenamiento (8±2, 13±2, 18±2 y 25°C). Se encontraron diferencia significativa en los tratamientos de 8±2°C y 13±2°C en las muestras con absorbedor II obteniendo los valores finales más altos de firmeza en bulbos, se observó un retraso en la pérdida de firmeza de 3 días aproximadamente con respecto del control absoluto. Lo cual se puede atribuir a la diferencia de temperatura de almacenamiento y a la implementación de absorbedores y su efecto sobre la respiración la cual al retardarse por la oxidación del permanganato, retarda la acción de la enzima poligalacturonasa sobre las pectinas disminuyendo así la pérdida de la firmeza (Salcedo, 2014).

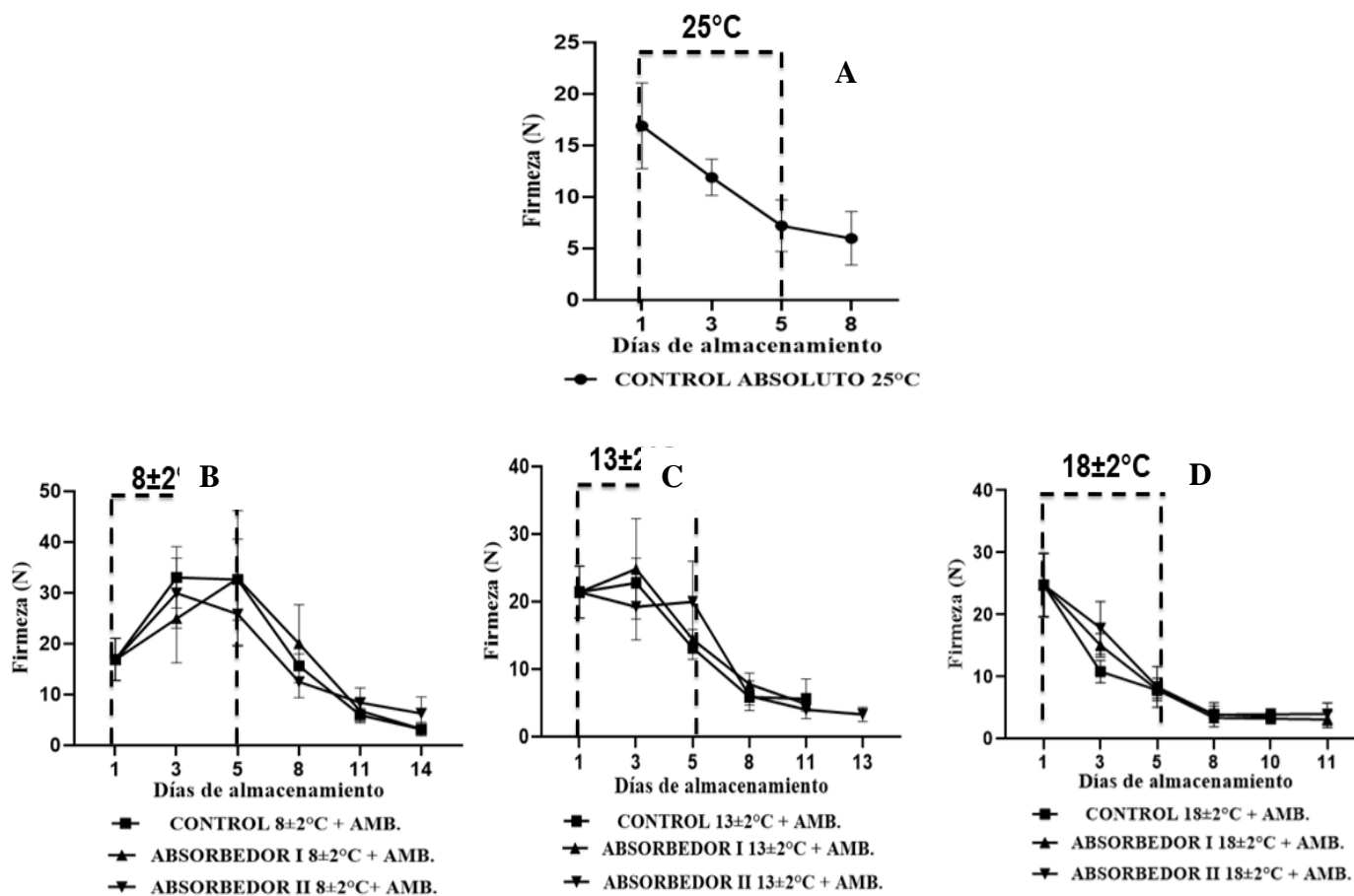
Vargas *et al.* (2017) reportan un retraso en la pérdida de firmeza, para bulbos sumergidos en 1-MCP a 1000 nl-litro<sup>-1</sup> y bulbos con 1-MCP a 1000 nl-litro<sup>-1</sup> combinados con un recubrimiento comestible de alginato de gellan o xantano almacenados a 5 °C. En otro estudio realizado por Mata *et al.*, 2007, con bulbos de yaca sin 1-MCP y concentraciones



## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de 100 y 300 nl-litro-1 de 1-MCP no encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en la firmeza de los bulbos. Indicando que la pérdida de la firmeza se retrasa pero al madurar los frutos se igualaron al tratamiento sin 1-MC, manteniéndose la misma calidad en los frutos tratados con 1-MCP.

Observando el comportamiento de los frutos en las tres temperaturas se observa que a mayor temperatura la firmeza en el bulbo disminuye lo cual podría explicar las diferencias con los resultados obtenidos por Vargas *et al.* (2017).



**Figura 6.5.A-C** Pérdida de firmeza en los bulbos de yaca, tratados con absorbedores de etileno y almacenados a temperaturas de 25°C (A), 8±2°C (B), 13±2°C (C) y 18±2°C (D).

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La línea punteada representa el tiempo que los frutos permanecieron con la temperatura de almacenamiento.

## 6.6. Parámetros fisicoquímicos de los bulbos de yaca

**Cuadro 6.1** Parámetros fisicoquímicos en los bulbos de yaca almacenados a  $8\pm 2^\circ\text{C}$ 

Días de almacenamiento	Control $25^\circ\text{C}$	Control $8\pm 2^\circ\text{C} + \text{Amb}$	Absorbedor I $8\pm 2^\circ\text{C} + \text{Amb}$	Absorbedor II $8\pm 2^\circ\text{C} + \text{Amb}$
Acidez titulable (% ácido cítrico)				
1	$0.17 \pm 0a$	$0.17 \pm 0a$	$0.17 \pm 0a$	$0.17 \pm 0a$
3	$0.45 \pm 0.15a$	$0.29 \pm 0.02b$	$0.26 \pm 0.03b$	$0.28 \pm 0.03b$
5	$0.32 \pm 0.07a$	$0.26 \pm 0.07a$	$0.25 \pm 0.05a$	$0.23 \pm 0.04a$
8	$0.25 \pm 0.08a$	$0.19 \pm 0.03a$	$0.27 \pm 0.04a$	$0.23 \pm 0.01a$
11		$0.36\pm 0.04b$	$0.39\pm 0.04b$	$0.39\pm 0.09b$
14		$0.24\pm 0.02b$	$0.32\pm 0.08b$	$0.49\pm 0.11c$
pH				
1	$5.88 \pm 0.18a$	$5.88 \pm 0.18a$	$5.88 \pm 0.18a$	$5.88 \pm 0.18a$
3	$4.73 \pm 0.07a$	$5.25 \pm 0.22b$	$5.49 \pm 0.14b$	$4.98 \pm 0.08ac$
5	$4.83 \pm 0.01a$	$4.89 \pm 0.08a$	$5.12 \pm 0.25a$	$5.25 \pm 0.12b$
8	$5.46 \pm 0.35a$	$5.53 \pm 0.22a$	$5.42 \pm 0.07a$	$5.49 \pm 0.21a$
11		$5.01\pm 0.11b$	$5.02\pm 0.12b$	$4.93\pm 0.32b$
14		$5.21\pm 0.01b$	$5.24\pm 0.19b$	$5.23\pm 0.1b$
Sólidos solubles totales				
1	$8.33 \pm 1.87a$	$8.33 \pm 1.87a$	$8.33 \pm 1.87a$	$8.33 \pm 1.87a$
3	$20.98 \pm 0.74a$	$11.5 \pm 0.21b$	$10.15 \pm 0.92b$	$11.88 \pm 3.43b$
5	$27.05 \pm 1.13a$	$13.38 \pm 0.25b$	$13.38 \pm 1.45b$	$14.55 \pm 3.54b$
8	$29.55 \pm 4.31a$	$17.85 \pm 3.04b$	$18.35 \pm 0.1b$	$18.78 \pm 1.31b$
11		$28.95\pm 0.64b$	$24.98\pm 2.79c$	$26.1\pm 1.7bc$
14		$26.63\pm 0.46b$	$28\pm 2.12b$	$25.9\pm 2.97b$
°Hue (h) Cáscara de la fruta				
1	$106.25 \pm 1.19a$	$106.25 \pm 1.19a$	$106.25 \pm 1.19a$	$106.25 \pm 1.19a$
3	$103.47 \pm 0.82a$	$104.16 \pm 0.41a$	$79.45 \pm 34.34a$	$99.52 \pm 5.17a$
5	$98.68 \pm 4.66a$	$102.14 \pm 2.27a$	$104.38 \pm 1.01a$	$103.09 \pm 0.25a$
8	$84.45 \pm 4.42a$	$88.42 \pm 5.77b$	$89.32 \pm 13.05ab$	$101.56 \pm 2.25bc$
11		$92.11\pm 4.96b$	$94.74\pm 2.89b$	$94.6\pm 4.04b$
14		$82.51\pm 7.4b$	$83.55\pm 6.01b$	$87.54\pm 5.3b$

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### °Hue (h) Bulbo

1	78.6 ± 9.44a	78.6 ± 9.44a	78.6 ± 9.44a	78.6 ± 9.44a
3	73 ± 6.17a	73.94 ± 2.63a	75.29 ± 3.74a	74.95 ± 2.71a
5	64.86 ± 2.27a	71.17 ± 1.15a	71.71 ± 1.24a	72.55 ± 3.06a
8	64.06 ± 1.76a	73.75 ± 4.47b	73.27 ± 0.06b	73.23 ± 1.48b
11		67.77±0.7b	67.22±0.51b	68.93±3.02b
14		69.96±0.87b	69.9±3.52b	68.53±0.7b

Los valores son presentados con su media ± su desviación estándar. Las letras representan el efecto de los tratamientos. Los valores de las columnas que no comparten las mismas letras minúsculas son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ).

Los resultados obtenidos en el cuadro (6.1) pertenecientes a los frutos almacenados a  $8\pm 2^{\circ}\text{C}$  mostraron un retardo en proceso de maduración tal como se presentó en los resultados obtenidos en la velocidad de respiración y producción de etileno. Se pudo observar que el control almacenado a  $25^{\circ}\text{C}$  presento valores para frutos maduras a los 3 día de alacenamiento, concidiendo con el día que se presento la máxima velocidad de repiracion y produccion de etileno, mientras que los frutos control almacenados a  $8\pm 2^{\circ}\text{C}$  y los frutos con los tratamientos con absorbedores I y II, presentaron valores para frutos maduros aparir de los 11 dias de almacen, confirmando que existió un retraso en el proceso de maduración de los frutos, cabe mencionar que los frutos con tratamiento con absorbedor II presentaron una tendencia a conservar las caracterisicas de caldiad que el control a  $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

El cuadro (6.2) presenta los valores obtenidos de los paramentros fisicoquímicos en los frutos almacenados a  $13\pm^{\circ}\text{C}$  donde se pudo observar, que el retardo en la maduración fue más lento que los frutos alamcenadosa  $25^{\circ}\text{C}$ . El control almacenado a  $13\pm^{\circ}\text{C}$  presentaron valores para frutos maduros a partir del dia 5 de alamcen, mientras que los frutos con los tratamientos con absorbedor I y II, presentaron valores inferiores en este mismo dia. Los valores presentados en el cuadro (6.2) coinciden con lo encontrado en los estudios

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

fisiológicos de velocidad de respiración y velocidad de producción de etileno presentado un retardo en el proceso de maduración.

**Cuadro 6.2** Parámetros fisicoquímicos en los bulbos de yaca almacenados a  $13\pm 2^\circ\text{C}$

Días de almacenamiento	Control $25^\circ\text{C}$	Control $13\pm 2^\circ\text{C} + \text{Amb}$	Absorbedor I $13\pm 2^\circ\text{C} + \text{Amb}$	Absorbedor II $13\pm 2^\circ\text{C} + \text{Amb}$
Acidez titulale (%ácido cítrico)				
1	$0.17 \pm 0a$	$0.14 \pm 0.01a$	$0.14 \pm 0.01a$	$0.14 \pm 0.01a$
3	$0.45 \pm 0.15a$	$0.27 \pm 0.0b$	$0.29 \pm 0.08b$	$0.42 \pm 0.17ac$
5	$0.32 \pm 0.07a$	$0.51 \pm 0.15b$	$0.43 \pm 0.02ab$	$0.44 \pm 0.12b$
8	$0.25 \pm 0.08a$	$0.32 \pm 0.04a$	$0.34 \pm 0.02$	$0.28 \pm 0.06a$
11		$0.33 \pm 0.01b$	$0.34 \pm 0.05b$	$0.32 \pm 0.03b$
13				$0.4 \pm 0.1a$
pH				
1	$5.88 \pm 0.18a$	$6.03 \pm 0.04a$	$6.03 \pm 0.04a$	$6.03 \pm 0.04a$
3	$4.73 \pm 0.07a$	$4.80 \pm 0.05a$	$4.96 \pm 0.17ab$	$4.59 \pm 0.25c$
5	$4.83 \pm 0.01a$	$4.46 \pm 0.26b$	$4.61 \pm 0.1b$	$4.59 \pm 0.05b$
8	$5.46 \pm 0.35a$	$4.90 \pm 0.07b$	$5.02 \pm 0.1b$	$5.18 \pm 0.13bc$
11		$5.17 \pm 0.03b$	$5.23 \pm 0.01b$	$5.14 \pm 0.05b$
13				$5.35 \pm 0.02a$
Solidos solubles totales				
1	$8.33 \pm 1.87a$	$8.3 \pm 0.07a$	$8.3 \pm 0.07a$	$8.3 \pm 0.07a$
3	$20.98 \pm 0.74a$	$13.32 \pm 0.03b$	$14.35 \pm 2.05b$	$17.75 \pm 4.45bc$
5	$27.05 \pm 1.13a$	$24.30 \pm 1.27a$	$19.46 \pm 0.79b$	$22.03 \pm 2.02b$
8	$29.55 \pm 4.31a$	$30.12 \pm 2.93a$	$25.1 \pm 0.99b$	$28.55 \pm 0.07a$
11		$26.85 \pm 1.34b$	$26.98 \pm 2.16a$	$27.65 \pm 0.07b$
13				$26.6 \pm 0.26a$
°Hue (h) Cascara de la fruta				
1	$106.25 \pm 1.19a$	$106.69 \pm 0.41a$	$106.69 \pm 0.41a$	$106.69 \pm 0.41a$
3	$103.47 \pm 0.82a$	$104.37 \pm 0.94a$	$106.57 \pm 0.15a$	$105.67 \pm 0.88a$
5	$98.68 \pm 4.66a$	$102.27 \pm 3.14a$	$105.69 \pm 0.28b$	$105.99 \pm 0.29ab$
8	$84.45 \pm 4.42a$	$68.25 \pm 3.15b$	$100.2 \pm 0.05c$	$99.82 \pm 0.3c$
11		$85.89 \pm 3.65b$	$95.08 \pm 0.1c$	$94.71 \pm 0.44c$
13				$83.38 \pm 0.91a$

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

	°Hue (h) Bulbo			
1	$78.6 \pm 9.44a$	$69.1 \pm 1.3b$	$69.1 \pm 1.3b$	$69.1 \pm 1.3b$
3	$73 \pm 6.17a$	$70.04 \pm 0.73a$	$68.84 \pm 1.79$	$74.69 \pm 0.43ab$
5	$64.86 \pm 2.27a$	$70.79 \pm 0.21b$	$72.9 \pm 1.61b$	$71.75 \pm 2.18b$
8	$64.06 \pm 1.76a$	$68.25 \pm 0.96a$	$67.34 \pm 0.34a$	$66.77 \pm 0.69a$
11		$63.5 \pm 2.35b$	$67.09 \pm 0.19b$	$64.73 \pm 0.21b$
13				$67.88 \pm 0.6a$

---

Los valores son presentados con su media  $\pm$  su desviación estándar. Las letras representan el efecto de los tratamientos. Los valores de las columnas que no comparten las mismas letras minúsculas son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ).

Los valores de acidez titulable (AT%) aumentaron durante el tiempo de almacenamiento (cuadro 6.1-6.3). Saxena (2011), reportó valores de ácido cítrico a lo largo del proceso de maduración de los bulbos de yaca obteniendo valores de 0.3-0.9% de ácido cítrico, por lo que los valores obtenidos en nuestra investigación están dentro de los parámetros en todos los tratamientos. Además Fonseca *et al.* (2002), explican que existe una disminución de los ácidos orgánicos durante la maduración de la fruta, la cual se debe a que estos actúan como un sustrato respiratorio y como un esqueleto de carbono para el nuevo compuesto durante la maduración. Sin embargo otros autores reportan un aumento en la AT% como es el caso de Espinoza *et al.* (2010) que encontraron un aumento en la acidez titulable en frutos de guanábana (*Annona muricata* L.) la razón del aumento en los valores de AT% en la fruta almacenada se la atribuyeron a que durante la maduración el ácido cítrico se triplicó entre los días 3 y 4 posteriores a la cosecha, este comportamiento concuerda con lo sucedido con los valores resultantes de la acidez titulable en los frutos de yaca.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 6.3 Parámetros fisicoquímicos en los bulbos de yaca almacenados a 18±2°C

Días de almacenamiento	Control 25°C	Control 18±2°C + Abm	Absorbedor I 18±2°C + Abm	Absorbedor II 18±2°C + Abm
Acidez titulale (% ácido cítrico)				
1	0.17 ± 0a	0.16±0.05a	0.16±0.05a	0.16±0.05a
3	0.45 ± 0.15a	0.72±0.32b	0.52±0.16b	0.54±0.17b
5	0.32 ± 0.07a	0.64±0.15b	0.59±0.08b	0.57±0.2b
8	0.25 ± 0.08a	0.34±0.08a	0.38±0.01a	0.31±0.06a
10		0.39±0.04a		
11			0.42±0.08a	0.44±0.02a
pH				
1	5.88 ± 0.18a	5.81±0.09a	5.81±0.09a	5.81±0.09a
3	4.73 ± 0.07a	4.57±0.25a	3.8±0.2a	4.56±0.23a
5	4.83 ± 0.01a	4.54±0.11a	4.63±0.08a	4.73±0.52a
8	5.46 ± 0.35a	5.02±0.09b	5.07±0.04b	5.1±0.04b
10		5.16±0.02a		
11			5.00±0.03a	5.33±0.04a
Solidos solubles totales				
1	8.33 ± 1.87a	8.9±1.58a	8.9±1.58a	8.9±1.58a
3	20.98 ± 0.74a	22.85±0.06a	18.53±2.34a	21.85±1.71b
5	27.05 ± 1.13a	30.15±1.01b	26±1.27ab	28.3±3.75b
8	29.55 ± 4.31a	28.1±2.3a	28.88±1.47a	26.78±0.9a
10		28.4±1.24a		
11			30.53±2.63a	30±0.28a
°Hue (h) Cascara de la fruta				
1	106.25 ± 1.19a	107.51±1.77a	107.51±1.77a	107.51±1.77a
3	103.47 ± 0.82a	105.23±0.61a	105.94±1.05a	103.23±4.59a
5	98.68 ± 4.66a	101.7±0.64a	101.86±0.04a	104.6±3.77a
8	84.45 ± 4.42a	88.97±0.9a	86.48±0.53a	87.68±0.94a
10		83.11±0.25a		
11			80.65±1.87a	77.38±7.91a

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

		°Hue (h) Bulbo		
1	78.6 ± 9.44a	73.02±0.39b	73.02±0.39b	73.02±0.39b
3	73 ± 6.17a	67.89±0.31b	68.79±0.92b	77.89±5.95c
5	64.86 ± 2.27a	68.09±0.04a	66.02±0.87a	73.96±6.2ab
8	64.06 ± 1.76a	64.69±1.49a	63.39±0.4a	63.03±1.7b
10		61.72±1.33a		
11			63.39±1.19a	63.16±0.26a

---

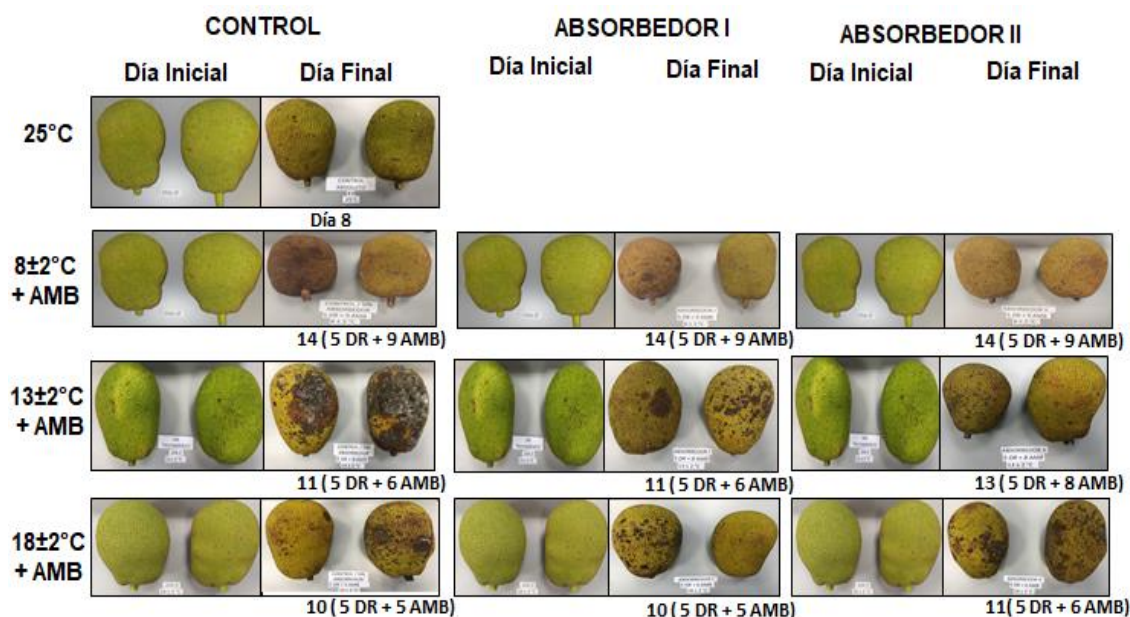
Los valores son presentados con su media ± su desviación estándar. Las letras representan el efecto de los tratamientos. Los valores de las columnas que no comparten las mismas letras minúsculas son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ).



## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de pH, mostraron una disminución durante los días de almacenamiento, tanto con los controles y los tratamientos con absorbedores sin que las diferentes temperaturas de refrigeración afectaran. Cabe mencionar que valores bajos de pH puede significar que existió un retardo en la maduración, lo que puede atribuirse a los efectos de la temperatura de los primeros 5 días de almacenamiento y a los tratamientos con absorbedores de etileno. Souza *et al.* (2011), reportaron parámetros de pH para frutos maduros de yaca en un rango de 4.8 y 5.88, los cuales resultan cercanos a los valores obtenidos en el día 8 y 11 en las tres temperaturas, sin embargo es importante mencionar que su óptimo estado de maduración y los criterios de calidad durante la cosecha no han sido claramente definidos puesto dependerán de la fisiología y composición química de cada variedad (Saha *et al.*, 2016). Existe una relación inversamente proporcional entre la disminución de la acidez titulable y el aumento en el pH, si esta relación se cumple se garantiza la calidad en la maduración de los frutos, en cambio si lo que se busca es retardar los procesos de maduración utilizando tratamientos poscosecha, estos dos parámetros tendrán que permanecer el mayor tiempo posible sin cambio, es decir en el caso de la acidez titulable con valores que no disminuyan súbitamente y en el caso del pH que permanezca constante, con valores que no aumenten rápidamente durante el almacenamiento. Por último los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Espinoza *et al.* (2010) donde observaron un disminución del pH en frutos de guanábana (*Annona muricata* L.), la disminución de los valores de pH en estos frutos se la atribuyeron a una acumulación de iones  $H^+$  debido a la mayor cantidad de ácidos orgánicos suplementarios que se pueden encontrar en forma no ionizada, y cuando se liberan de la vacuola, permanecen en el citoplasma y se miden como los iones  $H^+$  libres en la del fruto (Gutiérrez *et al.*, 1994; Espinoza *et al.*, 2010). Esto podría ser una posible explicación del comportamiento del pH durante la experimentación con frutos de yaca. Los resultados obtenidos de los valores en los sólidos solubles totales (SST), no mostraron diferencias significativas entre los controles y los tratamientos con absorbedores sin importar las temperaturas de almacenamiento. Los SST fueron aumentando progresivamente durante los

días de almacenamiento, lo cual demuestra que las temperaturas y el uso de los absorbedores permitieron que la maduración de los frutos se llevara a cabo sin alteraciones en los parámetros de calidad de las yacas tratadas. Según Souza *et al.* (2011); los SST para frutos maduros de yaca se encuentran entre 20-35 °Brix. Bhutia *et al.* (2011) reportaron un menor valor SST lo cual se debió según los autores a una menor producción de etileno bajo la presencia de KMnO<sub>4</sub>. El color (Figura 6.4) en la cáscara de los frutos no presentó diferencias significativas con respecto a ningún tratamiento. Sin embargo durante los días de almacenamiento el color verde claro, fue cambiando a verde oscuro y en los se últimos días de almacenamiento a verde con tonos marrones, ésto debido principalmente a la degradación de la clorofila, la molécula de clorofila se hidroliza a clorofilida y fitol por la acción de la enzima clorofilasa, seguida de un reemplazo del átomo de Mg con hidrógeno que resulta en la formación de color parduzco (Kanayama y Kochetov 2015).



**Figura 6.6.** Cambio de color de en las cáscara de los frutos enteros de yaca durante su almacenamiento.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los bulbos presentaron un cambio de color paulatino conforme el paso del tiempo de almacenamiento (Figura 6.5), de tonos amarillos pálidos a colores amarillo-naranjas y nuevamente no se presentaron diferencias significativas con respecto a las temperaturas de refrigeración, los cambios en el color de los bulbos se desarrollan gracias a un proceso de degradación de la clorofila que se sintetizan carotenoides, como el  $\beta$ -caroteno (precursor de la vitamina A). Cabe mencionar que no se observó daño por frío con ninguna temperatura de refrigeración ni en los frutos enteros ni en los bulbos.



**Figura 6.7.** Cambio de color de en bulbos de los frutos de yaca durante su almacenamiento.

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Las velocidades de respiración y de producción de etileno disminuyeron con el uso de las temperaturas de refrigeración, por lo que lograron prolongar la vida útil de los frutos enteros de yaca, siendo la temperatura de  $8\pm 2^{\circ}\text{C}$  la que consiguió mantener los frutos por 14 días (5 DR + 9 AMB) en almacenamiento, además de presentar un efecto positivo al mantener las características organolépticas de calidad especialmente en el tratamiento con absorbedor II, de igual forma la temperatura de  $13\pm 2^{\circ}\text{C}$  en conjunto con el tratamiento con absorbedor II, postergó la vida de almacenamiento a 13 días, conservando la calidad del fruto, por último, los frutos almacenados a la temperatura de  $18\pm 2^{\circ}\text{C}$  permanecieron 11 días en almacenamiento con el uso de absorbedores.

Las temperaturas de refrigeración y los tratamientos con absorbedores no mostraron alteraciones en los parámetros fisicoquímicos (acidez titulable, pH, sólidos solubles totales, color en cáscara y bulbos) permitiendo el desarrollo de los frutos.

## CAPÍTULO 8. REFERENCIAS

- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL 2005, 18th ed. AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD, USA.
- Ahmad, M .S. y Siddiqui, M. W. 2015. Factors affecting postharvest quality of fresh fruits: Practical Approaches for Developing Countries. Capítulo 2. En: Postharvest Quality Assurance of Fruits. (Ed.). Springer International Publishing. pp: 7-30.
- Alleyne, V., Hagenmaier, R. D. 2000. Candelilla shellac: an alternative formulation for coating apples. *HortScience*, 35(4), 691–693.
- Álvarez, I. G. 2018. Yaca Características, Cultivo, Propiedades, Beneficios Árbol, fruta. Retrieved April 4, 2018, from <https://www.flores.ninja/yaca/>
- APAARI. 2012. *Jackfruit Improvement in the Asia-Pacific Region – A Status Report*. Asia-Pacific Association of Agricultural Research Institutions, Bangkok, Thailand. pp:182.
- Arias Velázquez, C. J., y Toledo Hevia, J. 2007. Manual De Manejo Poscosecha De Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación (FAO)*, 1, 50.
- Azad, A.K. 2000 *Genetic diversity of jackfruit in Bangladesh and development of propagation methods*. Ph.D. Thesis, University of Southampton. UK.
- Azcón-Bieto, J., Talón, M. 2013. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Segunda Edición. McGraw- Hill Interamericana de España, S.L., Barcelona., España. pp: 445–452.
- Bai, J., y Hagenmaier, R. D Baldwin, E. A. 2003. Coating selection for “Delicious” and other apples. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 381–390.
- Baldwin, E. A., Burns, J. K., Kazokas, W., Brecht, J. K., Hagenmaier, R. D., Bender, R. J., y Pesis, E. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability

- characteristics on mango (*Mangifera indica L.*) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 17(3), 215–226.
- Bapat, V. A., Trivedi, P. K., Ghosh, A., Sane, V. A., Nath, P., y Ganapathi, T. R. 2010. Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnol. Adv.*, 28, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.10.00>
- Ben-Abda, J., y Martínez-Jávega, J. M. 1999. Efecto de recubrimientos céreos sobre la calidad de mandarina cv. Fortune en la comercialización directa y frigoconservación. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 1(2), 142–149.
- Bhutia, W., R. Pal, S. Sen y S. Jha. 2011. Response of different maturity stages of sapota (*Manilkara achras*) cv. Kallipatti to in-package ethylene absorbent. *J. Food Sci. Technol.* 48(6), 763-768.
- Carrillo, L. A., Ramírez, B. F., Valdez, T. J. B., Rojas, V. R., yYahia, E. M. 2000. Ripening and quality changes in mango fruit as affected by coating with an edible film. *Journal of Food Quality*, 23, 479–486.
- Cervantes E. 2002. Ethylene: new interactions, still ripening. *Trends in plant science*, 7(8): 334-335.
- Chanda, I., Chanda, S. R., yDutta, S. K. 2009. Anti-inflammatory activity of a protease extracted from the fruit stem latex of the plant *Artocarpus heterophyllus* Lam. *Research Journal of Pharmacology and Pharmacodynamics*, 1, 70–72.
- Chaves. 2009. Uso de permanganato de potasio en La sugar apple post-cosecha conservación uso de post-cosecha de frutas de chirimoya, 8122.
- Crane, J. H., y Balerdi, C. F. 2000. *La yaca en Floridación. Departamento de Horticultural Sciences, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida*. Florida.
- Fonseca SC, Oliveira FA, Brecht JK 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages - a review. *Journal of Food Engineering* 52(2): 99-119.
- García-Robles, J. M., Quintero-Ibarra, M., Mercado-Ruiz, J. N., y Báez-Sañudo, R. (n.d.).

- Conservación poscosecha de melón cantaloupe mediante el uso de cera comestible y 1-metilciclopropeno. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 17(1), 79–85.
- Guan, J., Hu, M., Shen, C., Zhou, S., Cheng, Y., He, J., 2015. Effects of 1-methylcyclopropene on active composition in fruits. In: Preedy, V. (Ed.), *Processing and Impact on Active Components in Food*. Academic Press, London, UK, pp.:133–137.
- De Azevedo, H.M.C., 2012. Edible coatings. In: Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N. (Eds.), *Advances in Fruit Processing Technologies*. CRC Press, Boca Raton, FL,USA, pp.: 345–361.
- Deltatrak Mexico Absorbentes de Etileno Absorbentes de Etileno Reparación de Aire Absorbedores de Etileno - Deltatrak Mexico. 2018, pp.: 2–5.
- Espinosa, I. 2010. Efecto de la aplicación poscosecha de 1-MCP sobre la conservación de Guanábana refrigerada. Tepic : ITT. Tesis para obtener el grado de MC.
- Gomez, C.K.C. 2016. Fomentan cultivo y exportacion de yaca nayarita. CONACYT, agencia informativa. From [www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/economia/8275-odt-4577-catarina-ex-pasaporte-de-exporacion-para-yaca-nayarita-reportaj](http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/economia/8275-odt-4577-catarina-ex-pasaporte-de-exporacion-para-yaca-nayarita-reportaj).
- Goswami, C., Hossain, M. A., Kader, H. A., & Islam, R. 2011. Assessment of physicochemical properties of jackfruit's (*Artocarpus heterophyllus* Lam) pulp. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15, 26–31.
- Gunasena, H. P. M., Ariyadasa, K.P. Wikramasinghe, A., Herath, H. M. W., y Wikramasinghe, P. Rajasearuna, S. B. 1996. Manual of Jack cultivation in Sri Lanka. *Forestry Information Service*, 48.
- Hagenmaier, R. D., y Baker, R. A. 1995. Layers coatings to control weight loss and preserve gloss of citrus fruit. *HortScience*, 30, 296–298.
- Haq, N., y Hughes, A. 2002. *Fruits for the Future in Asia*. ICUC.

- Haq, N. 2006. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). In J. T. Williams, R. W. Smith, y Z. Hernández-Lauzardo, A. N.; Hernández-Martínez, M.; Velázquez del Valle, M. G.; Guerra-Sánchez, M. G. y Melo-Giorgana, G. E. 2007. Actividad Antifúngica del Quitosano en el Control de *Rhizopus stolonifer* (ehrenb.:fr.) Vuill. y *Mucor* spp. *Revista Mexicana de Fitopatología*, Vol. 25, número 002. Pp. 109-113.
- Dunsiger (Eds.), Tropical fruit trees. Southampton, UK: Southampton Centre for Underutilised Crops, University of Southampton.
- IICA. 2012. Módulo 2. In IIC4 (Ed.), *Poscosecha y Buenas Practicas de Produccion* (2da edicio, pp. 5–9). Intituto Internacional de Coperacion Para la Agricultura.
- Jiang T., Wang P., Yin X., Zhang B., Xu C., Li X., Chen K. 2011. Ethylene biosynthesis and expression of related genes in loquat fruit at different developmental and ripening stages. *Scientia Horticulturae*, 130(2): 452-458.
- Jiang, Y., y Fu, J. 2000. Ethylene regulation of fruit ripening: Molecular aspects. *Plant. Growth Regul*, 30, 193–200. <https://doi.org/10.1023/A:1006348627110>.
- Kader, A. A. 2011. *Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas - Google Libros*. (A. A. Kader, Ed.) (3rd ed.). California: Postharvest Technology of Horticultural Crops. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=x62K8WyywAt4C&pg=PA50&dq=temperatura+de+refrigeración+para+yaca&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjbgvKc3aPaAhWK21MKHXwSCSIQ6AEIJzAA#v=onepage&q=temperatura de refrigeración para yaca&f=false>.
- Kanayama Y, Kochetov A 2015. Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants, Springer Japan, pp 101-103
- Kesari, R., Trivedi, P., y Nath, P. 2007. Ethylene-induced ripening in banana evokes expression of defense and stress related genes in fruit tissue. *Postharv. Biol. Technol.*, 46, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.04.010>.



- Khan, R., Zerega, N., Hossain, S., y Zuberi, M. I. 2010. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) Diversity in Bangladesh: Land use and artificial selection. *Economic Botany*, 64(2), 124–136.
- Lee, S. Y., Lee, S. J., Choi, D. S., y Hur, S. J. 2015. Current topics in active and intelligent food packaging for preservation of fresh foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(14), 2799–2810. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7218>
- López, E., Salamanca, H., y García, C. 2014. Etileno y retardantes en la maduración en. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302–313. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3222>
- López, V., y Cansino, C. 2015. Optimización del néctar de yaca (*artocarpus heterophyllus*). *Revista de Educación Y Salud Del ICESA*, 4(7), 62.
- Love, K., y Paull, R. E. 2011. Jackfruit. *Fruit, Nut and Beverage Crops, 1999*, 7. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10125/33296>
- Love, K., Paull, R. E., Tropical, H., y Growers, F. 2011. Jackfruit 1, (June), 1–7.
- Luna Esquivel G.; Alejo Santiago.; Ramirez Guerrero L.G., A. G. M. D. L. C. 2012. La Yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam. *Unidad Académica de Agricultura de La Universidad Au- Tónoma de Nayarit, Km, XX*, 65–70.
- Lurie, S. 2002. Temperature management. Capítulo 5. En: *Fruit Quality and its Biological Basic*. Knee, M. (Ed.) Sheffield Academic Press. Ohio, USA. pp.:107-120.
- Mata-Montes De Oca, M., Osuna-García, J. A., Hernández-Estrada, ; A, Ochoa-Villarreal; M, y Tovar-Gómez, ; B. 2007. Efecto Del 1-Metilciclopropeno (1-Mcp) Sobre La Fisiología Y Calidad De Frutos De Yaca (*Artocarpus Heterophyllus* Lam.). *Revista Chapingo Serie Horticultura Aceptado*, 13(2), 165–17027.
- Martínez , M., Balois, R., Alia, I., Cortés, M., Palomino, Y., & López, G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración, ablandamiento y control transcripcional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4089-4101.

- Mathur, P.B., Singh, K.K. and Kapur, N.S. 1952 Cold storage of jackfruit. *J. Indian. Soc. Refrig. Engineers* 3(1):40-46.
- Mawatha, J. 2011. Prolongar la vida poscosecha de papaya mediante envasado en atmósfera modificada, 7(2), 507–518.
- Meza Velázquez, J. A. M. V. C. 2013. Aplicación de hidrogenofriamiento y una cubierta de polímero al melón cantaloupe para disminuir su tasa de respiración y actividad enzimática. Tesis como requisito parcial para obtener el grado de Doctorado en Ciencias con Acentuación en Alimentos. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León., Mexico.
- Monique, S., Simmonds, J., y Preedy, V. 2015. *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=r4bVBQAAQBAJ&oi=fnd&p>
- Muratalla-Lúa, A. ., Jaen-Contreras, D., y Arévalo-Galarza, L. 2013. La producción de frambuesa y zarzamora en México. *Agroproductividad*, 6(5): 3–12.
- Owino, W. O., y Ambuko, J. 2016. *Advances in Ethylene Signal Transduction in Fruits and Vegetables. Postharvest Ripening Physiology of Crops*.
- Ozdemir, M., y Floros, J. D. 2004. Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3):185–193.
- Pareek, S. 2016. *Postharvest Ripening Physiology of Crops Sunil Pareek*. (S. Pareek, Ed.) (Taylor y F). Kundli, Sonapat, Haryana, India.
- Petracek, P. D., Hagenmaier, R. D., y Dou, H. 1999. Waxing effects on citrus fruit physiology. *Advances in Postharvest Diseases and Disorders Control of Citrus Fruit*, Trivandrum, India, Research Signpost Publishing, pp.:471-492.
- Piña-Dumoulin, G., Quiroz, J., Ochoa, A., y Magaña-Lemus, S. 2010. Caracterización físico-química de frutas frescas de cultivos no tradicionales en Venezuela I: La yaca. *Agronomía Tropical*, 64(2), 124–136.
- Potter, N., y Hotchkiss, Y. J. 1995. Ciencia de los Alimentos. Quinta Edición. Aspen

- Publishers, Inc. Zaragoza., España. pp.:101-140.
- Pushpakumara, D. K. N. G. (2006). Foral and fruit morphology and phenology of *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae). *Sri Lankan J. Agric. Sci.*, 43(June), 82–106.
- Ramírez, A. 2010. Efecto del 1-Metilciclopropeno sobre la producción de etileno y algunos parámetros fisicoquímicos en mango (*Mangifera indica* L.) CV. Ataulfo. Tesis de Maestría en Ciencias de Alimento. Instituto Tecnológico de Tepic. Tepic, Nayarit., México.
- Saha, M. G., Islam, M. N., & Molla, M. M. 2016. Determination of harvest maturity of jackfruit. *Bangladesh Society for Horticultural Science*, 2, 23–36.
- Saxena, A., Bawa, A. S., & Raju, P. S. 2011. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.). In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (pp. 275–283). Cambridge: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133156898>.
- Sen, C., Hn, M. 2012. Una revisión sobre el control de la maduración y la extensión de la vida útil del platano, 3(9), 122–132.
- Sargent S.A., Ritenour M.A. and Brecht J.K. 2000. Handling, cooling, and sanitation techniques for maintaining postharvest quality (en línea). University of Florida, Cooperative Extension Service, HS719. Disponible en <http://edis.ifas.ufl.edu/CV115>.
- SIAP. 2016. Jackfruit. Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/229919/Boletin\\_de\\_exportaciones\\_jackfruit\\_2017\\_06.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/229919/Boletin_de_exportaciones_jackfruit_2017_06.pdf)
- SIAP. 2017. Jackfruit, yaca ¿la conoces? Retrieved April 2, 2018, from <https://www.gob.mx/siap/articulos/jackfruit-yaca-la-conoces?idiom=es>
- Singh, K. 1972 *Farm Information Bull.* 71, Directorate of Extension, Government of India, New Delhi, cited by Ghosh (1996)
- Soepadmo, E. 1992. *Artocarpus heterophyllus* Lam. In E. Soepadmo (Ed.), *Verheij EWM and Coronel RE* (2nd ed., pp. 86–91). Wageningen, Netherlands: Plant Resources of

Southeast Asia.

Souza, M. A., Bonomo, R. C., Fontan, R. C., Minim, L. A., & Coimbra, J.

S. D. R. (2011). Thermophysical properties of jackfruit pulp affected by changes in moisture content and temperature. *Journal of Food Process Engineering*, 34(3), 580–592.

Solano, R., Stepanova, A. N., Chao, Q., Ecker, J. R., Konishi, M., Yanagisawa, S., ... Zhu, Z. 2014. *Ethylene in Plants. The Plant cell* (Vol. 5).

Tovar, B.; Garcia, H. S.; Mata, M. 2001. Physiology of pre-cut mango. II Evolution of organics acids. *Food Research International* 34(8): 705–714.

Tovar-Gómez, B., Mata-Montes De Oca, M., García-Galindo, H. S., Montalvo-González, E. 2011. Efecto De Emulsiones De Cera Y 1-Metilciclopropeno En La Conservación Poscosecha De Guanabana. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1), 53–61.

Vargas-Torres, A., Becerra-Loza, A.S., Sayago-Ayerdi, S.G., Heidi María Palma-Rodríguez, H.M., García-Magaña, M.L., Montalvo-González, E. 2016. 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* (17), 221–227.

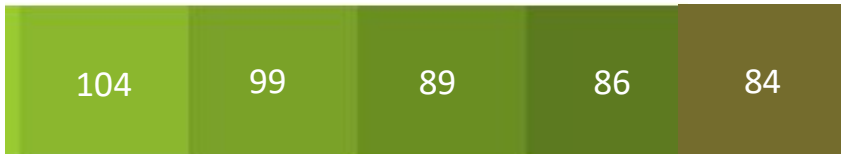
Villalobos, M. C. B. 2017. Yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) fruta exótica en Nayarit. In *Centenario de Nayarit* (Primera, p. 50). Visual arte.

Worrel, D. B., y Sean-Carrington, C. M. 1997. Breadfruit. In *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits* (S. K. Mitr, pp.























CAPÍTULO 9. ANEXOS

Anexo A. Color de cáscara (h) temperatura 8±°C

Días de Almacenamiento	Control Absoluto 25°C	Control 8±2°C	Absorbedor I 8±°C	Absorbedor II 8±°C
0 DR 8±2°C				
3 DR 8±2°C				
5 DR + 0 8±2°C				
5 DR + 3 25°C				
5 DR + 6 25°C				
5 DR + 9 25°C				



Color de los bulbos (h) temperatura 8±°C

Días de Almacenamiento	Control Absoluto 25°C	Control 8±2°C	Absorbedor I 8±°C	Absorbedor II 8±°C
0 DR 8±2°C	 78.6± 9.44	 78.6± 9.44	 78.6± 9.44	 78.6± 9.44
3 DR 8±2°C	 73 ± 6.1	 73.94 ± 2.63	 75.29 ± 3.74	 74.95 ± 2.71
5 DR + 0 8±2°C	 64.86 ± 2.27	 73.75 ± 4.47	 73.27 ± 0.06	 73.23 ± 1.48
5 DR + 3 25°C	 64.06 ± 1.76	 71.17 ± 1.15	 71.71 ± 1.24	 72.55 ± 3.06
5 DR + 6 25°C		 69.96±0.87	 69.9±3.52	 68.93±3.02
5 DR + 9 25°C		 67.77±0.7	 67.22±0.51	 68.53±0.7



Valores de referencia (h)





















Color de los cáscara (h) temperatura 13±2°C

Días de Almacenamiento	Control Absoluto 25°C	Control 13±2°C	Absorbedor I 13±2°C	Absorbedor II 13±2°C
0 DR 13±2°C	 106.25 ± 1.19	 106.69 ± 0.41	 106.69 ± 0.41	 106.69 ± 0.41
3 DR 13±2°C	 103.47 ± 0.82	 104.37 ± 0.94	 106.57 ± 0.15	 105.67 ± 0.88
5 DR + 0 13±2°C	 98.68 ± 4.66	 102.27 ± 3.14	 105.69 ± 0.28	 105.99 ± 0.29
5 DR + 3 25°C	 84.45 ± 4.42	 68.25 ± 3.15	 100.2 ± 0.05	 99.82 ± 0.3
5 DR + 6 25°C		 85.89 ± 3.65	 95.08 ± 0.1	 94.71 ± 0.44
5 DR + 8 25°C		 -	 -	 83.38 ± 0.91



Valores de referencia

Color de los bulbos (h) temperatura 13±°C





















Días de Almacenamiento	Control Absoluto 25°C	Control 13±2°C	Absorbedor I 13±2°C	Absorbedor II 13±2°C
0 DR 13±2°C	 78.69 ± 0.1	 69.1 ± 1.3	 69.1 ± 1.3	 69.1 ± 1.3
3 DR 13±2°C	 73.86 ± 0.7	 70.04 ± 0.73	 68.84 ± 1.79	 74.69 ± 0.43
5 DR + 0 13±2°C	 64.86 ± 0.19	 70.79 ± 0.21	 72.9 ± 1.61	 71.75 ± 2.18
5 DR + 3 25°C	 64.06 ± 0.19	 68.25 ± 0.96	 67.34 ± 0.34	 66.77 ± 0.69
5 DR + 6 25°C		 63.5 ± 2.35	 67.09 ± 0.19	 64.73 ± 0.69
5 DR + 8 25°C				 67.88 ± 0.6



Valores de referencia



Color de las cáscaras (h) temperatura 18±°C

Días de Almacén	Control Absoluto 25°C	Control 18±2°C	Absorbedor I 18±2°C	Absorbedor Iii 18±2°C
0 DR 18±2°C	 106.25 ± 1.19	 107.51 ± 1.779	 107.51 ± 1.779	 107.51 ± 1.779
3 DR 18±2°C	 103.47 ± 0.82	 105.23 ± 0.619	 105.94 ± 1.059	 103.23 ± 4.59
5 DR + 0 18±2°C	 98.68 ± 4.66	 101.7 ± 0.64	 101.84 ± 0.0459	 104.6 ± 3.77
5 DR + 3 25°C	 84.45 ± 4.42	 88.97 ± 0.94	 86.48 ± 0.53	 87.68 ± 0.93
5 DR + 5 25°C		 83.11 ± 0.25		
5 DR + 6 25°C		 	 80.65 ± 1.87	 77.38 ± 7.91



Valores de referencia

5 DR + 3  
25°C

5 DR + 5  
25°C

**Color de los bulbos (h) temperatura 18±°C**

5 DR + 6  
Días de  
25°C  
Almacén

