



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

**Calidad y vida de anaquel del fruto de dos variedades
mexicanas de fresa tratadas con altas concentraciones
de CO₂**

FERNANDO GARCÍA ESPEJEL

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada “**Calidad y vida de anaquel del fruto de dos variedades mexicanas de fresa tratadas con altas concentraciones de CO₂**” realizada por el alumno **Fernando García Espejel** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



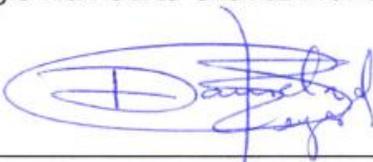
Dr. Crescenciano Saucedo Veloz

ASESOR



Dr. Sergio Humberto Chávez Franco

ASESOR



Dra. Daniela Saucedo Reyes

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2015

**Calidad y vida de anaquel del fruto de dos variedades mexicanas de fresa
tratadas con altas concentraciones de CO₂**

Fernando García Espejel, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

Se estudió el comportamiento postcosecha de frutos de nuevas variedades de fresa generadas por el Colegio de Postgraduados (Jacona y Zamorana) en comparación con frutos de la variedad comercial Festival. El objetivo fue estudiar los cambios fisiológicos relacionados con el proceso de senescencia de frutos de fresa almacenados bajo las condiciones de refrigeración y altas concentraciones de CO₂ para el control de pudriciones, mediante dos experimentos. En el experimento 1, se cosecharon los frutos en el mes de febrero 2014 tomando como índice de madurez 3/4 partes de la superficie de color rojo; luego, se almacenaron en refrigeración (1±1 °C) durante 4 y 8 días. Para el experimento 2, se cosecharon frutos en los meses de octubre y noviembre también en estado de madurez comercial, se almacenaron en refrigeración (2±1 °C) durante 8 días sin y con atmósfera controlada (15% de CO₂). Los tratamientos fueron 6, resultado de la combinación de factor variedad (Festival, Jacona y Zamorana) y concentración de CO₂ (0.03 y 15%) en la atmósfera. En ambos experimentos después del periodo de refrigeración, se determinaron las variables: firmeza de la pulpa (N), pérdida de peso (%), color externo (luminosidad, croma y ángulo de tono), Vitamina C, sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y producción de etanol y acetaldehído. Los resultados obtenidos mostraron que al final del almacenamiento a 1±1°C durante 8 días los frutos de la variedad Festival, Jacona

y Zamorana presentaron una disminución de luminosidad y valor cromático. La variedad Festival, presentó frutos más firmes, con mayor contenido sólidos solubles totales y menor porcentaje de acidez titulable, en contraste con un ángulo de tono que indicó frutos significativamente menos rojos respecto a los frutos de la variedad Jacona y Zamorana. Después del almacenamiento a $2\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 8 días, el contenido de etanol y acetaldehído incrementaron de manera significativa en frutos con atmósfera controlada (15% de CO_2) respecto a los frutos almacenados en aire (0.03% de CO_2), la variedad con mayor formación de etanol y acetaldehído fue Festival.

Palabras Clave: Festival, Jacona, Zamorana, atmósfera, refrigeración.

**Quality and shelf life of the fruit of two Mexican strawberry varieties treated
with high concentrations of CO₂**

Fernando García Espejel, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

Postharvest behavior of fruit of new strawberry varieties generated by the Postgraduate College (Jacona and Festival) was studied, compared to fruits of commercial variety Festival. The objective was to study the physiological changes associated with senescence of strawberry fruits stored under refrigeration conditions and high concentrations of CO₂ to control decay by two experiments. In Experiment 1, fruits were harvested in the month of February 2014 using 3/4 of the red surface as a maturity index, and then were stored in cold (1±1 °C) for 4 and 8 days. For Experiment 2, fruits were harvested in the months of October and November also in a commercial maturity stage, stored in cold (2±1 °C) for 8 days with (15% CO₂) and without controlled atmosphere, Total treatments were 6, as a result of combining three variety factor (Festival, Jacona and Zamorana) and two CO₂ concentrations (0.03 and 15%) in the atmosphere. In both experiments, after cooling, the variables were evaluated: pulp firmness (N), weight loss (%), external color (lightness, chroma and hue angle), vitamin C, total soluble solids, pH, titratable acidity and ethanol and acetaldehyde levels. The results showed that at the end of storage at 1 ± 1 ° C for 8 days the fruits of the Zamorana, Jacona and Festival variety presented a decrease in luminosity and chroma value, Festival fruits were more firm, with a higher content of total soluble solids and lower percentage of titratable acidity, in contrast to a hue

angle indicating significantly less red berries than fruits of the variety Jacona and Zamorana. After storage for 8 days at 2 ± 1 ° C, the content of ethanol and acetaldehyde increased significantly in fruits under controlled atmosphere (15% CO₂) than fruits stored in air (0.03% CO₂), variety Festival had higher content of ethanol and acetaldehyde.

Keywords: Festival, Jacona, Zamorana, atmosphere, cooling.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico para realizar la maestría.

Al **Colegio de Posgraduados** por brindarme las facilidades para desarrollarme académicamente.

Al **Dr. Crescenciano Saucedo Veloz** por darme la oportunidad y creer en mí para la realización de esta investigación, por su amistad, apoyo, disponibilidad y asesoría durante mi formación académica.

Al **Dr. Sergio Humberto Chavez Franco** por su asesoría y apoyo brindado durante toda la investigación, y sobre todo por las aportaciones y sugerencias hechas en la misma.

A la **Dra. Daniela Saucedo Reyes** por sus sugerencias recibidas para la realización de este trabajo.

Al **M. C. David Jaen Contreras** por su apoyo y asesoría en la investigación y por sus consejos y amistad

Al **Dr. Javier Suarez Espinosa** por su disponibilidad y asesoría en la realización del análisis estadístico.

A **Belem Domínguez Ríos** por todo su apoyo para la culminación de esta investigación.

DEDICATORIA

A mi madre **Irma Espejel Zarco**, por darme la vida y el apoyo recibido.

A mi padre **Félix García Viana** por siempre recibir su apoyo y por sus enseñanzas

A mis esposa **Belem**, por su amor, comprensión y ayuda incondicional.

A mi hija **Evelyn Ivette García**, por ser la luz de mi vida.

A **Berenice** que siempre me ha dado su apoyo y a mi Ángel de la guarda **Adrián**, siempre me acompaña.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS	vii
DEDICATORIA.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II	3
2. OBJETIVOS	3
2.1 General:	3
2.3 Hipótesis general	3
2.4 Hipótesis particular.....	4
CAPITULO III	5
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 Generalidades de la fresa	5
3.2 Variedades cultivadas en México.....	9
3.3 Calidad del fruto	9
3.4 Índices de madurez	10
3.5 Color.....	10
3.6 Sólidos solubles totales.....	11
3.7 Acidez titulable	11

3.8 Tamaño	11
3.9 Firmeza	12
3.10 Métodos para controlar daños por patógenos	13
3.11 Conservación en atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC).	13
CAPITULO IV	17
4. Materiales y Métodos.....	17
4.1 Material Vegetal	17
4.2 Tratamientos	17
4.3 Metodología para el montaje e implementación de los sistemas para los tratamientos 0.03% CO ₂ /8d 2 ± 1 °C y 15% CO ₂ /8d a 2 ± 1 °C.	19
4.4 Variables evaluadas	20
4.5 Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	29
CAPITULO V	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
5.1 EXPERIMENTO I	30
5.2 EXPERIMENTO II	51
CAPITULO VI	70
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES.....	72
CAPITULO VII	73
BIBLIOGRAFÍA.....	73

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>).....	6
Cuadro 2. Preparación de las diluciones para la curva estándar de vitamina C.....	27
Cuadro 3. Gasto de 2,6- DicloroIndofenol y contenido de vitamina C.....	27
Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta color (Luminosidad).	32
Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta color (Croma).....	34
Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta color (Hue).....	37
Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta firmeza.....	39
Cuadro 8. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta $^{\circ}\text{Brix}$	42
Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta pH.....	44

Cuadro 10. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta acidez titulable.....	46
Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta SST/acidez titulable.....	48
Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta contenido de vitamina C.....	50
Cuadro 13. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO_2 en la variable pérdida de peso.....	51
Cuadro 14. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO_2 en la variable firmeza.....	53
Cuadro 15. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO_2 en la variable de respuesta color (Luminosidad, Hue y Croma).....	57
Cuadro 16. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO_2 en la variable de respuesta Solidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$).....	60

Cuadro 17. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO ₂ en la variable de respuesta pH.	61
Cuadro 18. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO ₂ en la variable de respuesta contenido de acidez titulable.....	64
Cuadro 19. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO ₂ en la variable de respuesta Vitamina C.	66
Cuadro 20. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO ₂ en la variable de respuesta contenido de etanol y acetaldehído.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva Estándar para Vitamina C.....	28
Figura 2. Luminosidad al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).	31
Figura 3. Valores Croma al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).	33
Figura 4. Angulo Hue al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).	36
Figura 5. Firmeza al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).	38
Figura 6. Grados Brix al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).	41

Figura 7. pH al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).....	43
Figura 8. Porcentaje de ácido cítrico al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival	45
Figura 9. Relación $^{\circ}\text{Brix}/\text{Ácido}$ al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).	47
Figura 10. Contenido de ácido ascórbico al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).	49
Figura 11. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable firmeza, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$)	54
Figura 12. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable color (luminosidad), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq 0.05$)	58
Figura 13. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable color (Ángulo Hue), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de	

los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)	58
Figura 14. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable color (croma), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).	59
Figura 15. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable Grados Brix, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)	61
Figura 16. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable pH, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)	63
Figura 17. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable acidez titulable, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)	65
Figura 18. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable contenido de Vitamina C, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)	67

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

Se le ha dado el nombre de fresa a varias especies de plantas rastreras del género *Fragaria*, la variedad cultivada comercialmente es *Fragaria x ananassa* (Menéndez-Valderrey., 2007). A nivel mundial se cultiva en más de 60 países con una producción de 4 516 810 toneladas, de las cuales México aporta 360 426 toneladas (FAOSTAT, 2012) que se producen principalmente en los estados de Michoacán, Baja California y Estado de México (SIAP, 2012); comercialmente el nivel de exportaciones mexicanas se sitúa en 76 890 toneladas con un valor 142 millones de dólares, que se destinan principalmente a los Estados Unidos (FAOSTAT, 2011).

En México se cultivan diferentes variedades, cada una con características específicas, y con diferentes rendimientos debido a: épocas de producción, resistencias a plagas y enfermedades, sabor, color y tamaño. Las variedades se pueden expresar de distintas formas dependiendo de la región donde se establezcan. Entre las variedades más utilizadas se encuentran la 'Festival', 'Sweet Charlie', 'Galexia', 'Camino Real', 'Albión', 'Camarosa', 'Aroma', 'Ventana' y 'Diamante'. Dichas variedades han sido desarrolladas en su mayoría por la Universidad de California USA y Universidad de Florida USA, lo que implica que la producción de fresa en México se basa en la importación de plantas de los Estados Unidos. En el Colegio de Postgraduados, a través del proyecto RENIECyT 056 “Generación y validación de cuatro variedades de fresa mexicana” se han obtenido plantas de las variedades Jacona, Zamorana, CP-L7 y Festival, actualmente en proceso de evaluación con fines del comportamiento de planta, rendimientos y

producción, tanto en condiciones protegidas (invernadero) y de campo. Resulta por consiguiente importante también conocer el comportamiento de los frutos ante la aplicación de tecnologías postcosecha tendientes a controlar el desarrollo de microorganismos causantes de pudriciones, como los tratamientos con altas concentraciones de CO₂, así como los efectos de la refrigeración en la vida de anaquel de estas variedades; todo lo cual resulta de utilidad como una herramienta de validación para que estas variedades sean comercialmente cultivadas.

CAPITULO II

2. OBJETIVOS

2.1 General:

Evaluar el efecto de dos concentraciones de CO₂ en la calidad y vida de anaquel del fruto de dos variedades mexicanas de fresa mexicanas almacenadas bajo refrigeración.

Del objetivo general, se derivaron los siguientes objetivos particulares:

- Determinar los cambios en las variables de calidad: Sólidos solubles totales, acidez titulable, relación azúcar-ácido, pH, color externo y contenido de ácido ascórbico.
- Determinar la concentración de CO₂ tolerable para cada una de las variedades, respecto a la acumulación de etanol en los frutos como un índice de inducción de respiración anaeróbica.
- Evaluar altas concentraciones de CO₂ para control de pudriciones en los frutos de cada una de las variedades.

2.3 Hipótesis general

- El comportamiento del fruto de fresa almacenado bajo altas concentraciones de CO₂ afectan la calidad organoléptica y nutricional de los frutos de cada una de las variedades.

2.4 Hipótesis particulares

- Las altas concentraciones de CO₂ permiten el control de pudriciones.
- Las elevadas concentraciones de CO₂ utilizadas no aumentan el contenido de etanol en el fruto de cada variedad.

CAPITULO III

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Generalidades de la fresa

3.1.1 El cultivo de fresa

Se le ha dado el nombre de fresa a varias especies de plantas rastreras del género *Fragaria*, cultivadas por su fruto comestible. Las variedades comercialmente cultivadas son por lo general híbridos, en especial *Fragaria x ananassa* que ha reemplazado, casi universalmente, por el tamaño de sus frutos a la especie silvestre *Fragaria vesca* que fue la primera especie de fresa cultivada en el siglo XVII. La *Fragaria x ananassa* y sus cultivares emparentados es la especie más común de *Fragaria* cultivada mundialmente. Como todas las fresas, es de la familia *Rosaceae* (Cuadro 1). Es una planta perenne que produce brotes nuevos cada año. Presenta una roseta basal de donde surgen las hojas y los tallos florales, ambos de la misma longitud. Los tallos florales no presentan hojas. En su ápice aparecen las flores de cinco pétalos blancos, cinco sépalos y numerosos estambres. Los pecíolos de las hojas son filosos. Cada uno soporta una hoja compuesta con tres folíolos ovales dentados.

Estos son verde brillante por el haz, más pálidos por el envés, que manifiesta una nervadura muy destacada y una gran pilosidad. De la roseta basal surgen también otro tipo de tallos rastreros que producen raíces adventicias de donde nacen otras plantas. Su fruta es conocida como infrutescencia, la fresa entra en este grupo por el desarrollo carnoso del receptáculo, que lleva en su superficie los frutos, que son pequeños aquenios (Menéndez-Valderrey., 2007). Las variedades de fresa se

distinguen por su grado de fertilidad, estación de maduración, sensibilidad a enfermedades, constitución de la planta, así como por el follaje y el desarrollo relativo de sus órganos sexuales. Además sus frutos varían en tamaño, color, sabor y forma.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la fresa (*Fragaria x ananassa*)

Superreino:	Eukaryota
Reino:	Plantae
Subreino:	Embryobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Rosales
Familia:	Rosaceae
Subfamilia:	Rosoideae
Tribu:	Potentilleae
Subtribu:	Fragariinae
Género:	<i>Fragaria</i>
Especie:	<i>F. ananassa</i>

Fuente: <http://www.asturnatura.com/especie/fragaria-vesca.html>

La fresa es una especie de tipo fotosintético C₃. Las plantas que utilizan esta vía fotosintética absorben el dióxido de carbono por medio de estomas durante el día y lo utilizan en la fase oscura para formar glucosa. Las plantas con este tipo de metabolismo desarrollan mejor bajo condiciones frías, dado que la temperatura

óptima para la fotosíntesis es relativamente baja (Gliessman, 2002). Durante periodos de calor y sequía es afectada la tasa fotosintética debido al cierre parcial de estomas para impedir la pérdida de vapor de agua, pero al mismo tiempo se limita la captura de dióxido de carbono y aumenta la foto-respiración.

La tasa respiratoria de la planta y sus órganos puede ser afectada por diversos factores, entre los que están las especies y el hábitat de crecimiento, el tipo y la edad del órgano en concreto y variaciones ambientales tales como la concentración externa de oxígeno, temperatura, nutrientes y disponibilidad de agua (Taiz y Zeiger, 2006).

3.1.2 Producción mundial y nacional de la fresa

La fresa representa un importante cultivo comercial en el mundo, con áreas de siembra cada vez mayores y un aumento en su consumo (Keutgen y Pawelzik, 2008). La fresa se cultiva en más de 60 países del mundo; el principal productor del 2012 fue Estados Unidos con un millón 366 850 toneladas, representando el 30.26% de la producción mundial; ocupando el segundo lugar México con 360 mil 427 toneladas, representando el 7.9% a nivel mundial (FAOSTAT, 2012). Siguiéndole Turquía, España y Egipto con el 7.8%, 6.4% y 5.3%, respectivamente, a nivel mundial (FAOSTAT, 2012). En el 2011, el principal exportador de fresa a nivel mundial fue España con el 30% del total, lo que representó un monto de exportaciones de 231 732 toneladas (FAOSTAT, 2011). Esta cantidad de toneladas exportadas por España en el 2011 supera en una proporción bastante considerable al segundo mayor exportador del mundo que es Estados Unidos de América.

Estados Unidos, pese a ser el mayor productor mundial de fresa, en el 2011 solamente exportó el 10.6% de su producción, mientras que el restante 89.4% se consume en el mercado interno. Por su parte, México ocupó el cuarto lugar entre los países con el mayor monto de exportación de fresa en el mundo, el cual en el 2011 fue de 76 890 toneladas, equivalentes al 33.5% de su producción total, lo que indica que dos terceras partes de la producción mexicana de fresa es consumida en el mercado interno.

Otros países exportadores de fresa en el mundo, como: Países Bajos, Bélgica, Turquía, Marruecos, Francia, e Italia, también destacan entre los países exportadores de fresa en el mundo, aunque en un monto menor respecto a México. (FAOSTAT, 2011).

México, registró en 2013 una superficie cosechada de fresa de 6 978.40 ha y se obtuvo una producción de 228 899.59 t, por lo que alcanzó un rendimiento promedio de 32.8 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2013). Aunque son varios los estados productores de fresa, solamente tres tienen producción significativa: Michoacán, Baja California y el Estado de México.

El cultivo de la fresa es el segundo en importancia económica entre las frutas que se cultivan en Michoacán ya que es generador de empleos y de divisas (SEDAGRO, 2005). En el año 2013, este estado se ubicó en primer lugar con una producción de 114 170.72 t, con un rendimiento promedio de 34.07 t ha⁻¹. Baja California alcanzó el segundo sitio con una producción de 84 994.90 t, con un rendimiento promedio de 46.70 t ha⁻¹. Y el tercer lugar fue para el Estado de México con 180.00 t, con un rendimiento promedio de 12.00 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2013).

3.2 Variedades cultivadas en México

En México se cultivan diferentes variedades, cada una con características específicas, y con diferentes rendimientos debido a: épocas de producción, resistencias a plagas y enfermedades, sabor, color y tamaño. Las variedades se pueden expresar de distintas formas dependiendo de la región donde se establezcan. Cabe mencionar que las variedades más utilizadas en México han sido desarrolladas por la Universidad de California USA y Universidad de Florida USA.

Entre las variedades más utilizadas en México se encuentran la 'Festival', 'Sweet Charlie', 'Galexia', 'Camino Real', 'Albión', 'Camarosa', 'Aroma', 'Ventana' y 'Diamante', que mediante varios ciclos han demostrado su eficiencia en campo ; existen otras variedades, pero debido a diferentes factores como son bajos rendimientos, susceptibilidad a plagas y enfermedades, no se han adaptado en México.

3.3 Calidad del fruto

La calidad de la fresa requiere la aceptación por parte del consumidor y es determinada por sus atributos sensoriales, composición química, propiedades físicas como tamaño, color, firmeza, acidez y un buen aroma, nivel de contaminantes tóxicos y microbiológicos. Las fresas son altamente perecederas que pierden su calidad sensorial rápidamente después de cosechar, lo cual limita su vida útil por algunos días a temperatura ambiente (Ares et al 2009; Kader, 1991)

3.4 Índices de madurez

La fresa es una fruta no climatérica y debe ser cosechada en plena madurez para lograr la máxima calidad en relación con el sabor y color (Cordenunsi et al., 2003). Se cosechan cuando el fruto toma un color rosa (3/4 de maduración) o rojo (maduro-firme), esto con el fin de evitar pérdidas durante su comercialización. La cosecha y postcosecha son algunos de los factores que pueden conducir a pérdidas de la calidad sensorial y nutricional del fruto (Pineli et al., 2011). La calidad es el resultado del manejo de factores presentes en precosecha (cultivar, suministro de nutrimentos, temperatura, luminosidad, polinización), cosecha (estado de desarrollo, hora de cosecha) y postcosecha (manejo en frigoríficos, humedad relativa, almacenamiento), los cuales influyen en la conservación de la calidad del fruto (Juárez et al., 2007).

El genotipo y las condiciones ambientales influyen en las características físicas y químicas de las fresas (Pinto et al, 2008). Las fresas son conocidas por sus altos niveles de micronutrientes y compuestos fitoquímicos (Tulipani et al., 2008). La calidad del fruto en el mercado se centra en las cualidades físicas, tales como tamaño, color, firmeza, acidez, dulzura y aroma (Azodanlou et al., 2003).

3.5 Color.

Las antocianinas son los principales compuestos que contribuyen al color rojo brillante de la fresa (Bodelón et al., 2010) y están asociadas con una fuerte actividad antioxidante (Wang y Lin, 2000). El color y la apariencia son los aspectos críticos de calidad para los compradores a la hora de seleccionar las frutas y hortalizas frescas

(Ragaert et al., 2004). El atractivo color rojo del jugo de fresa es una propiedad de valor comercial (Rodrigo, et al., 2007).

3.6 Sólidos solubles totales

Cuando las frutas maduran cambia la concentración de sólidos solubles en el jugo, que en su mayor parte son azúcares (Siller y Báez, 2009). Los azúcares principales en el fruto de fresa son sacarosa, glucosa y fructosa, que representa más del 99% del total de los azúcares de las frutas maduras (Strum et al, 2003). También, en los frutos de fresa están presentes la ribosa, arabinosa, xilosa, manosa y galactosa (Ojeda et al., 2008). La concentración de sólidos solubles, acidez y color de la fresa son afectados por factores ambientales (Vlachonasios et al., 1995). Temperatura superior a los 25 °C puede reducir los sólidos solubles en el fruto (Morgan, 2006). Se ha observado que la disminución en los sólidos solubles en el fruto produce una menor aceptación de los consumidores al producto (Keutgen y Pawelzik, 2007).

3.7 Acidez titulable

El ácido cítrico es el ácido orgánico principal en el fruto de la fresa y el ácido ascórbico es la forma predominante de la vitamina C (Lee y Kader, 2000b), su concentración varía entre 9.15 y 20.27 g kg⁻¹ en la etapa madura del fruto (Cordenunsi et al., 2002; Kafkas y Paydaş, 2007). La concentración de ácido ascórbico es generalmente más alta en frutos maduros (Olsson et al., 2004). Kafkas et al. (2007) añaden que la acumulación de ácidos orgánicos, ácido ascórbico y azúcares solubles depende de los genotipos. Las fresas son aceptables con un

contenido de sólidos solubles mínimo de 7 °Brix y una acidez titulable de 0.8% como máximo (Mitcham et al., 2002).

3.8 Tamaño

La disponibilidad de agua, las temperaturas nocturnas y diurnas, y la intensidad de la luz del día están relacionadas con el tamaño del fruto de la fresa (Avgdori-Avidov, 1986).

El tamaño de la fresa varía dependiendo de la variedad de la planta. Aun así, para estar dentro de los parámetros establecidos por las normas mexicanas se requiere un tamaño idóneo para la verificación en cuanto a especificaciones físicas o de defectos en este factor como se menciona a continuación:

- Categoría extra. 10% en número de fresas que no satisfagan las exigencias respecto al tamaño, siempre que se ajuste al tamaño inmediatamente inferior o superior.
- Categoría primera y categoría segunda. 10% en número de fresas que no satisfagan las exigencias respecto a los tamaños, siempre y cuando se ajusten al tamaño inmediato inferior.

3.9 Firmeza

Los consumidores prefieren frutas de alta firmeza y sabor agradable. Se ha demostrado que la firmeza del fruto de fresa depende de la época de cosecha, variedad y condiciones de crecimiento (Krüger et al., 2002). Así también, la temperatura afecta el rendimiento y calidad de la fruta, particularmente el sabor y la firmeza (Morgan, 2000).

3.10 Métodos para controlar daños por patógenos

Durante el tiempo que transcurre entre la cosecha de frutas y hortalizas y el consumo de éstas, puede producirse sobre los productos la pérdida de su calidad debido a cambios físicos, químicos, enzimáticos o microbiológicos. Las consecuencias de la pérdida de calidad debida a la acción de microorganismos supone, además de las pérdidas económicas causadas por la alteración, un riesgo para la salud del consumidor debido a la posible presencia de toxinas o microorganismos patógenos (Raybaudi-Mansilla et al., 2006). Los hongos son los causantes del deterioro patológico de frutas con mayor frecuencia. Las frutas son usualmente ácidas en un rango de pH de 1.8 a 2.2, lo que les proporciona mayor resistencia frente a las bacterias (Pitt y Hocking, 1997).

Kyanko et al. (2010) evaluaron tres concentraciones de ácido peracético (0.05%, 0.1% y 0.3%) para determinar su capacidad antifúngica frente a *Alternaria alternata*, *Fusarium graminearum*, *Aspergillus ochraceus*, *A. niger*, *A. flavus*, *Penicillium roqueforti* y *P. expansum*, donde observaron una reducción de la carga de esporas, aún a la más baja concentración ensayada, efecto que incrementó con el aumento de la concentración del tratamiento. A una concentración del 0.3%, consiguieron una significativa reducción de la carga de esporas viables de *A. alternata*, *F. graminearum* y *A. ochraceus*, respectivamente.

En el control de las pudriciones en fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*), la aplicación de óxido nitroso (80%) durante 2 días en los frutos antes de almacenar puede retardar hasta 7 días la aparición de la enfermedad (Qadir y Hashinaga, 2001).

Las atmósferas hipobáricas, han sido utilizadas para extender la vida de almacenamiento de los productos por su efecto en el control de pudriciones.

El estudio de diferentes tratamientos hipobáricos para controlar las pudriciones causadas por *Rizopus stolonifer* en fresas, demostró que a valores de 0.5 atm durante 4 h, los frutos presentaron la mayor reducción de la enfermedad (Romanazzi et al., 2001). Estudios similares fueron realizados en cerezas dulces (*Prunus avium* L.) donde un tratamiento hipobárico y previa aplicación de quitosano (1%) en los frutos, se obtuvieron efectos sinérgicos en la reducción de la pudrición (Romanazzi et al., 2003).

Otros estudios para controlar daños por patógenos ha sido el uso de *Gliocladium roseum* para el combate de *Botrytis cinerea*, donde no sólo se logra combatir efectivamente a este, sino también el resto de los patógenos (*Colletotrichum*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Verticillium* y *Penicillium*), ya que el porcentaje de frutas sanas es mayor al integrar la acción del antagonista al manejo de enfermedades. Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas, pero puede significar una posible alternativa de manejo integrado del moho gris en fresa (Chaves, 2004).

3.11 Conservación en atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC).

Es evidente que la composición de la atmósfera es muy importante en relación con la vida útil o capacidad de conservación de los alimentos. De todas formas, su acción depende del grupo de alimentos y, dentro de cada grupo, de los diferentes productos.

En frutas, verduras y hortalizas las Atmosferas Modificadas (AM) mantienen la calidad y alargan la vida útil porque: a) disminuyen la tasa de respiración y, por tanto, la velocidad de maduración, siendo importante en productos que maduran muy

rápidamente una vez iniciado el proceso (p. ej., plátanos) ya que a menor respiración se genera menos calor; b) la disminución de O₂ o el aumento de CO₂ detiene la síntesis de etileno y; 3) se controla la multiplicación de mohos.

En el envasado en AM, los gases más empleados son CO₂, N₂, y O₂. El efecto antimicrobiano del dióxido de carbono se conoce desde hace tiempo, aplicándose a alimentos proteicos (inhibición de la flora alterante), a productos vegetales (control de mohos). El efecto del CO₂ es mayor cuanto menor sea la temperatura (García, 2007).

Pelayo et al. (2003) realizaron estudios en 3 variedades de fresa (*Fragaria x ananassa D.*) 'Aromas', 'Diamante' y 'Selva' almacenados a 5°C con aire y aire más 20 kPa de CO₂ reportando que el color de los frutos no fue afectado por los tratamientos de CO₂. La firmeza de la pulpa de la variedad 'Aromas' no fue afectada por el tiempo de almacenamiento ni por el CO₂, pero en 'Diamante' y 'Selva' mejoró con el tiempo de almacenamiento y en respuesta a los altos niveles de CO₂. Después de 9 días de almacenamiento, la fruta almacenada en atmósferas enriquecidas con CO₂ la clasificaron como más firme que los almacenados en el aire. La vida postcosecha basada en la apariencia de frutos almacenados en aire fue de 7, 9 y 9 días para 'Aromas', 'Diamante' y 'Selva' y se extendió por 2, 2 y 4 días, respectivamente, por la atmósfera enriquecida con CO₂. Sin embargo, el nivel y la proporción de componentes de sabor (azúcares, ácidos orgánicos, compuestos aromáticos) y metabolitos de fermentación, así como los resultados de las evaluaciones sensoriales, indicó que el mantenimiento del sabor es más corto que la vida postcosecha basada en la apariencia de las frutas (Pelayo et al., 2003).

Un almacenamiento a 5 °C en aire más un 20 kPa de CO₂ en frutos de fresa variedad camarosa se detectó una mayor concentración de metabolitos fermentativos en comparación con aquellos almacenados en aire (Pelayo et al., 2007).

Holcroft y Kader (1999a) observaron que la concentración de antocianinas se aumentó en los tejidos internos y externos de fresa (*Fragaria x ananassa D.*) 'Selva' almacenadas a 5 °C por 10 días; sin embargo, el incremento fue menor en frutos almacenados en aire enriquecido con 10 y 20 kPa de CO₂. El color rojo del tejido fue menos intenso en refrigeración con CO₂ que en el almacenamiento con aire.

Otros estudios realizados en fresa cv Selva demostraron que la mejor concentración para el almacenamiento a 5°C durante 1 a 9 días fue de 20% CO₂ más un 80% de aire, respecto a los tratamientos de 50% CO₂ más 50% de aire, y 0,25% de O₂ más N₂ 99.75% debido a que aumentó ligeramente las concentraciones de acetaldehído, etanol y acetato de etilo (Ke, 1993). Dangyank et al. (1991), en un estudio similar, no reportaron daños en fresa 'Selva' conservados a 0 y 5°C en aire más 20% de CO₂.

CAPITULO IV

4. Materiales y Métodos

4.1 Material Vegetal

El estudio se realizó en las variedades de fresa mexicana Jacona y Zamorana, así como variedad comercial Festival. Con base en la época de cosecha se establecieron dos experimentos:

Para el experimento I, los frutos se cosecharon en el mes de febrero de 2014. Las plantas de las tres variedades Jacona, Zamorana y Festival, fueron desarrolladas bajo condiciones protegidas en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Los frutos se cosecharon tomando como índice de madurez la intensidad y distribución del color rojo ($\frac{3}{4}$ de superficie color rojo).

Para el experimento II, se cosecharon frutos de las variedades mencionadas, en el mes de noviembre, también en estado de madurez $\frac{3}{4}$ de color rojo. Asimismo, de plantas en producción bajo invernadero en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

4.2 Tratamientos

Para el experimento I, se consideró como tratamiento a cada variedad evaluada (Jacona, Zamorana y Festival), las cuales se almacenaron a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ por tres periodos: 0, 4 y 8 días. Tras cada periodo de refrigeración, se evaluaron las siguientes variables: No destructiva (color externo) y destructivas (firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable, relación azúcar/ácido, pH y ácido ascórbico). Después de la cosecha, se seleccionaron 50 frutos de un tamaño y color homogéneo por cada variedad y periodo de almacenamiento. Cada fruto, fue una unidad experimental en

el caso de las variables Luminosidad, Chroma, ángulo Hue, firmeza y sólidos solubles totales, obteniéndose así 50 repeticiones, para las variables Vitamina C, pH y acidez titulable. La unidad experimental se estableció en 5 frutos y se realizaron 10 repeticiones.

En el experimento II fueron considerados 6 tratamientos producto de la combinación de tres variedades (Jacona, Zamorana y Festival) y dos concentraciones de CO₂ (0.03 y 15 %) en la atmosfera de refrigeración a 2°C, más una evaluación inicial de cada variedad. En cada evaluación inicial y después de cada tratamiento cada fruto fue una unidad experimental para las variables Pérdida de peso, Luminosidad, Chroma, Ángulo Hue, firmeza y Solidos solubles, obteniéndose 10 repeticiones. Las variables Vitamina C, pH y acidez titulable constaron de 5 repeticiones con una unidad experimental de dos frutos. Los tratamientos se describen a continuación.

Testigo 1 (evaluación inicial `Jacona`): Frutos de variedad Jacona expuestos a 0.03% de CO₂ (aire), 0 días de refrigeración

Tratamiento 1: Frutos de variedad Jacona expuestos a 0.03% de CO₂ (aire), 8 días de refrigeración

Tratamiento 2: Frutos de variedad Jacona expuestos a 15% de CO₂, 8 días de refrigeración

Testigo 2 (evaluación inicial `Zamorana`): Frutos de variedad Zamorana expuestos a 0.03% de CO₂, 0 días de refrigeración

Tratamiento 3: Frutos de variedad Zamorana expuestos a 0.03% de CO₂ (aire), 8 días de refrigeración

Tratamiento 4: Frutos de variedad Zamorana expuestos a 15% de CO₂, 8 días de refrigeración

Testigo 3 (evaluación inicial `Festival`): Frutos de variedad Festival expuestos a 0.03% de CO₂, 0 días de refrigeración

Tratamiento 5: Frutos de variedad Festival expuestos a 0.03% de CO₂ (aire), 8 días de refrigeración

Tratamiento 6: Frutos de variedad Festival expuestos a 15% de CO₂, 8 días de refrigeración

4.3 Metodología para el montaje e implementación de los sistemas para los tratamientos 0.03% CO₂/8d 2±1 °C y 15% CO₂/8d a 2±1 °C.

- 1. Mantenimiento y calibración del tablero mezclador de gases (mixing board).** El prototipo del tablero fue diseñado y construido en la Universidad de California (UC Davis). El mantenimiento, consistió en la revisión del buen funcionamiento de cada una de las válvulas micrométricas de las 6 estaciones con las que cuenta el tablero; así como, el funcionamiento de los rotámetros. En este tablero, se realizaron las mezclas de los gases alimentándolo con una fuente de CO₂ (tanque presurizado, al 100% de concentración) y una fuente de aire (compresor de aire, aire del ambiente).
- 2. Mantenimiento y calibración de tableros de flujo a presión constante,** especialmente diseñados para el control práctico e inmediato de los flujos de aire. Esto, se realizó siguiendo el prototipo diseñado en la Universidad de California (UC Davis). Su calibración consistió en determinar la relación

presión-flujo para cada uno de los 12 capilares que lleva cada tablero. Lo anterior, permite conocer y controlar de manera muy rápida, práctica y confiable los flujos de aire.

Se seleccionaron una serie de mezclas (combinaciones de estos gases a diferentes velocidades de flujo), teniendo como concentración de CO₂ 15±0.05%. La concentración fue medida con un registrador de datos externo HOB0 U12-012 y un Monitor de Temperatura y Dióxido de Carbono TELAIRE 7001.

3. Diseño y montaje de un sistema de frigoconservación de frutos en Atmosferas Controladas (AC).

El diseño y montaje de este sistema se basó en el realizado por Corrales (1995).

Este sistema consiste fundamentalmente en 5 elementos: 1) Suministro de gases; 2) Tablero mezclador (mixing board); 3) Tableros de flujo a presión constante; 4) Cámara Frigorífica; y 5) Cámaras de AC.

1) **Suministro de gases:** Son los componentes básicos de la mezcla gaseosas de AC; el oxígeno, generado por un compresor comercial; el CO₂, proveniente de un tanque presurizado de calidad comercial estándar. El control de estos suministros se realiza con ayuda de válvulas y manómetros especiales, que permiten el envío regulado de los gases al tablero, mezclados mediante tubería de plástico.

2) **Tablero mezclador:** este tablero fue desarrollado y fabricado en la Universidad de California (UC, Davis) especialmente para realizar de

manera practica la mezcla de los gases de suministro en proporciones variables, según el requerimiento que se tenga, manejando proporciones de flujo como principio de funcionamiento. El tablero consta de una base y un panel que lleva fijas las conexiones y válvulas micrométricas, unas sirven para regular los gases de suministro y otras los flujos de cada gas, en forma independiente para cada gas, los cuales son conducidos hacia un pequeño recinto (estación mezcladora) donde se juntan los dos componentes de la mezcla y cuya salida conecta a los humidificadores y de ahí a los tableros de flujo a presión constante. El tablero en cuestión cuenta con seis estaciones mezcladoras, lo que le da la capacidad de generar seis diferentes mezclas y tasas de flujo en forma independiente y simultánea. Sin embargo, en este trabajo sólo se emplearon cuatro.

- 3) **Tableros de flujo a presión constante:** consiste en una estructura que puede ser de madera o acrílico (en este caso fueron de madera) que soportan las conexiones y capilares que permiten multiplicar y distribuir las mezclas generadas en el tablero mezclador y dosificar finamente los flujos de las mezclas ya humidificadas hacia las cámaras de AC. Como se ha mencionado, la mezcla sale seca del tablero mezclador, por lo que antes de entrar a los tableros de flujo a presión constante, debe pasar por un recipiente humidificador, que contiene agua destilada, con lo que se incorpora humedad a la misma.

4) **Cámaras de refrigeración y de AC:** Por razones de economía y espacio, el sistema solo contó con una cámara de refrigeración que permitió trabajar con la temperatura de $2\pm 1^{\circ}\text{C}$. Dicha cámara, se adaptó para mantener conectadas con los tableros de flujo a presión constante mediante tuberías de plástico a las pequeñas cámaras de AC en su interior. Como mejor opción para establecer las cámaras de AC, después de cierto trabajo de búsqueda, se eligió un recipiente cilíndrico de plástico transparente, de aproximadamente $\frac{1}{2}$ L de capacidad, con boca suficiente amplia para poder meter y sacar los frutos de fresa sin causarles ningún daño; en la tapadera de este recipiente se hicieron un par de orificios para adaptar los puertos de entrada y salida que permitieran mantener un flujo continuo de la mezcla gaseosa de AC a través de esta pequeña cámara. En la entrada, se conectó la tubería de plástico procedente del tablero de flujo constante, en este caso la tubería se prolongó hasta la parte inferior del recipiente. La salida se conectó con otra tubería de plástico para enviar la mezcla ya usada desde la base de la tapadera hasta el exterior, buscando evitar así el eventual enrarecimiento del ambiente de la cámara de refrigeración. La principal característica que se busca en estos recipientes es la hermeticidad, la cual se logró colocando silicón en las conexiones de entrada y salida de la mezcla gaseosa. Otra ventaja decisiva para la selección de estos recipientes es su bajo costo y fácil manipulación.

4.4 Variables evaluadas

Para el experimento 1, las variables fueron evaluadas a los 0, 4 y 8 días de refrigeración, en el caso del experimento 2 dichas variables fueron evaluadas a los 0 y 8 días de refrigeración. Las variables fueron:

Pérdidas de Peso (% PP): Se determinó el peso de 10 frutos por separado al inicio y termino de cada tratamiento, utilizando una balanza digital (Mettler, modelo EY2200 A), con aproximación de 0.1 g. Para el cálculo de las pérdidas de peso se aplicó la ecuación siguiente:

$$\%pp = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Dónde:

%pp = Porcentaje de pérdidas de peso

Pi = Peso inicial

Pf = Peso final

Color externo: Se determinó aplicando el índice de color (IC= $-10ab/L$) propuesto por Mateos et al. (1988). Para esto, se utilizó un colorímetro de reflexión Hunter Lab (Reston Virginia USA, modelo D-25), con el sistema CIELab, que determinó los parámetros adimensionales L^* , a^* y b^* . Siendo L^* la Luminosidad, que se define como la proporción de luz transmitida por el objeto y que varía entre 0 (negro) y 100 (blanco). La saturación o croma (Chroma), que expresa la proporción de contenido cromático y se calcula mediante la función $(a^2 + b^2)^{0.5}$. El Hue o ángulo de tono, que varía entre 0° y 360° (0° =rojo, 90° =amarillo, 180° = verde, 270° =azul) (Mc Guire, 1992); el ángulo Hue se calculó de acuerdo con Arias et al. (2000), cuando los valores $a > 0$ y $b \geq 0$ se utilizó la ecuación $180 + \tan^{-1}(b/a)$, y cuando el valor $a < 0$ se

utilizó la ecuación $\tan^{-1}(b/a)$; los resultados se expresaron en grados sexagesimales. Esta variable se midió en 50 frutos al inicio y término de cada tratamiento para el experimento I y en 10 frutos por tratamiento para el experimento II.

Firmeza de la pulpa: Se determinó mediante un Texturómetro, modelo FDV-30C, usando una base metálica marca Chatillón adaptado con un puntal cónico de 5 mm. Se midió al inicio del experimento y término de cada tratamiento. La determinación se realizó en ambos lados de la región ecuatorial, y se consideró como repetición al valor promedio de las dos lecturas de cada fruto, reportando los datos en newtons (N).

Sólidos Solubles Totales (SST): Se determinaron mediante un refractómetro automático Atago modelo PR-100, con una escala de 0-32%. La lectura se realizó de manera directa con el jugo de cada fruto. Los datos se reportaron en grados Brix ($^{\circ}$ Brix).

pH: La medición del pH es una medida de la acidez iónica de una solución y se realiza a través de un potenciómetro. En este caso se utilizó un potenciómetro digital de lectura directa. El equipo se calibró usando una solución reguladora de pH conocido (pH = 7). Se tomó una muestra del filtrado y se colocó en un vaso de precipitados. La cantidad de muestra fue la suficiente para cubrir el electrodo detector de la concentración de iones hidrogeno. El electrodo se introdujo en la muestra y se leyó el valor de pH directamente en la escala del potenciómetro (Corning Scientific instruments model 12).

Acidez titulable: Se determinó en muestras de pulpa de 5 frutos de acuerdo a la metodología descrita por la A.O.A.C (1990). Para la cual, se picaron finamente 5 frutos y se tomó de la muestra 5 g y se neutralizaron con NaOH 0.1 N utilizando

fenolftaleína como indicador. Los datos se reportaron como porcentaje de ácido cítrico (% ácido cítrico), tomando en cuenta que el ácido de mayor presencia en el fruto es el cítrico y el resto otros ácidos orgánicos, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de ácido cítrico (\%)} = \frac{\text{mL de NaOH(N)(a)(100)}}{\text{mL de alícuota}}$$

Dónde:

mL de NaOH = mL de NaOH gastados durante la titulación

N = Normalidad del NaOH

a = miliequivalentes del ácido cítrico (0.064)

Relación azúcar/ácido: Con los valores del contenido de ácido cítrico y °Brix se calculó la relación °Brix/% ácido cítrico, la cual se reportó como relación azúcar/ácido.

Contenido de Vitamina C: Se determinó de acuerdo al método 2,6-dicloroindofenol descrito por la A.O.A.C (1984).

Para la curva estándar de vitamina C se realizó lo siguiente:

a) Preparación de la solución madre

1. se pesaron 10 mg de ácido ascórbico (Vitamina C) y se disolvieron en 100 mL de ácido oxálico al 0.5%. Concentración final (0.1mg/mL, 100µg/mL).
2. Se realizaron 12 diluciones a partir de la solución madre tal como se indica en el cuadro 2.
3. Posteriormente, se llevó a cabo una titulación con 2,6- Dicloroindofenol para determinar el gasto de acuerdo a cantidad de ácido ascórbico presente en la solución (Cuadro 3).

4. Luego, los datos obtenidos (Cuadro 3) se graficaron y, mediante una regresión lineal, se puede obtener la ecuación lineal ($y=mx+b$) que describe la curva.

5. La ecuación resultante fue la siguiente:

$$Y = 0.0165X + 1.1$$

Donde;

Y = mL de 2,6- Dicloroindofenol

X= μg de ácido ascórbico

Es necesario despejar la ecuación para obtener el contenido de ácido ascórbico las muestras desconocidas.

$$X = (Y - 1.1) / 0.0165$$

$$\mu\text{g de ácido ascórbico} = (\text{mL de 2-6 Dicloroindofenol} - 1.1) / 0.0165$$

b) Se procedió conforme a la metodología de la A.O.A.C. (1984) por titulación con 2,6-Dicloroindofenol. Se utilizó una solución de 3 gr. de pulpa de fruto en 30 mL de ácido Oxálico 0.05%, 5 frutos para una repetición, la evaluación se realizó al inicio y término de cada tratamiento. Los datos se expresaron como mg/100g de pulpa.

Cuadro 2. Preparación de las diluciones para la curva estándar de vitamina C

No	μL Tomados de la solución madre	μL de ácido oxálico a agregar	mL totales de solución a titular
1	500	4500	5
2	1000	4000	5
3	1500	3500	5
4	2000	3000	5
5	2500	2500	5
6	3000	2000	5
7	3500	1500	5
8	4000	1000	5
9	4500	500	5
10	5000	0	5

Cuadro 3. Gasto de 2,6- DicloroIndofenol y contenido de vitamina C.

No	Gasto de 2,6-Dicloroindofenol (mL)	Contenido total de ácido ascórbico presente en la muestra titulada (mg)	Contenido total de ácido ascórbico presente en la muestra titulada (μg)
1	1.7	0.05	50
2	2.9	0.1	100
3	3.8	0.15	150
4	4.4	0.2	200
5	5.1	0.25	250
6	6	0.3	300
7	6.9	0.35	350
8	7.3	0.4	400
9	9.6	0.45	450
10	9.7	0.5	500

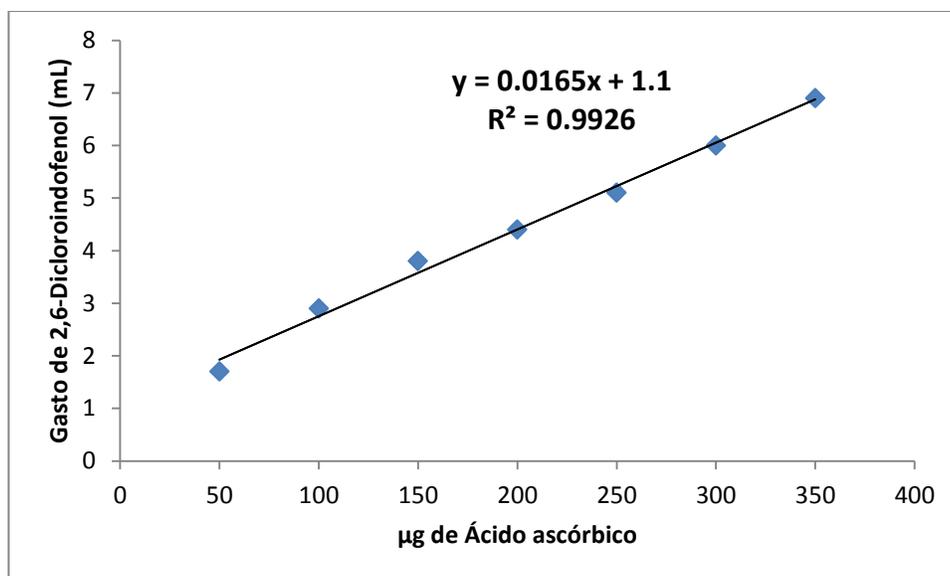


Figura 1. Curva Estándar para Vitamina C

Etanol y acetaldehído: Se determinó mediante la metodología propuesta por Davis y Chace (1969), tomando 8 muestras de pulpa por tratamiento, correspondiendo a 2 muestras por fruto y se colocaron 5 g de pulpa en un vial y se selló. Posteriormente, se incubó a baño maría a 32 °C/10 min. Una vez incubados, se agitaron por 5 s. Finalmente, se extrajo con una jeringa 1 mL del espacio libre del vial y se inyectó para ser analizado en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard modelo 5890 II. Las temperaturas de operación fueron de 170°C en la columna (inyector inlet), 180°C en el Detector A o TCD (Detector de Conductividad Térmica), 180°C en el Detector B o FID (Detector de Ionización de Flama) y 150°C en el Horno.

Conjuntamente a la preparación de las muestras, se prepararon patrones con concentraciones conocidas de etanol y acetaldehídos (118.4 mg/100mL y 1.87 mg/100ml, respectivamente). Los resultados se expresaron como mg de etanol o acetaldehídos/100g de pulpa.

4.5 Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Para el experimento I, se utilizó un diseño experimental completamente al azar en cada periodo de evaluación (0, 4 y 8 días) y cada variedad se consideró como un tratamiento. Adicionalmente, se realizó un arreglo factorial 3x3, considerando como un factor el tiempo de almacenamiento (0, 4 y 8 días) y el otro la variedad (Jacona, Zamorana y Festival). Se utilizó 60 repeticiones en las variables color, sólidos solubles totales y firmeza, cada fruto fue una unidad experimental. En el caso de las variables Vitamina C, pH y acidez titulable se consideraron 10 repeticiones, con 5 frutos en cada repetición. Se realizó el análisis de varianza correspondiente y pruebas de comparación de medias por el método de Tukey a un nivel de significancia del 5%.

En el caso del experimento II, se analizó como un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3x2, el factor variedad con 3 niveles (Jacona, Zamorana y Festival) y el factor concentración de CO₂ con 2 niveles (0.03 y 15% de CO₂). Se realizó el análisis de varianza correspondiente y pruebas de comparación de medias por el método de Tukey a un nivel de significancia del 5%.

CAPITULO V

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 EXPERIMENTO I

5.1.1 Color externo

Respecto al valor L (Luminosidad) al momento de cosecha y después de 4 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ (figura 2), no se observaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre las tres variedades ('Zamorana', 'Jacona' y 'Festival'), no así después de 8 días de almacenamiento, donde la variedad Festival presentó un valor L (30.53) significativamente mayor ($p<0.05$) sólo respecto a la variedad Zamorana (29.07).

Durante el almacenamiento, se observó una disminución de la Luminosidad en las tres variedades; sin embargo, sólo en la variedad Zamorana se detectó una disminución significativa ($p<0.05$) en el valor L (31.01 a 29.07) tras 8 días de refrigeración (cuadro 4), lo que sugiere un cambio indeseable en su color inicial.

El análisis factorial (cuadro 4) permitió confirmar la disminución significativa ($p<0.05$) de Luminosidad después de 8 días de almacenamiento, la interacción de los factores tiempo de almacenamiento y variedad indicó que los frutos que presentaron mayor disminución de luminosidad fueron los de la variedad Zamorana almacenados por 8 días en refrigeración.

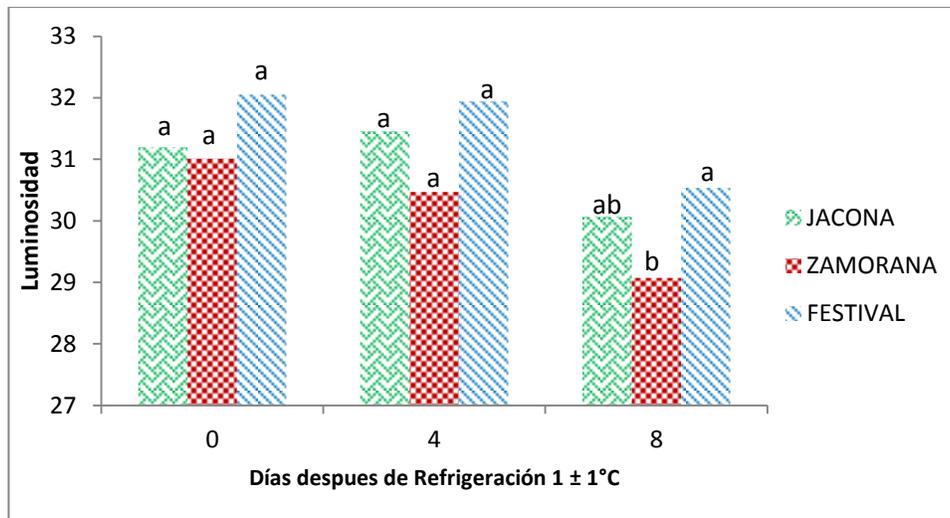


Figura 2. Luminosidad al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta color (Luminosidad).

FACTOR	Luminosidad
VARIEDAD	
Jacona	30.90 ab
Zamorana	30.18 b
Festival	31.51 a
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (días)	
0	31.42 a
4	31.28 a
8	29.89 b
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	31.2 ab
Jacona*4 días	31.24 ab
Jacona*8 días	30.07 bc
Zamorana*0 días	31.01 ab
Zamorana*4 días	30.46 abc
Zamorana*8 días	29.07 c
Festival*0 días	32.05 a
Festival*4 días	31.94ab
Festival*8 días	30.53 abc

El índice de saturación (Chroma) de la variedad Festival resultó significativamente mayor ($p < 0.05$) respecto a 'Zamorana' y 'Jacona' a los 0 y 8 días de almacenamiento, lo cual significó que su color fueron frutos más rojos (figura 3). En cambio, a los 4 días de almacenamiento no se mostró diferencia estadística ($p > 0.05$) entre variedades (figura 3). Conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, la saturación (Chroma) disminuyó significativamente ($p < 0.05$), así para 'Festival'

cambio de 29.61 a 25.19, Jacona de 28.27 a 22.24 y Zamorana de 27.59 a 22.81 (cuadro 5).

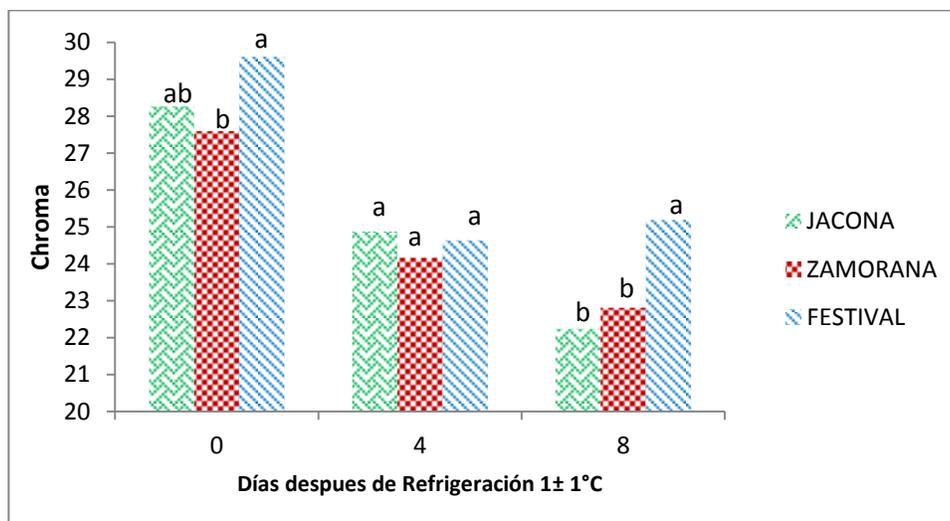


Figura 3. Valores Cromo al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta color (Chroma).

FACTOR	Croma
VARIEDAD	
Jacona	25.13 b
Zamorana	24.85 b
Festival	26.48 a
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (días)	
0	28.49 a
4	24.56 b
8	23.41 c
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	28.27 a
Jacona*4 días	24.87 b
Jacona*8 días	22.24 d
Zamorana*0 días	27.59 a
Zamorana*4 días	24.16 bcd
Zamorana*8 días	22.81 cd
Festival*0 días	29.61 a
Festival*4 días	24.64 bc
Festival*8 días	25.19 b

El ángulo de tono (Hue) al momento de cosecha no presentó diferencias significativas ($p>0.05$) entre las tres variedades; después de cuatro días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$, la variedad festival presentó un ángulo de tono (32.54) significativamente mayor ($p<0.05$) respecto a las variedades Jacona y Zamorana (27.29 y 27.01, respectivamente). Después de 8 días a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$, se observó que el

ángulo de tono de 'Jacona' fue significativamente mayor ($p < 0.05$) que el obtenido en la variedad Zamorana (figura 4). Durante el almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ el ángulo de tono aumentó de manera significativa ($p < 0.05$) después de 4 y 8 días (cuadro 6), la interacción de los factores tiempo de almacenamiento y variedad indicaron que los frutos con mayor incremento fueron los de la variedad Festival almacenados por 4 días (de 24.87 a 32.54). Todo lo cual resultó indicativo de cambios en el color rojo de los frutos conforme avanzó el tiempo de refrigeración, siendo significativos ($p < 0.05$) en la variedad Festival, lo que sugiere mayores pérdidas de la calidad en cuanto a este parámetro al ocurrir una oxidación de los pigmentos como lo reporta Zavala et al. (2004).

Los resultados obtenidos de Luminosidad y Chroma concuerdan con los obtenidos por Pelayo et al. (2003), quienes señalaron una degradación de la Luminosidad, saturación de color (Chroma) y ángulo de tono (Hue) durante almacenamiento a 5°C en tres variedades comerciales de fresa.

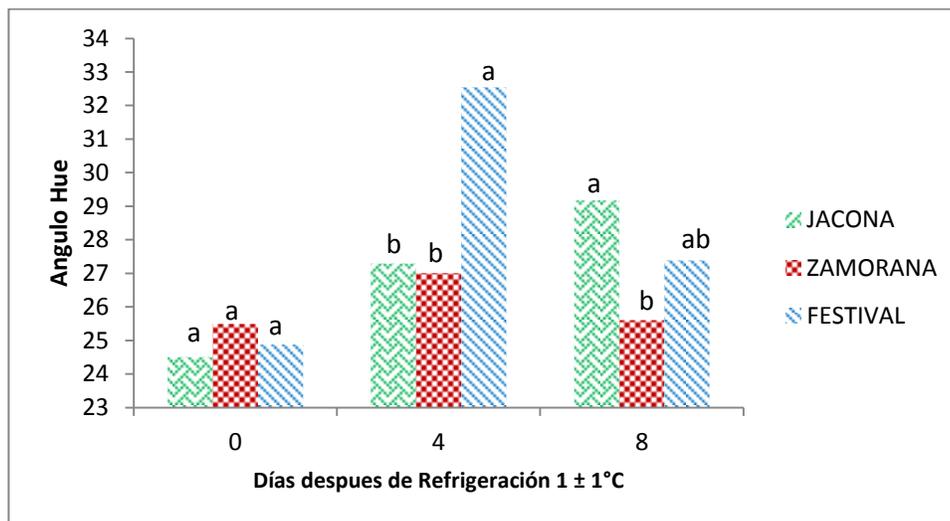


Figura 4. Angulo Hue al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta color (Hue).

FACTOR	Hue
VARIEDAD	
Jacona	26.99 ab
Zamorana	26.04 b
Festival	28.26 a
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (días)	
0	24.95 b
4	28.95 a
8	27.39 a
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	24.50 c
Jacona*4 días	27.29 bc
Jacona*8 días	29.17 ab
Zamorana*0 días	25.49 bc
Zamorana*4 días	27.01 bc
Zamorana*8 días	25.60 bc
Festival*0 días	24.87 c
Festival*4 días	32.54 a
Festival*8 días	27.39 bc

5.1.2 Firmeza

Los frutos de 'Festival' se mantuvieron con una firmeza superior en las tres evaluaciones (al momento de cosecha, 4 y 8 días de almacenamiento $1\pm 1^{\circ}\text{C}$). Sin embargo, en la evaluación al cuarto día de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$, no se observó diferencia significativa ($p>0.05$) entre las tres variedades 'Jacona', 'Zamorana' y 'Festival' con valores obtenidos de 1.14, 1.16 y 1.22 N, respectivamente. En la evaluación al momento de cosecha y a los 8 días de almacenamiento, 'Festival' tuvo los frutos más firmes, mientras que 'Jacona' y 'Zamorana' los más blandos (figura 5).

Los principales factores que pudieron influir en la firmeza de los frutos son la propia variedad, condiciones del medio ambiente durante el desarrollo del fruto tal como lo reportó Hancock(1999) y la época de cosecha (Paraskevopoulou y Vasilakakis, 1995; Çağlar y Paydas, 2002). Paraskevopoulou y Vasilakakis (1995) señalaron que las condiciones de almacenamiento, así como el periodo de almacenamiento pueden influir sobre este parámetro.

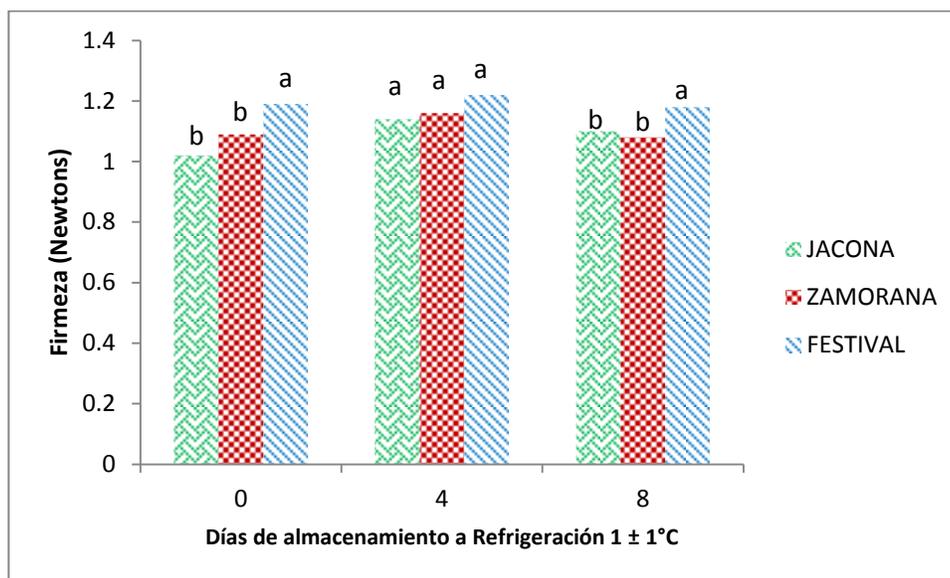


Figura 5. Firmeza al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a 1±1°C de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p≤0.05).

Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta firmeza.

FACTOR	Firmeza (N)
VARIEDAD	
Jacona	1.08 b
Zamorana	1.11 b
Festival	1.20 a
Tiempo de almacenamiento (días)	
0	1.10 b
4	1.17 a
8	1.12 b
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	1.02 c
Jacona*4 días	1.14 ab
Jacona*8 días	1.10 bc
Zamorana*0 días	1.09 bc
Zamorana*4 días	1.16 ab
Zamorana*8 días	1.08 bc
Festival*0 días	1.19 ab
Festival*4 días	1.22 a
Festival*8 días	1.18 ab

5.1.3 Sólidos Solubles Totales (°Brix):

La concentración de sólidos solubles totales (SST) en la variedad Festival evaluado al momento de cosecha fue estadísticamente superior ($p < 0.05$) respecto a las variedades 'Jacona' y 'Zamorana', obteniendo valores de 9.41°Brix para 'Festival', 7.84 y 7.75 °Brix para 'Jacona' y 'Zamorana', respectivamente (figura 6). Al cuarto día de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las tres variedades con 9.33, 8.27 y 9.58 °Brix, para 'Jacona', 'Zamorana' y 'Festival', respectivamente. En la evaluación de los frutos al octavo día, las tres variedades fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) mostrándose 'Festival' (10.4°Brix) superior a 'Jacona' (9.5°Brix) y 'Zamorana' (8.6°Brix). 'Festival' tuvo el mayor contenido de SST (cuadro 8), característica que acorde a Alavione y Crochon (1989) y Montero et al. (1996) podría atribuirse una mayor calidad frutos respecto a las demás variedades evaluadas. Bolaños et al. (2008) reportó valores de 8.5 a 6.3 °Brix para la variedad comercial Festival, los resultados obtenidos en el presente trabajo y en esta variable fueron superiores a los reportados por dicho autor, posiblemente debido por la propia variedad, las condiciones de crecimiento y época de cosecha, factores que diversos autores (Hamano et al., 2002; Hancock, 2009; Vasilakakis, 1995; Çağlar y Paydas, 2002) han indicado como influyentes en los valores de los parámetros de calidad a determinar.

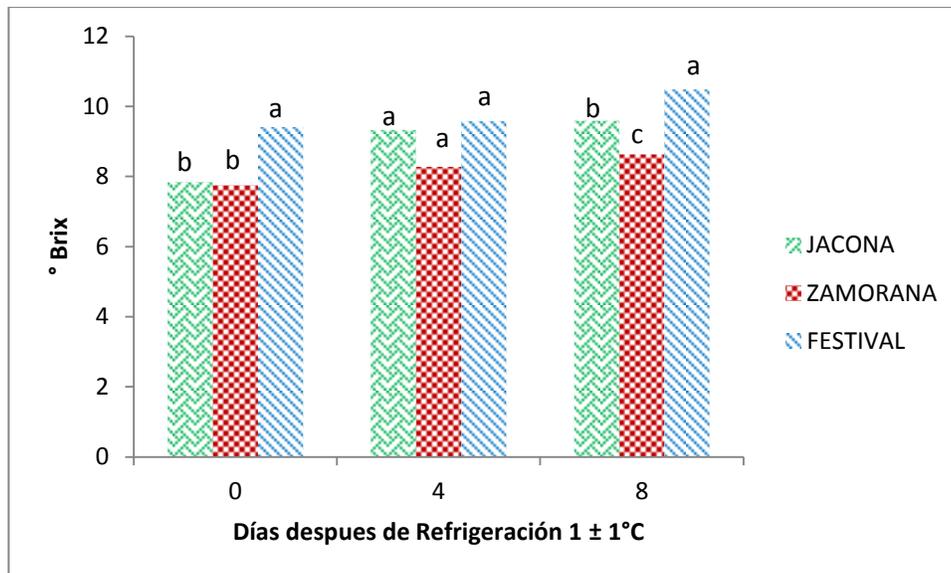


Figura 6. Grados Brix al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 8. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta $^{\circ}\text{Brix}$.

FACTOR	SST ($^{\circ}\text{Brix}$)
VARIEDAD	
Jacona	8.92 b
Zamorana	8.22 c
Festival	9.82 a
Tiempo de almacenamiento (días)	
0	8.33 c
4	9.06 b
8	9.57 a
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	7.84 d
Jacona*4 días	9.33 abc
Jacona*8 días	9.59 ab
Zamorana*0 días	7.75 d
Zamorana*4 días	8.27 cd
Zamorana*8 días	8.63 bcd
Festival*0 días	9.41abc
Festival*4 días	9.58 ab
Festival*8 días	10.48 a

5.1.4 pH

Respecto al pH del fruto, no existió diferencia estadística ($p > 0.05$) entre las variedades en la evaluación de este parámetro al momento de cosecha, 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ (figura 7). Las variedades se mantuvieron en un valor de pH de 3.9 ± 0.1 , los valores obtenidos fueron similares a los reportados por Palmer

y Kader (1996) y Nunes et al. (1994), valores de pH de 3.4-3.5, para diferentes variedades comerciales de origen estadounidense.

Después del almacenamiento por 4 y 8 días, no se presentaron cambios significativos ($p > 0.05$) en el pH (cuadro 9), lo cual indicó una conservación de la calidad en cuanto este parámetro.

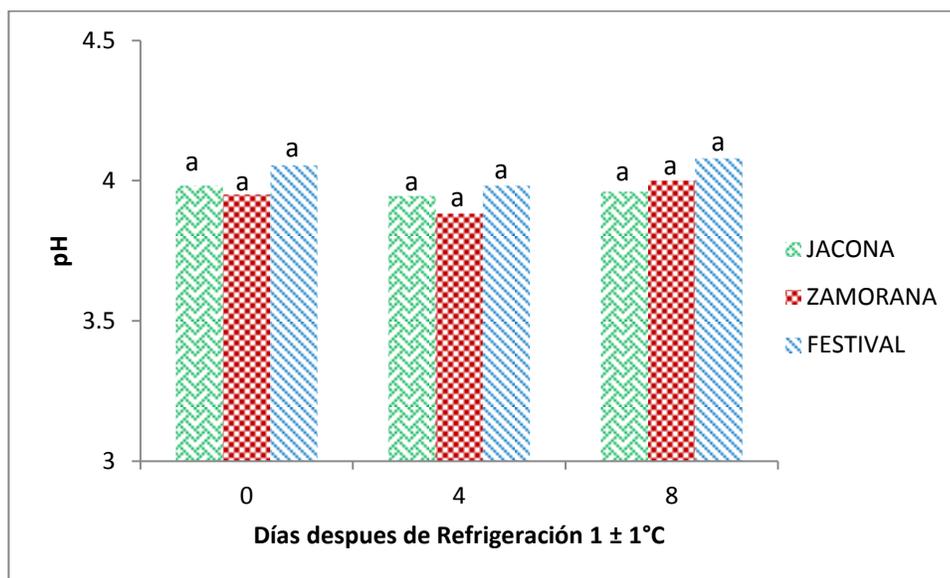


Figura 7. pH al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta pH

FACTOR	pH
VARIEDAD	
Jacona	3.96 a
Zamorana	3.94 a
Festival	4.02 a
Tiempo de almacenamiento (días)	
0	3.99 a
4	3.91 a
8	4.02 a
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	3.98 a
Jacona*4 días	3.94 a
Jacona*8 días	3.98 a
Zamorana*0 días	3.95 a
Zamorana*4 días	3.88 a
Zamorana*8 días	4.00 a
Festival*0 días	4.05 a
Festival*4 días	3.93 a
Festival*8 días	4.08 a

5.1.5 Acidez titulable:

En el momento de cosecha y después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$, se observó que la variedad Festival presentó estadísticamente ($p < 0.05$) menor contenido de acidez respecto a las variedades Jacona y Zamorana (figura 8 y cuadro 10). La variedad Festival presentó contenidos de ácido cítrico de 1.05, 1.08 y 1.08%

a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento, respectivamente (figura 8). Dichos valores fueron superiores ($p < 0.05$) a los reportados como aceptables por el consumidor (0.8%) según reportó Kader (1991). El almacenamiento por 4 y 8 días en refrigeración aumentó la acidez de los frutos; sin embargo, sólo la variedad Jaconá, tras 8 días de almacenamiento, presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto a la calidad inicial (cuadro 10).

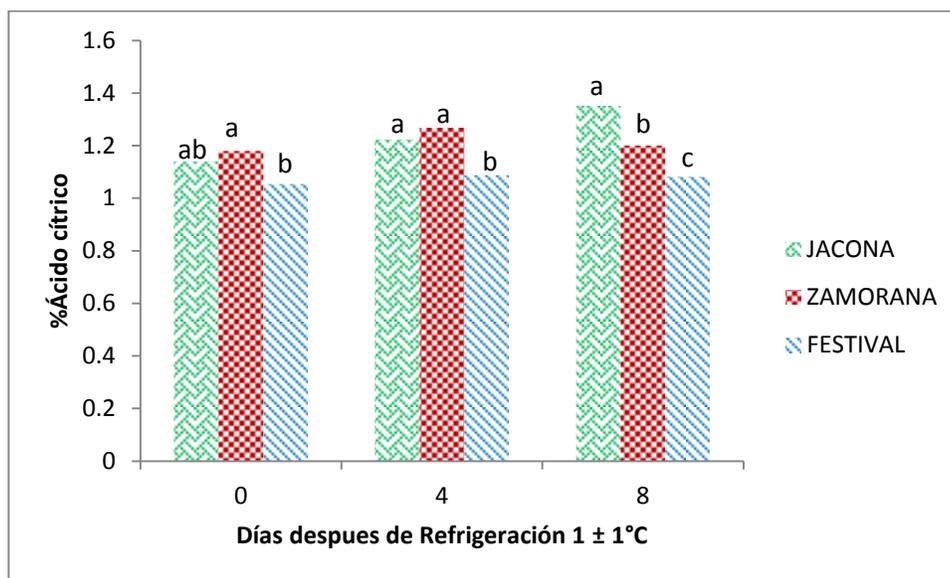


Figura 8. Porcentaje de ácido cítrico al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival

Cuadro 10. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta acidez titulable.

FACTOR	Ácido Cítrico (%)
VARIEDAD	
Jacona	1.23 a
Zamorana	1.21 a
Festival	1.06 b
Tiempo de almacenamiento (días)	
0	1.12 b
4	1.19 a
8	1.20 a
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	1.13 bcd
Jacona*4 días	1.22 abc
Jacona*8 días	1.35 a
Zamorana*0 días	1.18 bcd
Zamorana*4 días	1.26 ab
Zamorana*8 días	1.20 abcd
Festival*0 días	1.05 d
Festival*4 días	1.08 cd
Festival*8 días	1.06 d

5.1.6 Relación SST/Acidez titulable:

La relación azúcar/ácido en los frutos evaluados al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$, se observó (figura 9) que la variedad Festival presentó estadísticamente ($p < 0.05$) mayor calidad, respecto a las variedades Jacona y Zamorana. La variedad Festival presentó mayores resultados

del cociente de la relación azúcar/ácido (9.20, 9.03 y 10.24 a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento, respectivamente). Característica que acorde a Montero et al. (1996) y Kader (1991) les confiere mayor calidad para su consumo en fresco durante su exportación, debido a que el cociente de la relación azúcar/ácido es usado para determinar la aceptabilidad del consumidor.

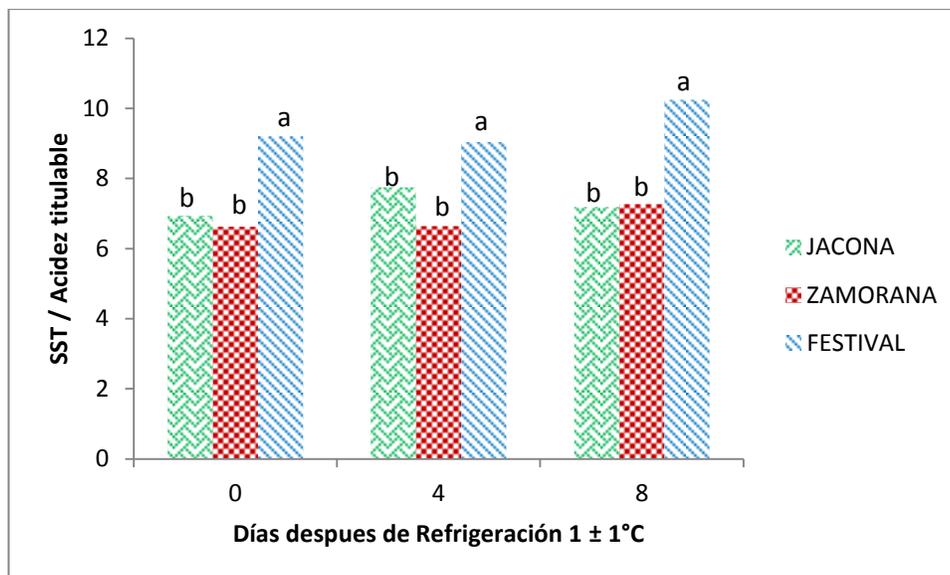


Figura 9. Relación °Brix/Ácido al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a 1±1°C de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p≤0.05).

Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta SST/acidez titulable.

FACTOR	SST/Acidez titulable
VARIEDAD	
Jacona	7.28 b
Zamorana	6.84 b
Festival	9.49 a
Tiempo de almacenamiento (días)	
0	7.58 a
4	7.80 a
8	8.23 a
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	6.93 bc
Jacona*4 días	7.74 abc
Jacona*8 días	7.18 bc
Zamorana*0 días	6.62 c
Zamorana*4 días	6.63 c
Zamorana*8 días	7.27 bc
Festival*0 días	9.20 ab
Festival*4 días	9.03 abc
Festival*8 días	10.24 a

5.1.7 Contenido de Vitamina C:

El contenido de ácido ascórbico (Vitamina C) de las variedades Jacona Zamorana y Festival no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) al momento de cosecha, tampoco después de 4 y 8 días en refrigeración. El almacenamiento por 4 y 8 días en refrigeración permitió mantener la calidad inicial de los frutos (figura 10 y cuadro 12).

Las concentraciones de ácido ascórbico obtenidos se encontraron en un rango de 38 ± 5 . Lee y Kader (2000a) reportaron valores de contenido de Vitamina C para fruto fresco de fresa 'Elvira' de 65 mg/100 g. Los valores obtenidos en el presente estudio fueron menores a los reportados por Lee y Kader (2000a) posiblemente influenciado por varios factores tales como diferencias genotípicas, las condiciones climáticas antes de la cosecha y las prácticas culturales, métodos de maduración y de cosecha, procedimientos de manejo postcosecha y altas concentraciones de fertilizantes nitrogenados, estos factores tienden a disminuir el contenido de vitamina C en frutas.

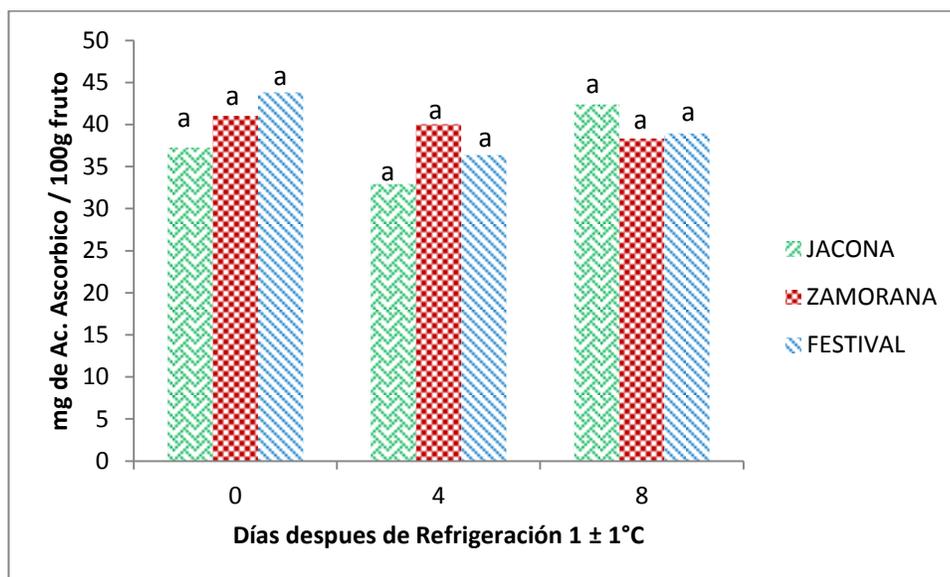


Figura 10. Contenido de ácido ascórbico al momento de cosecha, después de 4 y 8 días de almacenamiento a $1 \pm 1^\circ\text{C}$ de las variedades Jacona, Zamorana y Festival. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y tiempo de almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la variable de respuesta contenido de vitamina C.

FACTOR	VITAMINA 'C' (mg/100g)
VARIEDAD	
Jacona	37.508 a
Zamorana	39.79 a
Festival	39.71 a
Tiempo de almacenamiento (días)	
0	40.69 a
4	36.44 a
8	39.87 a
VARIEDAD*TIEMPO	
Jacona*0 días	37.22 a
Jacona*4 días	32.93 a
Jacona*8 días	42.36 a
Zamorana*0 días	41.01 a
Zamorana*4 días	40.03 a
Zamorana*8 días	38.32 a
Festival*0 días	43.83 a
Festival*4 días	36.36 a
Festival*8 días	38.93 a

5.2 EXPERIMENTO II

5.2.1 Pérdidas de Peso (% pp)

De acuerdo con los resultados obtenidos (cuadro 13), al finalizar el almacenamiento de los frutos durante 8 días a $2\pm 1^{\circ}\text{C}$ se observó que el factor variedad no influyó en el comportamiento de pérdida de peso al no presentar diferencias significativas ($p>0.05$) en los valores determinados. Tampoco existieron diferencias significativas ($p>0.05$) que indicaran un efecto en la pérdida de peso debido a la diferencia de concentración de CO_2 en la atmósfera circundante (0.03% y 15%).

Los 6 tratamientos (resultado de la combinación de los factores variedad y concentración de CO_2) no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) en la variable pérdidas de peso, lo que indicó que los frutos de las variedades Jacona, Zamorana y Festival almacenados en una atmósfera de 0.03% y 15% de CO_2 se comportaron de manera similar.

Cuadro 13. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ en la variable pérdida de peso.

FACTOR	Pérdida de peso (%)
VARIEDAD	
Jacona	2.15 a
Zamorana	1.92 a
Festival	1.72 a
[CO₂]	
0.03%	1.86 a
15%	2.00 a
VARIEDAD*[CO₂]	
Jacona*0.03%	1.49 a
Jacona*15%	1.94 a
Zamorana*0.03 %	2.26 a
Zamorana*15 %	1.58 a
Festival*0.03%	1.81 a
Festival*15%	2.49 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

5.2.2 Firmeza

Respecto a la variable firmeza, se observó que no existió diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los frutos de las variedades estudiadas, ni entre frutos con atmósfera ambiental y la atmósfera controlada; lo que permitió asumir que frutos de variedades Jacona, Zamorana y Festival almacenados durante 8 días a $2 \pm 1^\circ\text{C}$ en aire no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto a los frutos de dichas variedades bajo las mismas condiciones de tiempo y temperatura, y con atmósfera controlada a una concentración de CO₂ del 15% (Cuadro 14).

Cuadro 14. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ en la variable firmeza.

FACTOR	Firmeza (N)
VARIEDAD	
Jacona	0.752 a
Zamorana	0.693 a
Festival	0.84 a
[CO₂]	
0.03%	0.775 a
15%	0.748 a
VARIEDAD*[CO₂]	
Jacona*0.03%	0.733 a
Jacona*15%	0.771 a
Zamorana*0.03 %	0.675 a
Zamorana*15 %	0.711 a
Festival*0.03%	0.918 a
Festival*15%	0.761 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

Es de señalar que con relación a la firmeza inicial, los frutos de las variedades Jacona y Zamorana presentaron, tras 8 días de almacenamiento a $2 \pm 1^\circ \text{C}$, una firmeza significativamente ($p < 0.05$) menor; no observándose diferencias ($p < 0.05$) por efecto del tratamiento con CO₂ (Figura 11). No así en los frutos de la variedad Festival, donde no presentó una disminución significativa ($p < 0.05$) de la firmeza después de los tratamientos bajo refrigeración (8 días a $2 \pm 1^\circ \text{C}$) con aire y con 15% de CO₂ (Figura 11). De acuerdo con Larsen y Watkins (1995), quienes observaron que tratamientos con 20% de CO₂ almacenados por 12 días a 0°C se mantuvo la firmeza de los frutos, lo que coincide con lo encontrado en la variedad Festival en el presente estudio. Estos resultados ponen de manifiesto un efecto de senescencia

más acelerado en las variedades mexicanas, manifestada por un rápido ablandamiento.

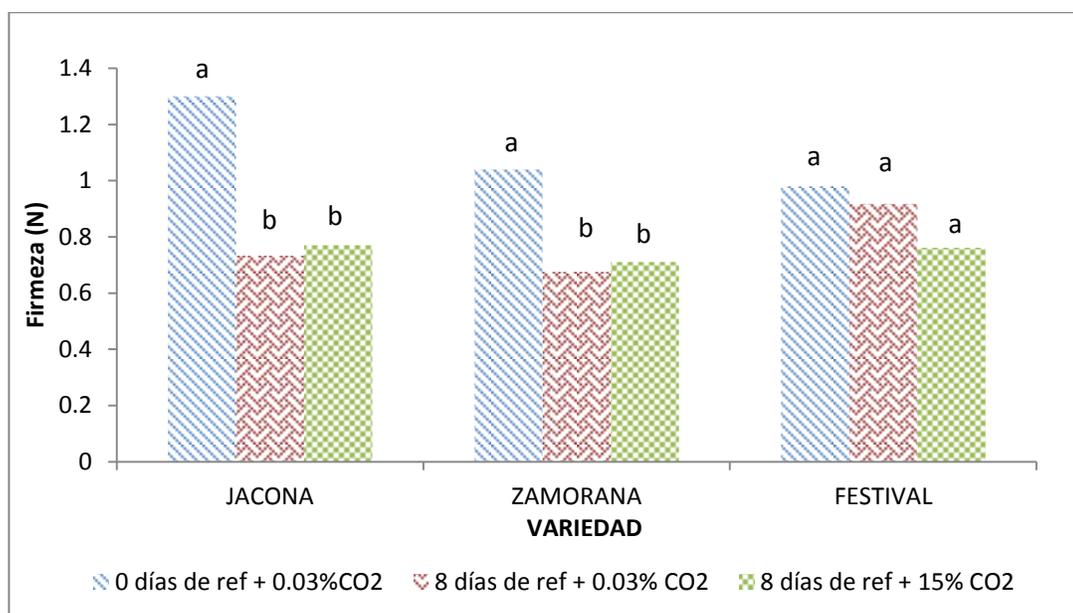


Figura 11. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable firmeza, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

5.2.3 Color externo

Luminosidad

Después del tiempo de almacenamiento establecido 8 días a 2 ± 1 °C en atmósfera normal (aire) y con 15% de CO₂, se encontró que el factor variedad afectó significativamente ($p < 0.05$) los valores de Luminosidad al final del tratamiento; la variedad Festival presentó significativamente ($p < 0.05$) mayor valor de Luminosidad, respecto a la variedad Jacona y Zamorana. También, se observó que las concentraciones de CO₂ durante el almacenamiento, no influyeron en la Luminosidad de los frutos dentro de cada variedad, al no presentarse diferencias significativas ($p > 0.05$) en los valores determinados de dicho parámetro (Cuadro 15).

De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 12) después del almacenamiento durante 8 días a 2 ± 1 °C, los frutos cv. Festival y Zamorana mantenidos en una atmosfera con 0.03% y 15% de CO₂, presentaron una disminución significativa ($p < 0.05$) de Luminosidad respecto al momento de corte. En tanto que en la variedad Festival, la Luminosidad no fue afectada después de los tratamientos.

Holcroft y Kader (1999) reportaron valores de Luminosidad de alrededor de 38 en frutos de la variedad Selva almacenados a en atmosfera controlada (20 kPa CO₂), sin cambios durante su almacenamiento por 10 días, respuesta que en la presente investigación se observó en los frutos de la variedad Festival. Estos resultados evidencian el mayor avance en la senescencia de las variedades Jacona y Zamorana.

Angulo Hue

Después del almacenamiento de los frutos, los datos (cuadro 15) mostraron que en relación al ángulo Hue no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) por efecto de la variedad, así como por la concentración de CO₂; tampoco se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los 6 tratamientos resultantes de las combinaciones de los factores variedad y concentración de CO₂.

En la figura 13 se muestra que los frutos de las tres variedades estudiadas (Jacona, Zamorana y Festival) presentaron una disminución del ángulo Hue después del almacenamiento respecto a los frutos evaluados al momento de corte, lo que resultó indicativo de cambios en la coloración roja de los frutos, más por efectos de oxidación de pigmentos debido al avance de la senescencia que por un aumento en dichos pigmentos. En este sentido, Ayala-Zavala et al. (2004) reportaron que el

contenido total de antocianinas fue afectado por la temperatura y periodo de almacenamiento; el contenido de antocianinas decreció en los frutos de fresa almacenados a 0 y 5 °C durante los primeros 5 días.

Croma

Los valores del croma o índice de saturación (Chroma) de los frutos de las variedades Jacona, Zamorana y Festival almacenados durante 8 días a $2\pm 1^{\circ}\text{C}$ no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) por el factor concentración de CO_2 en la atmosfera (0.03% y 15%); no así en el factor variedad donde se observaron diferencias significativas ($p<0.05$), en cuyo caso la variedad Festival presentó los mayores valores (Cuadro 15). Los resultados de los 6 tratamientos también mostraron que los frutos de la variedad Festival expuestos a 15% de CO_2 , presentaron el mayor valor de croma respecto a los demás tratamientos, siendo también indicativo de un menor avance de la senescencia. Respecto al tiempo de almacenamiento, no se presentaron diferencias ($p>0.05$) en el Chroma dentro de cada variedad (Figura 14), respuesta coincidente con lo reportado por Holcroft y Kader (1999) donde no hubo diferencias significativas ($p>0.05$) del valor de croma en frutos almacenados por 0, 5 y 10 días en una atmósfera controlada (20 kPa CO_2) a 5 °C.

Cuadro 15. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ en la variable de respuesta color (Luminosidad, Hue y Cromo).

FACTOR	Luminosidad	Hue	Croma
VARIEDAD			
Jacona	27.965 b	23.892 a	23.017 b
Zamorana	28.2 b	22.310 a	21.832 b
Festival	31.585 a	23.135 a	28.622 a
[CO₂]			
0.03%	29.76 a	22.463 a	25.022 a
15%	28.74 a	23.762 a	23.958 a
VARIEDAD*[CO₂]			
Jacona*0.03%	28.365 ab	23.643 a	22.685 b
Jacona*15%	27.565 b	24.140 a	23.348 b
Zamorana*0.03 %	27.965 b	19.694 a	22.049 b
Zamorana*15 %	28.435 ab	24.926 a	21.615 b
Festival*0.03%	32.950 a	24.050 a	30.332 a
Festival*15%	30.220 ab	22.220 a	26.911 ab

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p≤0.05)

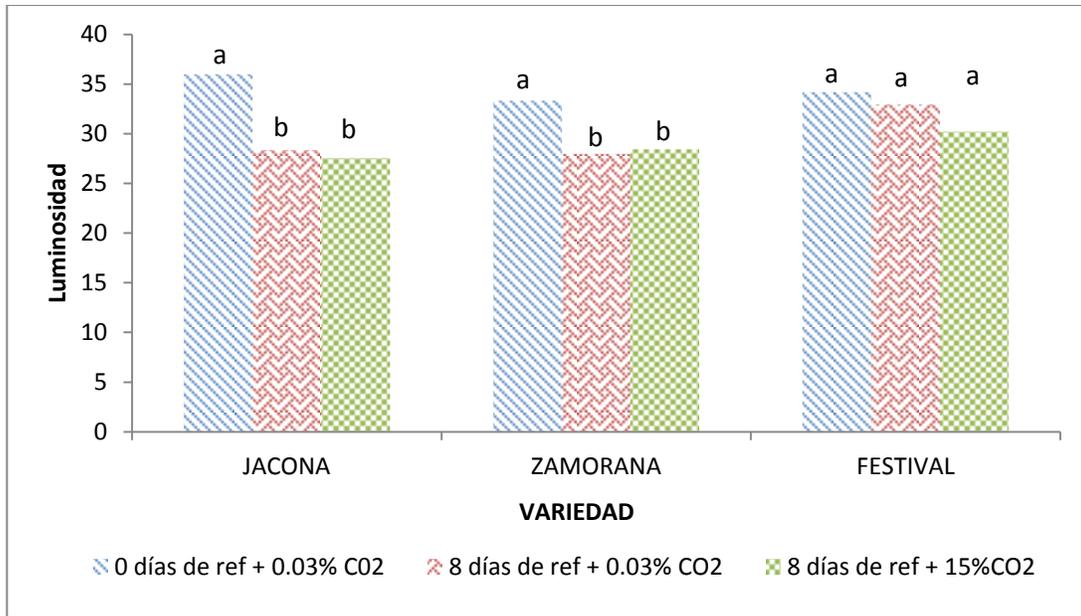


Figura 12. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable color (luminosidad), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

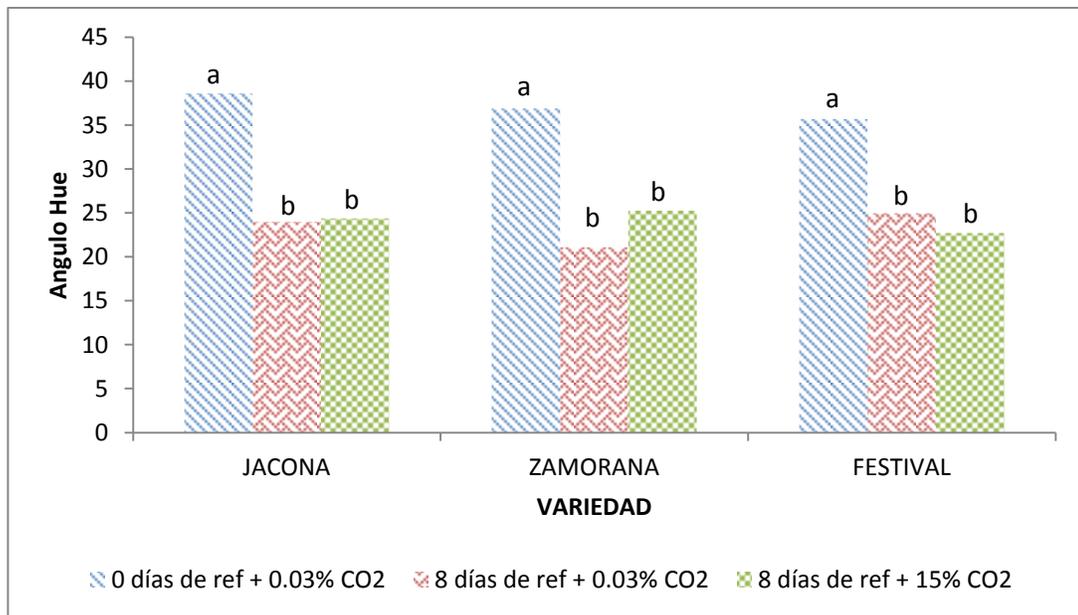


Figura 13. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable color (Ángulo Hue), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

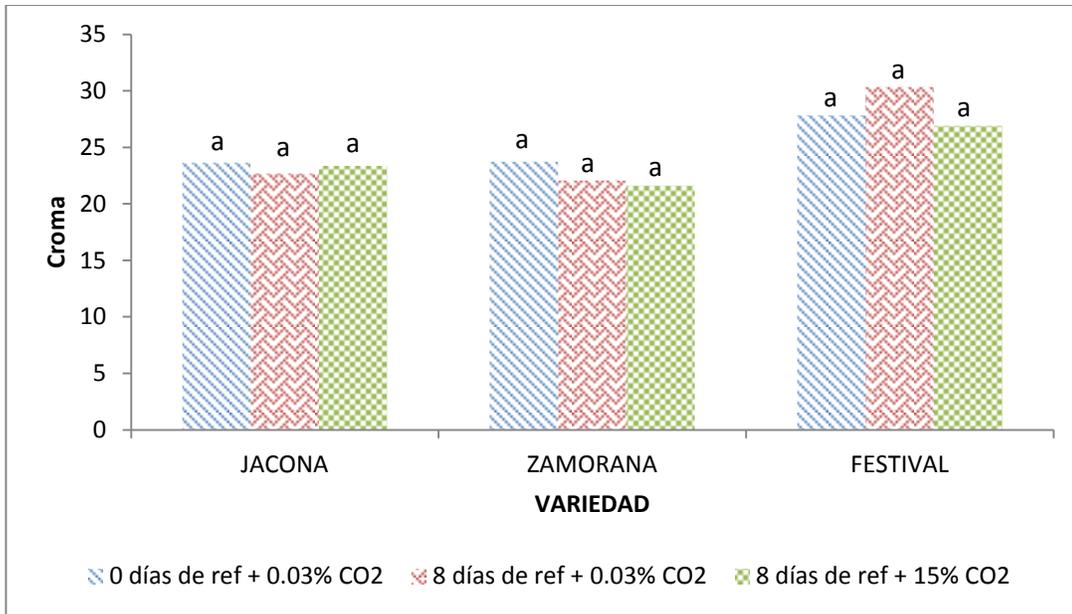


Figura 14. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable color (croma), en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

5.2.4 Sólidos Solubles Totales (SST):

Los frutos de la variedad Festival presentaron después del almacenamiento durante 8 días a $2 \pm 1^\circ\text{C}$, un contenido de sólidos solubles totales significativamente mayor ($p < 0.05$) respecto a los frutos de Zamorana (Cuadro 16), lo que se asoció a pérdidas del contenido de SST en esta última durante el almacenamiento (Figura 15). Estadísticamente no se observaron diferencias ($p > 0.05$) por efecto del tratamiento de CO_2 , tampoco por la interacción variedad y concentración de CO_2 (Cuadro 7).

Cuadro 16. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ en la variable de respuesta Solidos solubles totales (°Brix).

FACTOR	SST (°Brix)
VARIEDAD	
Jacona	6.7833 ab
Zamorana	6.0083 b
Festival	7.9 a
[CO₂]	
0.03%	6.9667 a
15%	6.8278a
VARIEDAD*[CO₂]	
Jacona*0.03%	6.8667 a
Jacona*15%	6.7 a
Zamorana*0.03 %	5.9667 a
Zamorana*15 %	6.05 a
Festival*0.03%	8.0667 a
Festival*15%	7.7333 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

Con relación al valor inicial, la respuesta a los tratamientos por variedad no reveló diferencias significativas ($p > 0.05$) en el contenido de SST tras el tiempo de almacenamiento establecido; si bien, en la variedad Zamorana se observó una mayor tendencia a disminuir (Figura 15) principalmente como respuesta al tiempo de almacenamiento, manifestando por consiguiente pérdidas más aceleradas del sabor. Después de un periodo de refrigeración, la conservación o disminución del contenido de solidos solubles totales depende de la variedad así Pelayo et al. (2003) reporta una disminución de sólidos solubles totales en frutos de la variedad Selva en tanto

que las variedades Diamante y Aromas no presentan cambios, almacenados a 5 °C por 9 días. El almacenamiento en aire o con CO₂ es un factor que no influye en el contenido de sólidos solubles totales, como se observó en la presente investigación y en lo reportado por Pelayo-Zaldívar et al. (2007).

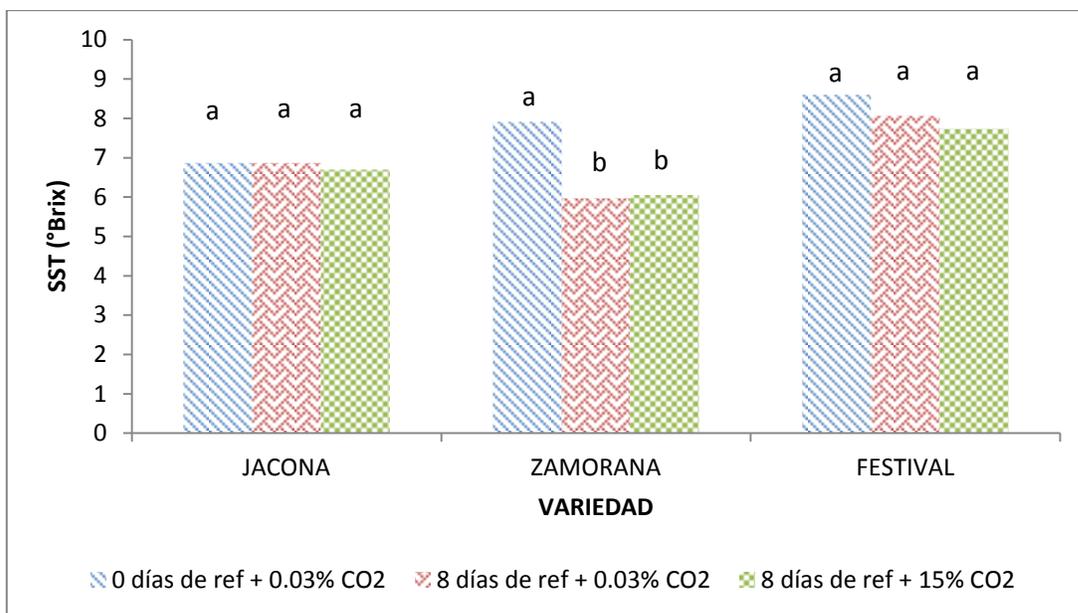


Figura 15. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable Grados Brix, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

5.2.5 pH

Tras un almacenamiento por 8 días a $2 \pm 1^\circ\text{C}$, el pH de la pulpa resultó estadísticamente diferente ($p < 0.05$) debido al efecto variedad, siendo mayor 'Festival', respecto a 'Jacona' (Cuadro 17). Con relación al efecto tratamiento, los frutos expuestos a la concentración de 15% de CO₂ mostraron significativamente ($p < 0.05$) menor valor de pH; por su parte, de acuerdo con la interacción de ambos

factores, la variedad Zamorana fue la que significativamente mostró los menores valores (Cuadro 17).

Cuadro 17. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ en la variable de respuesta pH.

FACTOR	pH
VARIEDAD	
Jacona	3.78 b
Zamorana	3.83 ab
Festival	3.96 a
[CO₂]	
0.03%	3.92 a
15%	3.80 b
VARIEDAD*[CO₂]	
Jacona*0.03%	3.96 a
Jacona*15%	3.60 b
Zamorana*0.03 %	3.83 ab
Zamorana*15 %	3.83 ab
Festival*0.03%	3.96 a
Festival*15%	3.96 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

De acuerdo a la figura 16, en las variedades Zamorana y Festival el pH aumentó, tanto en atmósfera con 15% de CO₂ como en aire, respecto al valor al momento de cosecha; no así en la variedad Jacona donde el tratamiento con 15% de CO₂ mantuvo el pH similar al valor inicial. Contrario a lo encontrado Cordenunsi et al. (2003) no reportó cambios en el pH después del almacenamiento a 6 °C por 6 días, Pelayo et al. (2007) quienes tampoco reportaron cambios de pH y acidez titulable en los frutos almacenados a 5 °C por 6 días en atmósfera con 20 kPa de CO₂, pero si

pérdidas significativas de ácidos orgánicos totales y ácido cítrico respecto a los frutos almacenados a 5 °C por el mismo periodo en atmósfera normal (aire).

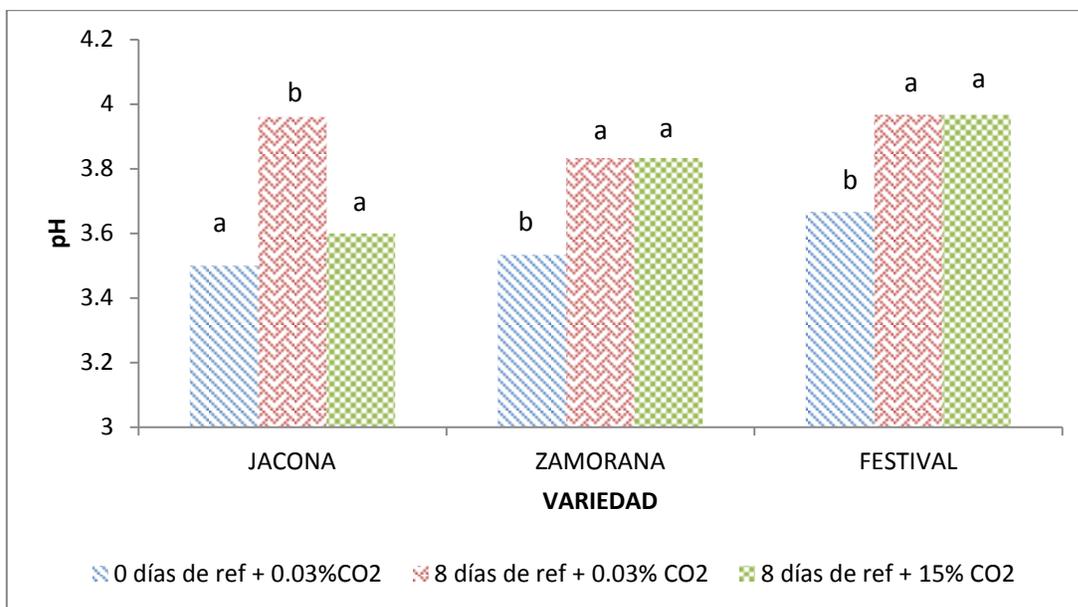


Figura 16. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable pH, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

5.2.6 Acidez titulable:

Con relación al contenido de ácido cítrico (cuadro 18), la variedad Jacona presentó, tras las condiciones de almacenamiento establecidas, significativamente ($p < 0.05$) el mayor contenido de ácido cítrico, respecto a 'Festival'. Estadísticamente no se presentaron diferencias ($p > 0.05$) por efecto de la concentración de CO₂, tampoco debido a la interacción (Cuadro 18).

Cuadro 18. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ en la variable de respuesta contenido de acidez titulable.

FACTOR	Ácido cítrico (%)
VARIEDAD	
Jacona	0.88 a
Zamorana	0.81 ab
Festival	0.73 b
[CO₂]	
0.03%	0.81 a
15%	0.80 a
VARIEDAD*[CO₂]	
Jacona*0.03%	0.87 a
Jacona*15%	0.89 a
Zamorana*0.03 %	0.84 a
Zamorana*15 %	0.79 a
Festival*0.03%	0.74 a
Festival*15%	0.72 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

Si bien el contenido de ácido cítrico en cada variedad disminuyó, respecto al inicial, tras los tratamientos establecidos, este comportamiento sólo fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en la variedad Zamorana, lo que explica el mayor valor de pH mencionado anteriormente. El contenido de ácido cítrico de los frutos fue en promedio 1% para Jacona y Festival, 1.2 para Zamorana al momento de cosecha, después de transcurrir el almacenamiento (8 días a $2 \pm 1^\circ\text{C}$ con y sin atmósfera controlada) dicho contenido disminuyó hasta 0.8% en las 3 variedades (figura 17). Valores entre 0.6 y 0.7%, después de la refrigeración a 6°C por 6 días, son

reportados por Cordenunsi et al. (2003), de igual forma Holcroft y Kader (1999) reportaron una disminución de acidez después del almacenamiento por 10 días en una atmósfera controlada (20 kPa CO₂) a 5 °C.

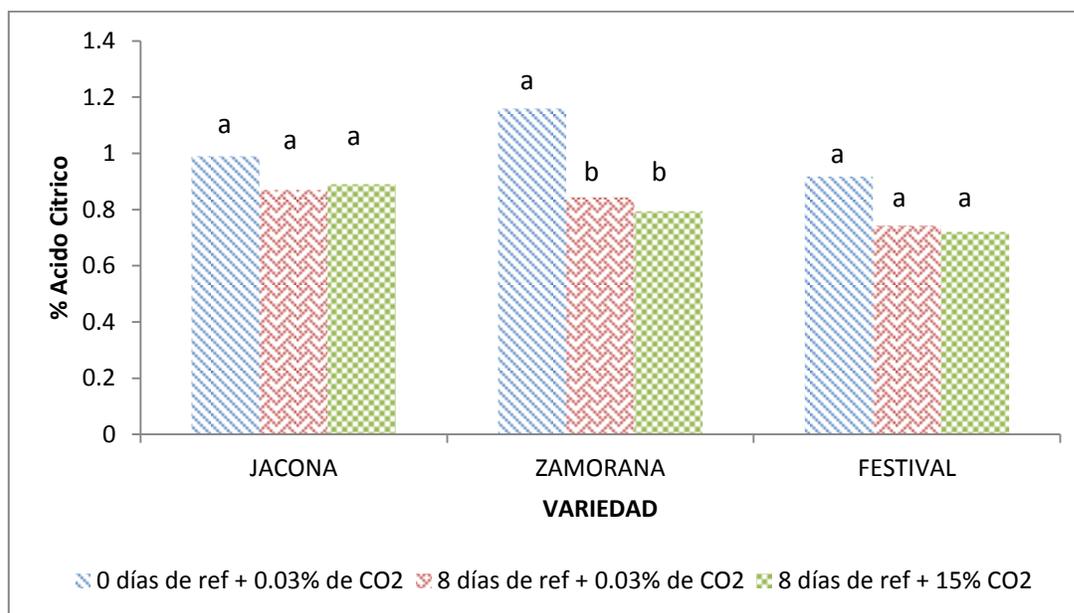


Figura 17. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable acidez titulable, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

5.2.7 Contenido de Vitamina C:

De acuerdo con los resultados obtenidos en la concentración de ácido ascórbico (cuadro 19), se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) por efecto de la variedad, siendo la variedad Festival la de mayor concentración superando en 24% a 'Zamorana'. Por otro lado, el tratamiento con CO₂ (15%) mantuvo, significativamente ($p < 0.05$), un mayor contenido de este compuesto. En la interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$); sin embargo, los frutos de las tres variedades tratados con CO₂, se mantuvieron con mayor contenido de esta vitamina (Cuadro 19).

Cuadro 19. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ en la variable de respuesta Vitamina C.

FACTOR	Vitamina C (mg/100g)
VARIEDAD	
Jacona	43.772 ab
Zamorana	36.812 b
Festival	45.790 a
[CO₂]	
0.03%	39.354 b
15%	44.894 a
VARIEDAD*[CO₂]	
Jacona*0.03%	38.607 b
Jacona*15%	48.937 a
Zamorana*0.03 %	33.670 b
Zamorana*15 %	39.953ab
Festival*0.03%	39.503 ab
Festival*15%	41.75 ab

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

El análisis por variedad del contenido de ácido ascórbico (Figura 18), mostró que 'Jacona' y 'Zamorana' no presentaron cambios significativos ($p > 0.05$) respecto al valor inicial por efecto de las condiciones de almacenamiento; no así en la variedad Festival donde el contenido de ácido ascórbico tendió a disminuir significativamente ($p < 0.05$), lo que supone una tendencia a perder ácido ascórbico al avanzar la senescencia. Lo anterior conduce que la pérdida del contenido de vitamina C en los frutos puede ser influenciado por factores como la variedad y forma de almacenamiento, Lee y Kader (2000a) mostraron que la pérdida de la vitamina C

después de la cosecha se reduce en frutos almacenados en atmósferas con 10% de CO₂.

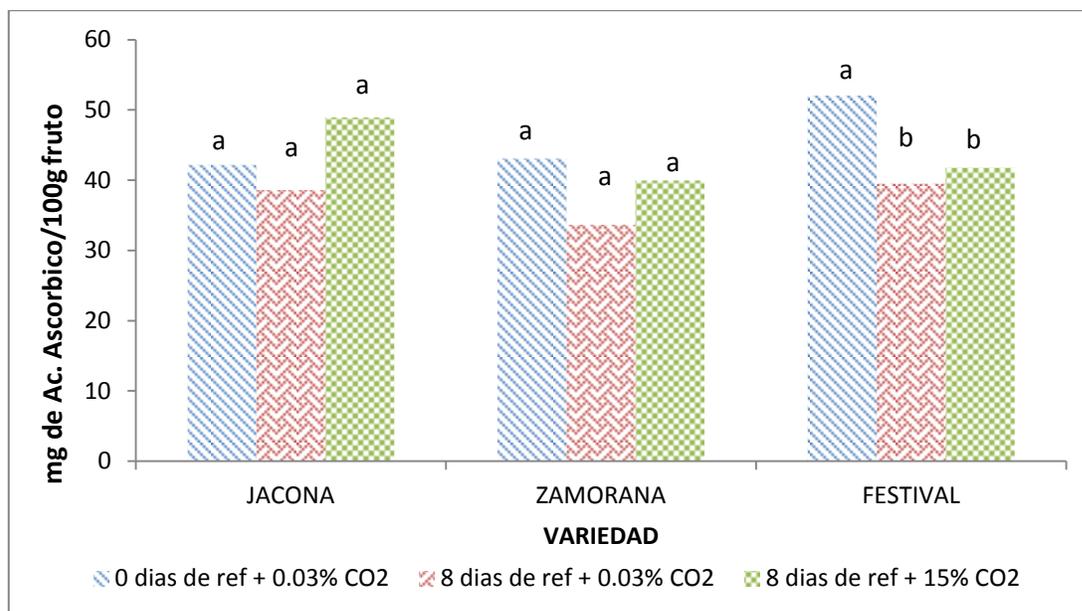


Figura 18. Resultados del análisis de varianza (p-value) para la variable contenido de Vitamina C, en frutos evaluados al momento de cosecha y después de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

5.2.8 Etanol y acetaldehído

De acuerdo con los resultados obtenidos tras 8 días a 2 ± 1 °C, los frutos tratados con CO₂ 15% incrementaron, de manera significativa ($p < 0.05$), el contenido de etanol y acetaldehídos en la pulpa (Cuadro 20), siendo la variedad Festival la más proclive a acumular estos metabolitos. La combinación de los factores variedad y concentración de CO₂ (6 tratamientos) indicó que los frutos con un contenido mayor de etanol y acetaldehído fueron los de la variedad Festival almacenados en atmósfera controlada (15% de CO₂) con valores de 33.95 y 12.06 mg/100g, respectivamente (cuadro 20). El incremento de metabolitos fermentativos ha sido reportado en frutos

almacenados a 5 °C en atmósferas con aire más 20kPa CO₂, en contraste con frutos almacenados a 5 °C, los cuales no presentaron un incremento (Pelayo et al., 2003). Larsen y Watkins (1995) reportaron valores de 36.6 mg/100g de etanol y 1.38 mg/100g de acetaldehído, en frutos de tratados con 20% de CO por 12 días a 0 °C, dichos compuestos reflejaron un ligero mal sabor. De igual forma los frutos de la variedad Festival presentaron un ligero aroma y sabor característico de fermentación después del almacenamiento, lo que no sucedió en frutos de las variedades Jacona y Zamorana.

Cuadro 20. Resultados del análisis de varianza (p-value); efectos principales e interacción de los factores variedad y concentración de CO₂ en la variable de respuesta contenido de etanol y acetaldehído.

FACTOR	Etanol (mg/100g)	Acetaldehído (mg/100g)
VARIEDAD		
Jacona	10.60 b	3.35 b
Zamorana	11.23 b	3.63 b
Festival	20.39 a	7.08 a
[CO2]		
0.03%	3.64 b	1.65 b
15%	24.5 a	7.72 a
VARIEDAD*[CO2]		
Jacona*0.03%	4.1 c	1.56 c
Jacona*15%	17.10 b	5.14 b
Zamorana*0.03 %	0.0 c	1.30 c
Zamorana*15 %	22.46 b	5.97 b
Festival*0.03%	6.84 c	2.09 c
Festival*15%	33.95 a	12.06 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

1. El almacenamiento a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 4 y 8 días provocaron cambios principalmente en el color; así en las variedades Jacona, Zamorana y Festival la luminosidad disminuyó en los frutos almacenados por 8 días lo que no ocurrió en frutos almacenado por 4 días, el valor cromático disminuyó en ambos periodos de almacenamiento, y el ángulo Hue incrementó en frutos de la variedad Festival almacenado por 4 días, indicando mayor pérdida de calidad por oxidación de los pigmentos.
2. El contenido de vitamina C, pH, sólidos solubles totales y la firmeza del fruto de las variedades Festival, Jacona y Zamorana no fueron afectados por el almacenamiento de 4 y 8 días a $1\pm 1^{\circ}\text{C}$
3. La variedad Festival presentó al final del almacenamiento ($1\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 8 días) frutos más firmes, con mayor contenido sólidos solubles totales y menor porcentaje de acidez titulable respecto a las variedades Jacona y Zamorana. Los frutos de la variedad Jacona presentan después de la variedad Festival mayor contenido de sólidos solubles, de igual forma la variedad Zamorana presentan después de la variedad Festival menor porcentaje de acidez.
4. Las diferencias en las concentraciones de CO_2 durante el almacenamiento ($2\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 8 días) no influyen en los cambios de luminosidad, croma, ángulo de tono, firmeza, sólidos solubles y pérdidas de peso de los frutos.

5. Los frutos de la variedad Festival y Zamorana almacenados sin y con atmosfera controlada (15 % CO₂) por 8 días a 2±1°C presentan un incremento significativo de pH y disminución de acidez respecto a los frutos evaluados al momento de corte.
6. Los frutos almacenados con una concentración de 15% de CO₂ mantienen un mayor contenido de Vitamina C, respecto a los frutos almacenados con 0.03%.
7. Después del almacenamiento por 8 días a 2±1°C, el contenido de etanol y acetaldehído incrementó de manera significativa en frutos con atmosfera controlada (15% de CO₂) respecto a los frutos almacenados sin adición de CO₂ (0.03% de CO₂), la variedad con mayor formación de etanol y acetaldehído es la Festival.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas de evaluación sensorial que permitan determinar cuál de las nuevas variedades tiene mayor preferencia por los consumidores.

Determinar el umbral de concentración de CO₂ y tiempo de almacenamiento que mantengan las características organolépticas del fruto.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

Agar, T., J. Streif y F. Bangerth. 1997. Effect of high CO₂ and controlled atmosphere (CA) on the ascorbic and dehydroascorbic acid content of some berry fruits. *Postharvest Biology and Technology*. 11:47-55

Ares, G., S. Barrios., C. Lareo, and P. Lema. 2009. Development of a sensory quality index for strawberry based on correlation between sensory data and consumer perception. *Postharvest Biology and Technology*. 52:97-103.

Ayala-Zavala J. F., S. Y. Wang, C. Y. Wang y G. A. González-Aguilar. 2004. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *Swiss Society of Food Science and Technology*. 37:687-695.

Avigdor-Avidov, H. 1986. Strawberry. *In: S. P. Monselise (ed.). Fruit set and development*. CRS Press. Boca Raton, Mg, Florida. USA. pp: 419-448.

Azodanlou, R., C. Darbellay., J. L. Luisier., J. C. Villettaz, and R. Amado. 2003. Quality assessment of strawberries (*Fragaria* species). *J. Agric. Food Chem.* 51: 715–721.

Bodelón, G. O., M. Blanch, M.T. Sánchez B., M. I. Escribano, C. Merodio. 2010. The effects of high CO₂ levels on anthocyanin composition, antioxidant activity and soluble sugar content of strawberries stored at low non-freezing temperature. *Food Chem.* 122: 673– 678.

Cameron, J. S. and C. A. Hartley. 1990. Gas exchange characteristics of *Fragaria chiloensis* germplasm. HortScience 25: 327-329.

Chaves N., A. Wang. 2004. Combate del moho gris (*Botrytis Cinerea*) de la fresa mediante *gliocladium Roseum*. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica. 28 (2): 73-85.

Cordenunsi, B. J. Oliveira., M. Genoves, and F. Lajolo. 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. J. Agric. Food Chem. 50: 2581-2586.

Cordenunsi, B.R., J.R.O. Nascimento, and F. M. Lajolo. 2003. Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. Food Chem. 83: 167–173.

Corrales, G. J. J. 1995. Respuestas fisiológicas de frutos de aguacate a la frigoconservación controladas. Tesis de Doctorado. Postgrado de Fruticultura. Colegio de Postgraduados. 136p. Texcoco México.

Curtis, H., A. Schnek y G. Flores. 2006. Invitación a la biología. Editorial Médica Panamericana. Montevideo, Uruguay.

Dangyang K. E., Linda G., Michael O'M., Adel A. K. 1991. Effects of Short-term Exposure to Low O₂ and High CO₂ Atmospheres on Quality Attributes of Strawberries. Institute of Food Technologists. 50-54.

FAOSTAT | © FAO Dirección de Estadística. 2012. Disponible en:<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Fecha de consulta: 04 marzo 2015.

García L. M. L. 2007. Tecnología de envasado en atmosferas protectoras y su calidad microbiológica. Universidad de León. 14 p

Gliessman, R. S. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Editorial AGRUCO-CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 p.

Hancock, J. F., J. A. Flore, and G. J. Galleta. 1989. Gas exchange properties of strawberry species and their hybrids. *Sci. Hort.* 40:139-144.

Holcroft, D. M. and A. Kader. 1999a. Carbon Dioxide-induced Changes in Color and Anthocyanin Synthesis of Stored Strawberry Fruit. *Hort Science (USA)* 34 (7): 1244-1248.

Holcroft, D. M. and A. A. Kader. 1999b. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 17:19-32.

Juárez, R., C.R., M. N. Rodríguez., M. Sandoval V. y A. Muratalla L. 2007. Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. *Terra Latinoamericana* 25: 17-23.

Kader, A. A. 1991. Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry. In: J. J. Luby and A. Dale (Eds). The strawberry into the 21st century. Timber Press. Portland, Oregon, USA. pp: 145-151.

Kafkas, E. and S. Paydaş. 2007. Evaluation and identification of volatile compounds of some promising strawberry genotypes using HS-SPME technique by GC/MS. W. J. Agric. Sci. 3: 191-195.

Kafkas, E., M. Koşar, S. Paydaş, S. Kafkas, and K.H.C. Başer. 2007. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. Food Chem. 100: 1229–1236.

Ke D., T. El-Sheikh, M. Mateos, A. A. Kader. 1993. Anaerobic metabolism of strawberries under elevated CO₂ and reduced O₂ atmospheres. Acta Hortic. 343. Postharvest 92.

Keutgen A. J. and E. Pawelzik. 2007. Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. Food Chem. 105: 1487–1494.

Keutgen A. J and E. Pawelzik. 2008. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. Food Chem. 107: 1413-1420.

Krüger, E. G. Schmidt, and S. Rasim. 2002. Effect of irrigation on yield, fruit size and firmness of strawberry cv. Elsanta. Acta Hortic. 567: 471–474.

Kyanko, V. M., M. L. Russo, M. Fernandez y G. Pose. 2010. Efectividad del Ácido Peracético sobre la reducción de la carga de Esporas de Mohos causantes de

Pudrición Poscosecha de Frutas y Hortalizas. Información Tecnológica. 21(4):125-130.

Larsen, M. and C. B. Watkins. 1995. Firmness and Aroma Composition of Strawberries following Short-term High Carbon Dioxide Treatments. Hort Science. 30(2):303-305.

Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000a. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology (USA) 20: 207-220.

Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000b. Soil fumigation and runner plant production: A synthesis of four years of strawberry nursery field trials. Sci.Hortic. 35:642-646.

Martínez-Bolaños M., D. Nieto-Angel, D. Téliz-Ortiz, J. Rodríguez-Alcazar, Ma. T. Martínez-Damian, H. Vaquera-Huerta, O. Carrillo Mendoza. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo Serie Horticultura. 14(2):113-119.

Mitcham, E. J., Crisosto, C. H. y A. Kader A. 2002. Fresa (frutilla): recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. University of California, Davis. CA, USA. <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Fresa.shtml>.

Morgan, L. 2000. Grow your own hydroponic strawberries. In: A. Knutson (ed). The best of the growing edge. Vol. 2. New Moon Publishing, Corvallis, OR, USA. pp: 99-102.

Morgan, L. 2006. Hydroponic strawberry production. A technical guide to the hydroponic production of strawberries. Suntec (NZ) Ltd, Tokomaru, New Zealand.

Ojeda, R., L. A., R. Cárdenas N., P. Lobit., O. Grageda C., E. Valencia C y L. Macías R. 2008. Efecto de la nutrición nítrica y el sistema de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Revista Chapingo Serie Horticultura. 14: 61 -70.

Olson, M. E., J. Ekwall, K. E. Gustavsson, J. Nilsson, D. Pillai, I. Sjolholm, U. Svensson, B. Akesson, and M. G. L. Nyman. 2004. Antioxidants, low molecular weight carbohydrates, and antioxidant capacity in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.): effects of cultivar, ripening, and storage. J. Agric. Food. 52:2490-2498.

Pelayo C., S. E. Ebeler, A. A. Kader. 2003. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5°C in air or air + 20kPa CO₂. Postharvest Biology and Tecnology 27:171-183.

Pelayo Z. C., Jameleddine B. A., Susan E. E., Adel A. K. 2007. Quality and Chemical Changes Associated with Flavor of Camarosa Strawberries in Response to a CO₂ enriched Atmosphere. Hort Science 42(2):299–303.

Pineli, L. O., C. Moretti L., M. S. Santos dos., A. B. Campos., A. V. Brasileiro., A. C. Cordova, and M. D. Chiarello. 2011. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. J. Food Compos. Anal. 24: 11–16.

Pitt, J. I. y A. D. Hocking. 1997. Fungi and Food Spoilage 2a edición. Blackie Academic and Professional. Londres, Inglaterra. 469-481

Pinto, M. S., F. M. Lajolo, and M. I. Genovese. 2008. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). Food Chem.107: 1629–1635.

Qadir, A., and Hashinaga, F. 2001. Inhibition of postharvest decay of fruits by nitrous oxide. Postharvest Biology and Technology 22:279-283.

Ragaert, P., W. Verbeke., F. Devlieghere, and J. Debevere. 2004. Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. Food Quality. 15: 259–270.

Raybaudi-Mansilla, R.M., R.S. Fortuna y O.M. Belloso. 2006. Uso de agentes antimicrobianos para la conservación de frutas frescas y frescas cortadas. I Simposio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados, 15-21.

Rodrigo, D., Van Loey., A., and M. Hendrickx. 2007. Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice. J. Food Engin. 79: 553–560.

Romanazzi, G., Nigro, F., and Ippolito, A. 2003. Short hypobaric treatments potentiate the effect of chitosan in reducing storage decay of sweet cherries. Postharvest Biology and Technology 29:73-80.

Romanazzi, G., Nigro, F., Ippolito, A., and Salesmo, M. 2001. Effect of short hypobaric treatments on postharvest rots of sweet cherries, strawberries and table grape. Postharvest Biology and Technology 22:1-6.

SAGARPA-SIAP. 2013. Producción agrícola de la fresa. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=35. fecha de consulta: 1 de marzo de 2013.

Santoyo J., J. A. y C. O. Martínez A. 2010. Paquete tecnológico para la producción de fresa. Fundación Produce Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.

Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Michoacán. 2005. Estadísticas agropecuarias de Michoacán. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Morelia, Michoacán, México.

Siller C., J. H. y M. A. Báez S. 2009. Recolección, empaque y manejo poscosecha. 409-426. *In:* J. Z. Castellanos (ed). Manual de producción de tomate en invernadero. NTAGRY®. Celaya, Guanajuato, México.

Strum, K., D. Koron, and F. Stampar. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chem.* 83: 417-422.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Fisiología vegetal. Universitat Jaume. Vol. 1. Castelló de la Planta, España.

Tulipani, S., B. Mezzetti., F. Capocasa., S. Bompadre., Ric de Vos. Beekwilder., J.C.H., E. Capanoglu., A. Bovy, and M. Battino. 2008. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *J. Agric. Food Chem.* 56: 696–704.

Vlachonasios, C., M. Vasilakakis, C. Dogras, and M. Mastrokostas. 1995. Out of season glasshouse strawberry production in North Greece. *Acta Hortic.* 379: 305–312.

Wang, S. Y. and H. S. Lin. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and development. *J. Agric. Food Chem.* 48: 140–146.