



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

**EVALUACIÓN DE ATMÓSFERAS CON ALTA CONCENTRACIÓN
DE CO₂ EN LA FISIOLOGÍA, CALIDAD Y CONTROL DE
PUDRICIONES DE VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria
ananassa*)**

IVÁN FRANCO GAYTÁN

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

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

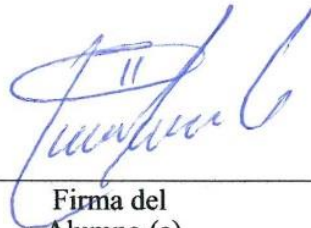
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Iván Franco Gaytán, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Crescenciano Saucedo Veloz, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

Evaluación de atmosferas con alta concentración de CO2 en la fisiología, calidad y control de pudriciones de variedades de fresa (Fragaria ananassa)

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 21 de Noviembre de 2017



Firma del
Alumno (a)



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada “EVALUACIÓN DE ATMÓSFERAS CON ALTA CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN LA FISIOLÓGÍA, CALIDAD Y CONTROL DE PUDRICIONES DE VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria ananassa*)” realizada por Iván Franco Gaytán, bajo la dirección del Consejo Particular, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLÓGIA VEGETAL**

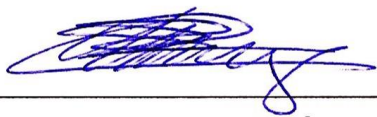
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:




DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ

ASESOR:



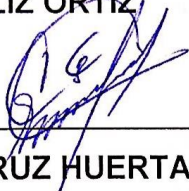
DR. GUILLERMO CALDERÓN ZAVALA

ASESOR:



DR. DANIEL TELIZ ORTÍZ,

ASESOR:



DR. NICACIO CRUZ HUERTA

ASESORA:



DRA. ROSA MARÍA GALICIA CABRERA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2017

EVALUACIÓN DE ALTAS CONCENTRACIONES DE CO₂ EN LA FISIOLÓGÍA, CALIDAD Y CONTROL DE PUDRICIONES DE VARIEDADES DE FRESA (*Fragaria ananassa*)

Iván Franco Gaytán, D.C
Colegio de Postgraduados

RESUMEN

La frigoconservación y tratamientos con atmósferas controladas son alternativas para el control en postcosecha del hongo (*Botrytis cinerea*) y disminuir la pérdida de calidad de la fresa (*Fragaria ananassa*). El objetivo del trabajo fue estudiar el comportamiento fisiológico en postcosecha del fruto de variedades mexicanas y extranjera de fresa; además de determinar el efecto en la calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica como respuesta a la frigoconservación, con y sin atmósferas controladas, con fines de control de *Botrytis cinerea*. Los frutos se almacenaron a 3°C con dos atmósferas controladas con 5, 10% CO₂ y CO₂ ambiental durante 3 o 5 d en esas condiciones más 2 d a 20°C ± 2°C y 50 a 60% HR durante dos cosechas (2015, 2016). Los diseños estadísticos utilizados fueron para calidad organoléptica parcelas divididas en bloques al azar, considerando como parcela grande el tiempo de evaluación (3 días y 5 días), como parcela chica la concentración de CO₂ (5% y 10%) y los cultivares de fresa como bloques, para calidad nutracéutica un factorial en completamente al azar a tres niveles: tiempo de evaluación (3 días y 5 días), la concentración de CO₂ (normal, 5% y 10%) y las variedades de fresa (Zamorana, Jacona, CP-LE7, Festival) y calidad nutricional con un diseño en completamente al azar para las variedades. La unidad experimental fue de un fruto (por repetición) y las medias se compararon con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$. Las variedades mexicanas presentaron diferencia estadística significativa y presentaron mayor concentración de compuestos antioxidantes, comparado con la extranjera; CP-LE7 sobresalió en el contenido de vitamina C (44.78 mg ac. ascórbico 100⁻¹ g,) y ácido elágico (78.23 mg / g fresa liofilizada), Zamorana presentó menor sensibilidad a la pérdida de peso (0.88% y 15.23%) y mayor concentración de rutina (13.87 y 12.45 mg / g fresa liofilizada), florizidina (69.40 y 49.46 mg / g fresa liofilizada) y narangenina (1.23 mg / g fresa liofilizada) , mientras que

Jacona presentó frutos con mejor color rojo (L= 34.54, C= 32.33), firmeza (22.95 N), ácido clorogénico y ferúlico (19.13 mg y 1.76 mg / g fresa liofilizada) comparados con Festival en ambas cosechas. La atmósfera con 10% CO₂ durante 5d a 3°C mantuvo la mayor cantidad de vitamina C (39.15 y 44.51 mg ácido ascórbico / 100 g fresa), firmeza (21.09 N y 29.29 N), para la cosecha 2015 y 2016 respectivamente, en color (L= 33.65 y ° h= 33.38) en la cosecha 2016 y disminuyó la pérdida de peso en los frutos (0.95%, 0.67%). El índice de pudriciones por *Botrytis cinerea* fue más bajo con las dos atmósferas controladas aplicadas en las cuatro variedades pero la concentración de 10% CO₂ durante 5 días disminuye la presencia del hongo (>4%). Mientras que la atmósfera con 10% CO₂ durante 3d a 3°C y 2d a condiciones de temperatura y atmosfera ambiental generó la mayor concentración de ácidos fenólicos en los frutos (128.94 mg ac. elágico, 21.49 mg ac. clorogénico, 4.96 mg ac. ferúlico y 2.53 mg ac. cafeíco / g fresa liofilizada) y flavonoides (25.57 mg rutina, 72.56 mg florizidina y 1.27 mg narangenina / g fresa liofilizada). El contenido de acetaldehído que se generó como consecuencia de las atmósferas controladas en los frutos no llegó a demeritar los atributos de calidad interna. Las variedades de fresa alcanzaron valores óptimos de nutrientes en cuanto a P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo.

Palabras Clave: atmósferas controladas, refrigeración, concentración CO₂, fresa, *Fragaria ananassa*, ácidos fenólicos, flavonoides, nutrientes

EVALUATION OF HIGH CO₂ CONCENTRATIONS IN THE PHYSIOLOGY,
QUALITY AND CONTROL OF POSTHARVEST DISEASE
IN STRAWBERRY VARIETIES (*Fragaria ananassa*)

Iván Franco Gaytán, D.C
Colegio de Postgraduados

ABSTRACT

The frigoconservación and treatments with controlled atmospheres are alternatives for the control in postharvest of the fungus (*Botrytis cinerea*) and diminish the loss of quality of the strawberry (*Fragaria ananassa*). The objective of the work was to study the physiological behavior in postharvest of the fruit of Mexican varieties and foreign of strawberry; in addition to determining the effect on the organoleptic, nutritional and nutraceutical quality as a response to the frigoconservation, with and without controlled atmospheres, for *Botrytis cinerea* control purposes. The fruits were stored at 3 ° C with two atmospheres controlled with 5, 10% CO₂ and environmental CO₂ for 3 or 5 d in these conditions plus 2 at 20°C ± 2°C and 50 to 60% RH during two harvests (2015, 2016). The statistical designs used were for organoleptic quality plots divided into random blocks, considering as a large plot the evaluation time (3 days and 5 days), as a small plot the concentration of CO₂ (5% and 10%) and the strawberry cultivars as blocks, for nutraceutical quality a factorial in completely randomized at three levels: evaluation time (3 days and 5 days), the concentration of CO₂ (5% and 10%) and strawberry varieties (Zamorana, Jacona, CP-LE7, Festival) and nutritional quality with a completely random design for the varieties. The experimental unit was one fruit (per repetition) and the means were compared with the Tukey test $p \leq 0.05$. The Mexican varieties presented significant statistical difference and presented a higher concentration of antioxidant compounds, compared to the foreign one; CP-LE7 excelled in the content of vitamin C (44.78 mg ascorbic acid 100-1 g,) and ellagic acid (78.23 mg / g lyophilized strawberry), Zamorana showed lower sensitivity to weight loss (0.88% and 15.23%) and higher routine concentration (13.87 and 12.45 mg / g lyophilized strawberry), florizidine (69.40 and 49.46 mg / g lyophilized strawberry) and

narangenin (1.23 mg / g lyophilized strawberry), while Jacona presented fruits with better red color (L= 34.54, C= 32.33), firmness (22.95 N), chlorogenic and ferulic acid (19.13 mg and 1.76 mg / g lyophilized strawberry) compared to Festival in both harvests. The atmosphere with 10% CO₂ during 5d at 3°C maintained the highest amount of vitamin C (39.15 and 44.51 mg ascorbic acid / 100 g strawberry), firmness (21.09 N and 29.29 N), for the 2015 and 2016 harvest respectively, in color (L= 33.65 and °h= 33.38) in the 2016 harvest and decreased weight loss in fruits (0.95%, 0.67%). The decay index by *Botrytis cinerea* was lower with the two controlled atmospheres applied in the four varieties but the concentration of 10% CO₂ during 5 days decreases the presence of the fungus (> 4%). While the atmosphere with 10% CO₂ during 3d at 3°C and 2d at ambient temperature and atmosphere conditions generated the highest concentration of phenolic acids in the fruits (128.94 mg ellagic acid, 21.49 mg chlorogenic ac, 4.96 mg ac. ferulic acid and 2.53 mg acid acid / g lyophilized strawberry) and flavonoids (25.57 mg routine, 72.56 mg florizidine and 1.27 mg narangenin / g lyophilized strawberry). The acetaldehyde content that was generated as a result of the controlled atmospheres in the fruits did not detract from the internal quality attributes. Strawberry varieties reached optimal nutrient values in terms of P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu and Mo

Keywords: controlled atmospheres, refrigeration, CO₂ concentration, strawberry, *Fragaria ananassa*, phenolic acids, flavonoids, nutrients

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados por la oportunidad y apoyo brindado para poder terminar mis estudios de postgrado y cumplir un objetivo más en mi vida.

Al **Dr. Crescenciano Saucedo Veloz** por sus valiosos consejos, enseñanzas y apoyo incondicional que permitieron la realización de la investigación. También le agradezco la amistad y profesionalismo brindado durante todo mi desarrollo académico, que me permitió crecer como ser humano.

A mi consejo particular al **Dr. Guillermo Calderón Zavala, Dr. Daniel Téliz Ortiz, Dr. Nicacio Cruz Huerta y Dra. María Galicia Cabrera** por sus consejos, aportaciones y asesoría brindada desde el inicio de esta investigación, pero sobre todo por creer en mí.

Al **Dr. Sergio Humberto Chávez Franco** por sus consejos y asesoría durante la instalación de los equipos para atmósferas controladas.

Al **Dr. Javier Suarez Espinosa** por sus aportaciones y dirección durante el análisis estadístico de esta investigación.

A **M.C Nallely Sarahi Velazquez Malacara** por su apoyo incondicional para la realización de esta investigación, pero sobre todo por creer en mí y tener las palabras adecuadas en todos los momentos difíciles que pasé y me hicieron salir adelante.

A mis amigos **M.C Reyes López García y Lic. Francisco Lobato** por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A mi padre **Francisco Franco Ortiz** y mi madre **María Antonia Gaytán Arruel** por su amor incondicional, apoyo, paciencia y consejos dados, pero sobre todo por demostrarme que todo lo que uno se propone en la vida se puede cumplir con dedicación, pasión por lo que te gusta hacer, esfuerzo y trabajo duro.

A mi hermano, hermanos y ahora por las dos hermosas niñas que forman parte de nuestra familia, mis sobrinas

A todas las personas que tuve el privilegio de conocer, durante el tiempo que pase en esta institución y me brindaron su amistad sincera.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA	ix
LISTA DE CUADROS	xiii
ABREVIACIONES	xviii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
Objetivo general:.....	4
Objetivos particulares:	4
Hipótesis	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Situación de la fresa en el mundo y en México	5
Variedades cultivadas en México	6
Variedades generadas en México	6
Fragaria x ananassa Duch. “CP-LE7”	7
<i>Fragaria x ananassa</i> Duch cv “Zamorana”	8
Fragaria x ananassa Duch “Jacona”	8
Enfermedades postcosecha.....	9
Botrytis cinerea	10
Tecnologías postcosecha para el control de <i>Botrytis cinerea</i>	11
Refrigeración	11
Atmósferas controladas	13
Compuestos antioxidantes.....	18
Compuestos antioxidantes en fresa	19
Fenoles.....	21
Ácidos Fenólicos.....	23
Flavonoides	26

CAPÍTULO I. CALIDAD Y CONTROL DE <i>Botrytis cinerea</i> EN TRES VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA (<i>Fragaria ananassa</i>) TRATADAS CON CONCENTRACIONES ALTAS DE CO₂.....	30
1.1 RESUMEN.....	30
1.2 ABSTRACT.....	32
1.3 INTRODUCCIÓN.....	33
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
1.6 CONCLUSIÓN.....	63
CAPÍTULO II. COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DE TRES VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA TRATADAS CON CONCENTRACIONES ALTAS DE CO₂.....	64
2.1 RESUMEN.....	64
2.2 ABSTRACT.....	66
2.3 INTRODUCCIÓN.....	67
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	69
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
2.5.1 Ácidos fenólicos.....	71
2.6.2 Flavonoides.....	77
2.6 CONCLUSIÓN.....	83
CAPÍTULO III. ANÁLISIS INICIALES DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES DE TRES VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA (<i>Fragaria ananassa</i>) Y UNA EXTANJERA.....	84
3.1 RESUMEN.....	84
3.2 ABSTRACT.....	85
3.3 INTRODUCCIÓN.....	86
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	87
3.4.1 Solución madre.....	87
3.4.2 Nitrógeno.....	88
3.4.3 Fósforo.....	88
3.4.4 Elementos Restantes.....	88

3.4.5 Análisis estadístico	88
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
3.6 CONCLUSIÓN	94
3.7 LITERATURA CITADA	95
ANEXOS.....	114

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto principal de variedad en la calidad interna de fresas sometidas a tratamientos con atmósferas ambiental de CO ₂ y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C, ± 90% HR durante 3 y 5 días de almacenamiento.	39
Cuadro 2. Efecto principal de variedad en la calidad interna de fresas después de dos días a temperatura y atmósfera ambiental de CO ₂ (20 ± 2 °C; 50 -60 % HR).	40
Cuadro 3. Efecto principal de tiempo de almacenamiento en la calidad interna de variedades de fresa sometidas a tratamientos con atmósferas ambiental de CO ₂ y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C, 90% HR.....	43
Cuadro 4. Efecto principal de tiempo de almacenamiento en la calidad interna de variedades de fresa después de dos días a temperatura y atmósfera ambiental de CO ₂ (20 ± 2°C; 50 -60 % HR).....	44
Cuadro 5. Efecto principal concentración de CO ₂ en la calidad interna de variedades de fresa sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO ₂ y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C, 90% HR durante 3 y 5 días de almacenamiento.	45
Cuadro 6. Efecto principal concentración de CO ₂ en la calidad interna de variedades de fresa después de dos días a Temperatura y Atmósfera Ambiental de CO ₂ (20 ± 2°C; 50 -60% HR).....	47
Cuadro 7. Efecto de la interacción tiempo en atmósfera controlada y concentración de CO ₂ sobre las características de calidad interna de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.	49
Cuadro 8. Efecto de la interacción tiempo en atmósfera controlada y concentración de CO ₂ a los 2 días después en condiciones ambientales sobre las características de calidad interna de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.	50
Cuadro 9. Efecto principal de variedad en la calidad externa de fresas sometidas a tratamientos con atmósferas ambiental de CO ₂ y	

controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C durante 3 y 5 días de almacenamiento.	52
Cuadro 10. Efecto principal de variedad en la calidad externa de fresas después de dos días a temperatura y atmósfera ambiental de CO ₂ (20 ± 2 °C; 50 -60% HR).	53
Cuadro 11. Efecto principal de tiempo de almacenamiento en la calidad interna de variedades de fresa sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO ₂ y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C.	54
Cuadro 12. Efecto principal de tiempo de almacenamiento en la calidad interna de variedades de fresa después de dos días a temperatura y atmósfera ambiental.	55
Cuadro 13. Efecto principal concentración de CO ₂ en la calidad externa de variedades de fresa sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO ₂ y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C en tres y cinco días de almacenamiento (primer muestreo enero 2015).	56
Cuadro 14. Efecto principal concentración de CO ₂ en la calidad externa de variedades de fresa después de dos días a Temperatura y Atmósfera Ambiental.	57
Cuadro 15. Efecto de la interacción tiempo en atmósfera controlada y concentración de CO ₂ sobre las características de calidad externa de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.	58
Cuadro 16. Efecto de la interacción tiempo en atmósfera controlada y concentración de CO ₂ a los 2 días después en condiciones ambientales sobre las características de calidad externa de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.	59
Cuadro 17. Efecto principal de variedades en el contenido de ácidos fenólicos en variedades mexicanas y extranjera de fresa sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO ₂ y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C más dos bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.	72

Cuadro 18. Efecto principal del tiempo de almacenamiento en el contenido de ácidos fenólicos de fresa mexicana y extranjera sometidos a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO ₂) durante 3 y 5 días a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.	73
Cuadro 19. Efecto principal de la concentración de CO ₂ en el contenido de ácidos fenólicos de fresa mexicana y extranjera sometidos a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO ₂) durante 3 y 5 días a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.	74
Cuadro 20. Efecto de la interacción entre el tiempo y la concentración de CO ₂ sobre el contenido de ácidos fenólicos de tres variedades de fresa mexicanas y extranjera sometidas a tratamientos con atmósfera normal y controladas (5% y 10% CO ₂) más dos días en condiciones de temperatura y atmósfera ambiental.	76
Cuadro 21. Efecto principal de variedades sobre el contenido de flavonoides en fresas mexicanas y extranjera sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO ₂ y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C más 2 días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.	78
Cuadro 22. Efecto principal del tiempo de almacenamiento en el contenido de flavonoides en fresa mexicana y extranjera sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO ₂) durante 3 y 5 días a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.	79
Cuadro 23. Efecto principal concentración de CO ₂ en el contenido de flavonoides en fresa mexicanas y extranjera sometidos a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.	80

Cuadro 24. Efecto principal de la concentración de CO₂ en el contenido de flavonoides en fresa mexicana y extranjera sometidos a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO₂) durante 3 y 5 días a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.81

Cuadro 25. Concentración inicial de nutrientes en el fruto de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.90

Cuadro 26. Concentración de nutrientes en tejidos de plantas de cultivares de fresa cultivadas en Estados Unidos (Camarosa, Carmine, Camino Real, Gaviota, Festival, Sweet Charlie, Treasure, Ventana, Winter Dawn y Winterstar) (Santos *et al.*, 2012).91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del ácido elágico.....	24
Figura 2. Estructura química del ácido cafeíco	25
Figura 3. Estructura química del ácido clorogénico.....	25
Figura 4. Estructura química del ácido ferúlico	26
Figura 5. Estructura química de miricetina.....	27
Figura 6. Estructura química de rutina.	28
Figura 7. Estructura química de quercitina.....	28
Figura 8. Estructura química de narangenina.	29
Figura 9. Índice de pudriciones de tres variedades mexicanos y una extranjera de fresa sometidas a tratamientos con atmósferas ambiental de CO ₂ y controladas (5% y 10% CO ₂) a 3°C.....	61
Figura 10. Apariencia de los frutos de fresa después de refrigeración y atmosferas con CO ₂ ambiental y controladas (5 % y 10 % CO ₂), aplicados para el control de <i>Botrytis cinerea</i>	62

ABREVIACIONES

	Abreviatura
AOAC	Association of official agricultural chemists
AT	Acidez titulable
AZT	Azucares totales
B	Boro
C ₇ H ₆ O ₃	Ácido salicílico
Ca	Calcio
CAT	Catalasa
CINVESTAV	Centro de investigación y de estudios avanzados del instituto politécnico nacional
cm	Centímetro
Cu	Cobre
d	Día
FAO/STAT	Food and agriculture organization of the united nations
Fe	Fierro
g	Gramos
GLUT2	Glutación
GPX	glutación peroxidasa
h	Horas
H ₂ SO ₄	ácido sulfúrico
ha	Hectarea
HPLC	High-performance liquid chromatography
HR	Humedad relativo
INIFAP	Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias
K	Potasio
K ₂ SO ₄	Sulfato de potasio
kPa	kilopascal
L	Litros
mg	Miligramos
Mg	Magnesio
min	Minutos
mL	Mililitros
mm	Milímetros
mL	Microlitro
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
N	Nitrógeno
N	Newton
Nm	Nanómetro
P	Fósforo
pH	Potencial de hidrogeno

s	Segundo
S	Azufre
SIAP	Servicio de información agroalimentaria y pesquera
SIAVI	Sistema de Información Arancelaria Vía Internet
SNICS	Servicio nacional de inspección y certificación de semillas
SOD	Superóxido dismutasa
SST	Sólidos solubles totales
t/ha	Tonelada
VC	Vitamina C
Zn	zinc

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la fresa en México tiene una gran importancia socioeconómica en el 2016 se reportó una superficie cultivada de 10 027 ha de diferentes variedades que aportaron una producción de 430 656 t con un valor de 7 550 millones de pesos (SIAP, 2017). La fresa tiene cuatro mercados de acuerdo al consumo, como fresa fresca, fresa congelada, fresas semiprocesadas y fresas procesadas. La fruta fresca tiene una demanda del 86% en el mercado y ha aumentado un 8.3%, mientras que la fresa envasada creció un 9.7% y congelada un 13.7% respectivamente del 2012 al 2015. La fresa es una de las frutillas que cuentan con un fuerte mercado de exportación; en el 2013 México ocupó el tercer lugar con 155.1 mil t con un valor de 488, 614,640 dólares (SIAVI, 2017), respecto al destino de las exportaciones los Estados Unidos de América constituye el mercado más atractivo atrayendo más del 90%.

La importancia de la producción de fresa a nivel nacional, radica en la importación de variedades extranjeras que se utilizan para el establecimiento de los viveros, en los cuales se producirán las plantas comerciales para el establecimiento de los huertos productores en el país. La totalidad de las variedades de fresa que se cultivan en México fueron generadas por la universidad de Florida (Festival) y la universidad de California (Albión, Camino Real, San Andreas). Por lo que los productores deben pagar los costos de la planta madre, regalías, trámites de importación y traslados. El costo promedio a pagar por millar de planta madre es de 100 dólares y de regalías para Festival es de 700 a 800 dólares, mientras que para las demás alrededor de 250 dólares.

Es importante considerar que para el establecimiento un huerto comercial de 1 ha se necesitan 80 mil plantas hijas, lo que implica que por cada ha de vivero se utilicen de 10 a 12 millares de planta madre, siendo que la planta madre de Festival puede llegar a producir hasta 40 plantas hijas, esto implica un gasto fuerte para los productores. Actualmente el Colegio de postgraduados cuenta con dos variedades mexicana liberadas con título de obtentor como son:

Zamorana y Jacona, además de tres líneas avanzadas altamente sobresalientes: CP-LE7, CP-05-04 y CP-06-15. Estas variedades cuentan con evaluaciones y validaciones en su desempeño productivo, susceptibilidad o tolerancia a plagas y enfermedades, estudios de calidad siempre comparándolas con variedades comerciales extranjeras, pero no se cuentan con estudios de Tecnologías postcosecha como son atmósferas controladas para el control de *Botrytis cinerea* y su efecto en la calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica que las promuevan con los productores para su establecimiento y así poder eliminar la dependencia de variedades extranjeras para el establecimiento de huertos comerciales, reducir al mínimo el pago de regalías y evitar el condicionamiento de los intermediarios en la comercialización de variedades extranjeras.

Uno de los inconvenientes que presentan los frutos de fresa es que su alto grado de perecibilidad lo que se traduce en una vida postcosecha muy corta. La mayoría de las veces, la pérdida de calidad se debe a su actividad alta actividad metabólica y a su sensibilidad al deterioro por el hongo *Botrytis cinerea*, causante de la pudrición gris. Esta enfermedad es la principal causa de pérdidas postcosecha en fresa, debido a que prolifera rápidamente y con un mal manejo precosecha y postcosecha, por golpes y heridas entra e infecta, aún cuando los frutos se almacenan a 0°C, ya que este patógeno continúa creciendo aunque muy lentamente.

El almacenamiento de la fruta con altas concentraciones de CO₂ y bajo O₂ (atmósferas controladas) es efectivo en la reducción de la incidencia de pudriciones y en el mantienen la calidad de la fruta. *Botrytis cinerea* se controla con atmósferas con de 10% de O₂ y 40% de CO₂ y temperaturas de -0.5°C a 5°C (Perkins *et al.* 2002).

De acuerdo con Pelayo *et al.*, (2003) observaron que la firmeza de frutos varía de acuerdo al cultivar ya que la firmeza de los frutos del cultivar Aromas se mantuvieron cuando se almacenaron a 5°C y con aire + 20 kPa de CO₂ en

comparación con la firmeza de frutos de los cultivares Diamante y Selva la cual se incrementó cuando se sometieron al tratamiento antes mencionado, por otra lado Larsen y Watkins (1995) encontraron que la respuesta en los frutos de fresa de diferentes cultivares a atmósferas controladas puede ser diferente así como también la ubicación donde se esté cultivando.

Por lo anterior, con la generación de nuevas variedades mexicanas de fresa resulta necesario evaluar, además de sus requerimientos de tecnología de producción, el comportamiento postcosecha y calidad de los frutos con fines de conservación; comparando dicho comportamiento con el de variedades actualmente en producción a nivel comercial.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general:

Estudiar el comportamiento fisiológico en postcosecha del fruto de variedades mexicanas y extranjera de fresa; además de determinar el efecto en la calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica como respuesta a la frigoconservación, con y sin atmósferas controladas, con fines de control de *Botrytis cinerea*.

Objetivos particulares:

- Determinar la vida de anaquel de tres variedades mexicanas de fresa en función de los cambios bioquímicos y fisiológicos relacionados con la senescencia de cada variedad.
- Evaluar el efecto de altas concentraciones de CO₂ en el desarrollo de pudriciones causadas por *Botrytis cinerea*.
- Determinar si las altas concentraciones de CO₂ inducen daños por CO₂ (etanol y acetaldehído) y modifican la calidad interna y externa en los frutos de las tres variedades mexicanas de fresa.

Hipótesis

Los frutos de las tres variedades de fresa mexicanas presentan similar comportamiento a la aplicación de tecnologías de refrigeración en combinación con altas concentraciones de CO₂, en el control de la pudrición gris de la fresa causada por (*Botrytis cinerea*), en la calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica respecto a la variedad extranjera.

REVISIÓN DE LITERATURA

Situación de la fresa en el mundo y en México

A nivel mundial, la producción de fresa se ha incrementado significativamente en los últimos años. En 2014 se reportó una producción de 11.2 millones t mientras que en el 2013 se obtuvo una producción de 10.8 millones t, donde China fue el país con la mayor producción de con 3.1 millones t seguido por los Estados Unidos de América, México, Turquía y España con 1, 371, 573, 458, 972, 376, 070 y 291, 870 t, respectivamente. Por otra parte, en 2013, España fue el principal país exportador de fresa en el mundo con un volumen exportado de 266.4 mil t seguido por los Estados Unidos y México con 153.7 y 107.7 miles t. De acuerdo con datos del SIAVI (2017) en el año 2016 México exportó 155.1 mil t de las cuales 154. 4 mil t exportadas hacia Estados Unidos de América representando el 99.57% del total de la fresa exportada, con un valor de 488.6 millones dólares.

En el año 2016 México reportó una producción de 468.2 mil t que comparado con el año 2015 (393.6 mil t) se tuvo un incrementó de 16.15 %, donde el estado de Michoacán fue el principal productor con 341.1 mil t seguido por Baja California, Guanajuato y Estado de México (70.6, 37.5 y 6.8 miles t). Baja California Norte alcanzó los más altos rendimientos de fresa con 49.81 t/ha, seguido por Michoacán y Baja California Sur con 45.03 y 38.76 t/ha, respectivamente (SIAP, 2017).

Variedades cultivadas en México

México es un país productor de fresa que depende en gran medida de la importación de variedades provenientes de la Universidad de Florida y Universidad de California, principalmente. Entre las variedades extranjeras ampliamente cultivadas en las zonas productoras de México se encuentran Albión, Festival, San Andreas, Fortuna, Camino Real, Safari, entre otras. Actualmente, nuevas variedades como Petaluma, Fronteras y la selección 09-49 se están introduciendo a las zonas productoras de fresa como una alternativa a Festival y a Albión (Childers, 2013).

Festival es una de las principales variedades de fresa cultivadas en México, fue originada en la Universidad de Florida mediante la cruce entre Rosa Linda x Oso Grande y fue seleccionada en 1995 con el código FL 95-41 y liberada en mayo de 2000. Entre sus principales características se encuentra que es un cultivar de día corto, donde las plantas tienden a producir numerosos estolones. El tamaño promedio de frutos es de 1.8cm hasta 2.4 cm de largo con una forma cónica, los cuales están unidos a pedicelos largos. El color externo de un fruto completamente maduro es rojo intenso y brillante, produciendo además frutos muy firmes y de excelente sabor. Por otra parte, este cultivar es susceptible a la antracnosis o pudrición de fruto causado por el (*Colletotrichum acutatum*), así como también a la pudrición de corona (*Colletotrichum gloeosporoides*). Sin embargo, es menos susceptible a *Botrytis cinerea* y a cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) comparado con "Sweet Charlie" y Camarosa (Chandler *et al.*, 2000).

Variedades generadas en México

Existen cuatro instituciones nacionales involucradas en el mejoramiento de la fresa en México: el Colegio de Postgraduados, INIFAP, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

(CINVESTAD), unidad Irapuato y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; cada programa cuenta con más de una década de funcionamiento. En el Colegio de Postgraduados, con el apoyo financiero de la Fundación Produce Michoacán, A. C., se han obtenido nuevas variedades de fresa, entre las que destacan 'CP Zamorana' (CP 02-01) y 'CP Jacona' (CP 02-04), como nuevas variedades mexicanas ya registradas en el catálogo del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). El proceso de creación y adopción debe ser considerado como estratégico y llevarse a cabo de manera continua y sostenida. Recientemente se liberaron 'CP Zamorana' y 'CP Jacona' como dos nuevas variedades de fresa creadas por el Colegio de Postgraduados en México. La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación otorgó los correspondientes Títulos de Obtentor número 0500 y 0501, respectivamente (Diario Oficial, 2010). Además, en la actualidad, el proyecto de creación y validación de variedades mexicanas de fresa cuenta con tres líneas avanzadas altamente sobresalientes y con capacidad competitiva frente a las variedades comerciales del extranjero. Estas selecciones son CP-LE7, CP 05-04 y CP 06-15.

Fragaria x ananassa Duch. "CP-LE7"

CP-LE7 es una selección avanzada del programa de mejoramiento genético del Colegio de Postgraduados. Es una selección altamente productiva de día corto, la cual es altamente competitiva con las variedades comerciales como Camino Real, Festival y Albión. La planta es vigorosa y produce frutos grandes de color rojo intenso brillante con casi ningún hueco en el interior. Los frutos son firmes, similares a los de Zamorana. El aspecto de la fruta es entre cónica y cordiforme. Con un manejo adecuado se pueden obtener frutos grandes a través del ciclo otoño-invierno. La capacidad de propagación en vivero es alta, presentando estolones gruesos y fuertes, presenta sensibilidad a enfermedades como cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y mancha angular (*Xanthomonas fragariae*), similar a otras variedades comerciales. Al igual que las variedades de

fresa de día corto, la fruta tiende a deformarse por una polinización deficiente debido a las altas temperaturas, siendo más frecuente la deformación en macrotúneles por fallas de ventilación (Calderón *et al.*, 2009).

Fragaria x ananassa Duch cv “Zamorana”

Es una variedad seleccionada en el programa de mejoramiento genético del Colegio de Postgraduados, altamente productiva, con frutos grandes y una firmeza igual o superior a Camarosa. Es considerada como una variedad de día corto, produciendo frutos grandes de color rojo intenso, brillosos, con poco o ningún hueco, siendo la forma de la fruta entre cónica y cordiforme. Además, es buena productora de plantas hijas en viveros, produciendo estolones gruesos y firmes. No muestra diferencias con respecto a otras variedades en cuanto a resistencia a plagas como gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), ácaros (*Tetranychus urticae*), trips (*Frankiniella sp*) y mosquita blanca; ni a enfermedades como cenicilla (*Sphaerotheca macularis*), botrytis (*Botrytis cinerea*), antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) *Rizhoctonia sp.*, *Phytophthora sp.*, mancha bacteriana (*Xanthomonas fragariae*) y virosis. Al igual que otras variedades comerciales de día corto, como Festival y Camino Real, si la temperatura del ambiente se incrementa al final del ciclo productivo (marzo-mayo), la fruta tiende a deformarse debido a la poca o nula polinización (Calderón *et al.*, 2009).

Fragaria x ananassa Duch “Jacona”

Es una variedad seleccionada en el programa de mejoramiento genético del Colegio de Postgraduados, es altamente productiva y se caracteriza por frutos grandes y una firmeza igual o superior a Camarosa, así como también de un sabor adecuado para su consumo en fresco. Es considerada como una variedad de día corto produciendo frutos grandes de color rojo intenso, brillosos, con poco o ningún hueco en el centro, siendo la forma de la fruta entre cónica y cordiforme con altos porcentajes de fruto con calidad para exportación. Al igual que la variedad Zamorana, esta variedad presenta un alto porcentaje de frutos

sin deformación durante el ciclo de producción. Además, es buena productora de plantas hijas en viveros produciendo estolones gruesos, firmes y con un alto vigor propagativo. No muestra diferencias con respecto a otras variedades en cuanto a resistencia a plagas como gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), ácaros (*Tetranychus urticae*), trips (*Frankiniella sp*) y mosquita blanca (*Bemisia tabaci*); ni a enfermedades como cenicilla (*Sphaerotheca macularis*), botrytis (*Botrytis cinerea*), antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) *Rizhoctonia sp.*, *Phytophthora sp.*, mancha bacteriana (*Xanthomonas fragariae*) y virosis. Al igual que otras variedades comerciales de día corto como Festival y Camino Real, si la temperatura del ambiente se incrementa al final del ciclo productivo (marzo-mayo) la fruta tiende a deformarse debido a la poca o nula polinización; sin embargo, presenta un menor porcentaje de fruto deforme comparado con Camarosa (Calderón *et al.*, 2009).

Enfermedades postcosecha

Los productos cosechados provenientes de la agricultura son altamente vulnerables al ataque de patógenos desde que experimentan el proceso de senescencia y en muchas frutas el etileno juega un papel importante permitiendo una alta susceptibilidad al ataque de patógenos como *Botrytis cinerea*, entre otros (Romanazzi *et al.*, 2016). Crisosto *et al.* (2002) mencionan que la manipulación del proceso de maduración usando tecnologías postcosecha como la inhibición del etileno, atmósferas controladas y modificadas y hormonas vegetales pueden afectar la infección y desarrollo de los hongos.

Los frutos de fresa son altamente perecederos, especialmente después de ser cosechados, incluso cuando se encuentran aparentemente sanos. *Botrytis cinerea* es el principal hongo que tiene mayor incidencia en este cultivo seguido por *Rhizopus stolonifer*, *Mucor spp.*, *Colletotrichum spp.*, *Penicillium spp.*, los cuales son patógenos responsables de las pudriciones en frutos de fresa durante su transporte y almacenamiento (Feliziani y Romanazzi, 2016)

Botrytis cinerea

Botrytis cinerea es una de los principales hongos fitopatógenos de importancia económica, ya que se puede presentar en pre-cosecha y pos-cosecha, y afecta a más de 230 especies de plantas a nivel mundial. Sin embargo, la máxima incidencia de este hongo se presenta en postcosecha, llegando a afectar hasta un 89% de la cosecha almacenada (Donmez *et al.*, 2011). Esta especie es la común del género *Botrytis*, afecta principalmente a dicotiledóneas. Es un patógeno de alto riesgo, debido al rápido desarrollo de resistencia genética contra los fungicidas (Donmez *et al.*, 2011; Fernández-Ortuño *et al.*, 2012; Leroch *et al.*, 2013; Ugolini *et al.*, 2014). *Botrytis cinerea* se ha clasificado en el 2° lugar dentro de los hongos patógenos de las plantas basado en su importancia económica y científica Dean *et al.* (2012). Las mayores pérdidas postcosecha ocurren en la manzana, zarzamora, arándano, fresa, uva, kiwi, pera, frambuesa (Romanazzi y Feliziani, 2014).

Botrytis cinerea es uno de los mayores desafíos para los productores de fresa en Florida ya que las pérdidas causada por este hongo pueden exceder el 50 %, donde demanda la aplicación semanal de fungicidas con un costo de aproximadamente 7% de los costos en pre-cosecha (alrededor de 690 dólares por acre) (IFAS, 2010). De acuerdo a Dean *et al.* (2012) el costo para el control de esta enfermedad ha sido estimado alrededor de 310 millones de dólares, principalmente en Francia e Italia para uva y en China y Japón para hortalizas.

La infección del hongo se lleva a cabo mediante el anclaje de los tubos germinativos (ramificación de hifas sobre el tejido vegetal a infectar) donde el proceso de infección va acompañado de la secreción de sustancias que degradan el tejido vegetal del órgano de la planta huésped (Femenía, 2007). La temperatura óptima para el crecimiento de este hongo es de 22-25 °C; con una mínima de -2 – 12°C y una máxima de 33-35°C (Samson *et al.*, 2004). En fresa,

la temperatura óptima de infección de este hongo sobre la flor es de alrededor de 20°C, sin embargo, algunas flores son infectadas a temperaturas por debajo de los 15°C y la infección es crítica cuando las flores se encuentran húmedas (Bulger *et al.*, 1987)

Tecnologías postcosecha para el control de *Botrytis cinerea*

Refrigeración

La refrigeración es el método más eficiente para mantener la calidad e inocuidad de muchas frutas y hortalizas, debido a que reduce la tasa respiratoria, pérdida de agua, producción de etileno, senescencia y la presencia de microorganismos. En refrigeración, la temperatura de almacenamiento es uno de los factores a considerar en la vida postcosecha de frutas y hortalizas frescas debido a su efecto en la tasa de reacciones biológicas y crecimiento de microorganismos (Li y Kader, 1989; Wang, 1993; Wills *et al.*, 2007). Sin embargo, el almacenamiento en frío es algunas veces limitado debido a la sensibilidad al frío de muchos productos hortofrutícolas.

Dentro de las principales funciones de la refrigeración es el control de la tasa de respiración. La respiración genera calor conforme los azúcares, aceites y proteínas en las células del cultivo se oxidan. Las pérdidas de estos productos de reserva a través de la respiración disminuyen el valor nutritivo, pérdida de peso y sabor, determinando así la vida postcosecha del producto. Feliziani y Romanazzi (2016) mencionan que el almacenamiento en refrigeración necesita ser constante sin interrumpir la cadena de frío ya que puede permitir el desarrollo del patógeno durante el almacenamiento ya que de acuerdo a Nunes *et al.*, (1995) hay una relación directa entre el tiempo de cosecha y almacenamiento en frío ya que entre más rápido sea el enfriamiento más bajo será el porcentaje de pudrición de fruta.

Por su parte Ayala-Zavala *et al.* (2004) encontraron que frutos de fresa almacenados a 5 y 10°C mostraron una alta capacidad antioxidante, mayor concentración de fenoles y antocianinas comparado con frutos almacenados a 0°C. Lo anterior es similar a lo reportado por Jin *et al.* (2011) quienes observaron que frutos de fresa almacenados a 10°C exhibieron una alta capacidad antioxidantes que aquellos frutos almacenados a 5 y 0°C. Además, estos autores encontraron que frutos de fresa almacenados a 10°C mostraron una disminución significativa de sólidos solubles totales después de 11 días de almacenamiento comparado con frutos almacenados a 0°C y 5°C, lo cual pudo deberse a que un almacenamiento a 10°C provoca una respiración más alta en los frutos, mientras que las temperaturas a 5 y 0°C pudieron haber ayudado a conservar carbohidratos en él tejido. Por otra parte, estos autores mencionan que los fenoles incrementan continuamente cuando los frutos se almacenan a 10 y 5°C, mientras que estos compuestos mantienen niveles bajos cuando son almacenados a 0°C

Se ha reportado en frutos de fresa que el índice de pudrición aumenta rápidamente cuando son almacenados a 10°C, especialmente después de 7 días de almacenamiento. Mientras que los frutos almacenados a 5°C muestran una menor pudrición por 13 días de almacenamiento. Sin embargo, la temperatura óptima para la prevención de pudriciones causados por *Botrytis cinerea* es de 0°C (Ayala-Zavala *et al.*, 2004).

Ke *et al.* (1991) encontraron que el porcentaje de pudrición de frutos de fresa causados por *botritis* almacenados a 0 y 5°C disminuyó significativamente cuando se utilizó 0.25% de O₂ comparado con el testigo (aire). Por otra parte, Cordenunsi *et al.* (2005) encontraron que frutos de fresa del cultivar Campineiro almacenados a 6 °C durante 6 días no mostraron cambios en el contenido de sólidos solubles totales, sin embargo, frutos del cultivar Dover almacenados en las mismas condiciones, tuvieron un incremento de Sólidos Solubles Totales de 10% mientras que los frutos del cultivar de Oso Grande tuvo una disminución del

20% de sólidos solubles totales, concluyendo que compuestos como azúcares, ácido cítrico y compuestos volátiles varían considerablemente entre las diferentes especies frutales. Estos autores además observaron que los tres cultivares de fresa acumularon antocianinas durante el almacenamiento, donde la temperatura afecta no solo la tasa de síntesis de pigmentos sino además la concentración de este pigmento, donde todas las fresas presentaron bajas concentraciones cuando fueron almacenadas a 6°C siendo frutos del cultivar Campineiro los más afectados.

Häkkinen and Törrönen (2000) reportaron una disminución en la concentración de ácido elágico en un 40% cuando frutos de fresa fueron almacenados durante 9 meses almacenados en un congelador. En frambuesa se ha observado que el contenido total de fenoles y la capacidad de liberación de radicales libres disminuyó en un 4-20% cuando la fruta fue sometida a un proceso de congelamiento (menor a 0°C) (Ancos *et al.*, 2000). Kalt *et al.* (1999) encontraron que temperaturas por encima de 10°C significativamente afectaron el metabolismo de fruto de frambuesa alterando así el contenido de ácidos fenólicos y la integridad de la fruta. Por su parte, Nunes *et al.* (2003) encontraron que los frutos de frambuesa almacenados a 10, 15 y 20°C disminuyeron la brillantez del fruto, firmeza y presencia de mal sabor.

Atmósferas controladas

Las atmósferas controladas han sido utilizadas comercialmente en frutas y hortalizas para prevenir la aparición de *Botrytis cinerea* durante su almacenamiento y transporte. Es una práctica ampliamente utilizada para el control de hongos en frutas y hortalizas frescas, incrementando así la vida postcosecha del producto (Almenar *et al.*, 2006). Esta tecnología ha experimentado un significativo crecimiento en el mercado en los recientes años y esto se debe a un incremento del consumo de frutas y hortalizas frescas, así como para mantener la calidad e inocuidad de los productos mínimamente

procesados ofreciendo además una vida postcosecha más larga (Day, 2003). Debido a lo anterior, el diseño de atmósferas controladas es necesario para la selección de materiales de envase para cada producto (Robertson, 2006).

En un estudio realizado por Almenar *et al.* (2006) concluyeron que la atmósfera compuesta por 10% CO₂ y 11% O₂ redujo el crecimiento de hongos. Mientras que Ayala-Zavala *et al.* (2007) encontraron que fruta de fresa almacenada sobre 20 kPa de O₂ (5°C) mostró una alta tasa de pudrición comparada con fruta almacenada sobre altas concentraciones (20-100 kPa). Por su parte, Teles *et al.*, (2014) reportaron que una concentración de 40% de CO₂ en pre-almacenamiento redujo significativamente la incidencia de *Botrytis cinerea*. Los autores concluyeron que un pre-almacenamiento con una alta concentración de CO₂ limita la incidencia de enfermedades en uva, pero es más efectivo cuando se combina con una atmósfera controlada.

Harb *et al.* (2014) recomiendan una atmósfera de almacenamiento enriquecida con CO₂ para el control de pudrición de frutas incluyendo fresa y arándano ya que el efecto antifúngico de una atmósfera controlada es atribuido a la inducción de la biosíntesis de catequina, la cual reduce la incidencia de hongos. Otros reportes han mostrado que la presión parcial de CO₂ (por encima de 12 kPa) permite un acelerado ablandamiento de frutos (Harb *et al.*, 2006)

Zheng *et al.* (2007) encontraron que frutos de fresa almacenados en aire comenzaron a desarrollar pudrición en el día 3 pero alcanzaron un 37.23 % de pudrición en el día 14 de almacenamiento a 5°C. Sin embargo, las atmósferas enriquecidas con O₂ (≥ 60 kPa) fueron efectivas en la inhibición de pudrición causada por *Botrytis cinerea* durante el almacenamiento de oxígeno. Lo anterior es similar a lo reportado por Wszelaki y Mitcham (2000) quienes reportaron que hay una disminución de pudrición en frutos de fresa cuando se incrementa la concentración de O₂ por encima de los 40 kPa concluyendo que las atmósferas que contienen una concentración superior a los 40 kPa son tóxicas para

microorganismos causantes de la pudrición de la fruta. Estos autores no encontraron diferencias sobre las variables sólidos solubles totales, porcentaje de ácido cítrico y pH en frutos de fresa almacenados en atmósferas con altas concentraciones de O₂ y fruta tratada con aire. Los autores concluyeron que la exposición de frutas y hortalizas a niveles altos de O₂ puede tener diferentes efectos en la respiración dependiendo en la etapa de madurez, tiempo y temperatura de almacenamiento, así como también de las concentraciones de O₂, CO₂ y etileno.

De acuerdo con Pelayo-Zaldivar *et al.* (2007) una elevada concentración de CO₂ no afecta la firmeza, el contenido de sólidos solubles totales y pH, sin embargo, el color es una variable que se ve afectada ya que disminuye, así como también hubo una reducción en la concentración de sacarosa, azúcares reductores y ácidos orgánicos. Lo anterior coincide a lo realizado por Holdcroft y Kader (1999a) quienes encontraron que el contenido de ácido cítrico disminuyó cuando los frutos de fresa fueron expuestos a altas concentraciones de CO₂, encontrando además que las concentraciones de ácido málico y cítrico fueron más altas en los tejidos externos del fruto comparado con los internos.

En un estudio realizado por Pelayo *et al.* (2003) observaron que la firmeza de frutos varía de acuerdo al cultivar, la firmeza del cultivar Aromas se mantuvo cuando los frutos se almacenaron a 5°C y con aire + 20 kPa de CO₂ en comparación con la firmeza de frutos de los cultivares Diamante y Selva, que se incrementó con el mismo tratamiento; a su vez Larsen y Watkins (1995) indicaron que la respuesta de frutos de fresa de diferentes cultivares a las atmósferas controladas, también se puede ver afectada por la zona de producción del cultivo.

Se ha observado que al someter frutos de fresa a elevadas concentraciones de CO₂ (10%), la firmeza puede incrementar; mientras que a bajas concentraciones de O₂ no afecta esta variable (Larsen y Watkins, 1995).

Harker *et al.* (2000) mencionan que la adhesión célula – célula se incrementa en un 60% cuando la atmósfera controlada tiene CO₂ en el ambiente, sugiriendo que las concentraciones de H⁺ y HCO₃ se incrementan en el apoplasto, relacionándose además con cambios de pH en el apoplasto promoviendo la precipitación de pectinas solubles y por tanto mejorar la unión célula - célula en frutos de fresa

Por su parte, Ke *et al.* (1991) reportaron que el color en frutos de fresa no se vió afectado cuando se utilizaron concentraciones de O₂ al 1, 0.5 y 0.25%, mientras que el contenido de sólidos solubles y ácido cítrico y pH no se vieron afectados cuando se utilizaron bajas concentraciones de O₂ (0.25 %).

Almenar *et al.* (2006) observaron que los sólidos solubles totales en frutos de fresa silvestre disminuyeron como consecuencia de su metabolismo, siendo afectado por la composición de la atmósfera, también mencionan que un incremento en el contenido de CO₂ puede reducir la respiración en los frutos, por lo tanto, los carbohidratos son degradados en la producción de moléculas de ATP. Estos mismos autores encontraron que el porcentaje de ácido cítrico disminuyó cuando se almacenaron a atmósferas con alto contenido de CO₂ (15 % de CO₂).

Se ha encontrado que una atmósfera controlada con altas concentraciones de CO₂ puede afectar factores físicos tales como color y firmeza, así como la acumulación de volátiles, incluyendo aquellos asociados con la fermentación (Zhang y Watkins, 2005). Se ha reportado que en fresa con atmósferas enriquecidas con CO₂ en postcosecha, tiene como resultado la degradación del color interno de la fruta, y por tanto, una disminución en el contenido de antocianinas (Gil *et al.*, 1997). Sin embargo, Shin *et al.* (2008) mencionan que la etapa de madurez puede afectar el cambio de color en fresa en su almacenamiento.

El efecto del CO₂ sobre variables físicas, compuestos antioxidantes y actividad antioxidante depende del cultivar, los frutos del cultivar Earliglow fueron menos firmes y tuvieron una mayor concentración de antocianinas que el cultivar Northeast (Shin *et al.*, 2008), la textura está relacionada con la adhesión entre la fragilidad celular y la presión de turgencia interna (Harker *et al.*, 1997). Además, la presencia de CO₂ en la atmósfera puede modificar el pH del apoplasto, la precipitación subsecuente de pectina soluble y la unión célula - célula que son componentes de la firmeza (Harker *et al.*, 2000).

Fernández-Trujillo *et al.* (2007) encontraron que las concentraciones de etanol, acetaldehídos y etil acetato incrementaron cuando la fruta se almacenó en una atmósfera con 20% de CO₂. Mientras que Gil *et al.* (1997) observaron que altas concentraciones de CO₂ puede tener un efecto estimulador en la oxidación del ácido ascórbico o una inhibición en la reducción de ácido mono o dehidro-ascórbico a ácido ascórbico.

En un estudio realizado por Barrios *et al.* (2014) concluyeron que un incremento de O₂ y CO₂ resultó en altas tasas de respiración en frutos de fresa, lo cual responde a una relación bien conocida entre temperatura, concentraciones de O₂ y el metabolismo de la planta (Li *et al.*, 2009). Por otra parte, los autores mencionan que un incremento de temperatura acelera las reacciones metabólicas y por lo tanto acelera la respiración, mientras que altas concentraciones de O₂ acelera el consumo de O₂ debido a que las enzimas respiratorias están expuestas a mayores niveles de reacción del sustrato.

Bodelón *et al.* (2010) determinaron los cambios en los parámetros de color en frutos de fresa almacenados a 0°C en una atmósfera enriquecida de CO₂, donde el color en frutos de fresa no tratados con CO₂ cambiaron de manera similar a la temperatura a 0°C, donde no se detectó oscurecimiento en frutas tratadas con CO₂. El parámetro "a" disminuyó significativamente en frutos de fresa almacenados en una atmósfera de CO₂, mientras que los valores de "b"

fueron afectados negativamente por el almacenamiento a 0°C. Ha sido reportado que el almacenamiento de fresas en atmósferas en un ambiente enriquecido de CO₂ induce a una reducción del color interno (Gil *et al.*, 1997).

Blanch *et al.* (2014) encontraron que altas concentraciones de CO₂ previenen la pérdida de peso y la desorganización de la estructura de la célula en relación al testigo no tratado con CO₂, donde el tratamiento con 20% de CO₂ tuvo un efecto protector de la estructura celular, previniendo el movimiento de agua dentro de los espacios intercelulares. Además este tratamiento aumentó la concentración de azúcares totales y prolina durante el tratamiento.

Se ha sugerido que las elevadas concentraciones de O₂ representan una alternativa a las concentraciones bajas de O₂ y altas de CO₂ de una atmósfera controlada para mantener la calidad e inocuidad de los productos alimenticios. Day (1996) sugirió una elevada concentración de O₂ (60%) como alternativa a la atmósfera la cual está compuesta de O₂ y CO₂, para el almacenamiento de productos mínimamente procesados con el objetivo de mantener la calidad e inocuidad.

Compuestos antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que pueden remover los radicales libres, los cuales pueden disminuir la incidencia del daño inducido por estrés oxidativo y proteger al tejido de estrés y enfermedades (Ayala-Zavala *et al.*, 2004; Skrovankova *et al.*, 2015). De acuerdo con Larson (1998) los compuestos antioxidantes con mayor presencia en frutas y hortalizas son el ácido ascórbico, carotenoides, vitamina E y los compuestos fenólicos. Sin embargo, el ácido ascórbico y fenoles son los compuestos antioxidantes más comunes en las berries (Manganaris *et al.*, 2013), esto ha provocado una investigación exhaustiva sobre el efecto de los antioxidantes en la salud del humano para determinar su contenido y actividad en frutas y hortalizas y en la búsqueda de

nuevas variedades que proporcionen los antioxidantes necesarios al humano (Ayala-Zavala *et al.*, 2004). La capacidad antioxidante de las berries (fresa, arándano, frambuesa y zarzamora) es variable y depende de factores tales como el cultivar, condiciones ambientales, nutrición, etapa de madurez, tiempo de cosecha y de las condiciones de almacenamiento (Skrovankova *et al.*, 2015).

Compuestos antioxidantes en fresa

Los frutos de fresa son una fuente natural de antioxidantes, entre los cuales se incluye ácido ascórbico, antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos, que proporcionan propiedades benéficas a la salud humana. La fresa se caracteriza por tener uno de los más altos contenidos de ácido ascórbico. (Erkan *et al.*, 2008; Skrovankova *et al.*, 2015). Dentro de los beneficios de consumir fresas es que los antioxidantes ayudan a disminuir el riesgo de incidentes cardiovasculares mediante la inhibición de la oxidación del colesterol LDL, o la mejora de la función endotelial vascular (Basu *et al.*, 2010; Prasath *et al.*, 2014).

Por su parte, Remberg *et al.*, (2003) reportaron que la capacidad antioxidante disminuye considerablemente durante refrigeración en diferentes variedades de arándano ('Bluecrop', 'Hardyblue', 'Patriot', 'Putte', and 'Aron'). Cordenunsi *et al.* (2005) encontraron en tres cultivares de fresa (Dover, Oso Grande, Campineiro) mostraron actividades antioxidantes similares cuando se almacenaron a 6, 16 y 25°C, sin embargo, la actividad antioxidante disminuyó en los tres cultivares durante el almacenamiento entre un 9 y 30%.

El ácido ascórbico es un potente antioxidante, se encuentra en berries en estado fresco en cantidades significativas, ya que además es una vitamina soluble en agua con excelentes propiedades reductoras, es conocido por su alta capacidad antioxidante debido a la neutralización de radicales libres y otras especies reactivas de oxígeno (Skrovankova *et al.*, 2015; Proteggente *et al.*,

2002). El contenido de esta vitamina es altamente variable en fresa y los rangos van de 5 a 50 mg/100 g de peso fresco (Kalt *et al.*, 1999; Odriozola-Serrano *et al.*, 2008; Škrovánková *et al.*, 2006; Sapei y Hwa., 2014); sin embargo, en algunas variedades se han reportado hasta 80 mg/100 g de peso fresco (Franke *et al.*, 2004).

Las antocianinas en fresas son pigmentos naturales solubles en agua de mayor presencia, estas son responsables del color de fruto y pueden ser usados como pigmentos naturales (colores rojo y azul). Estos pigmentos pertenecen a un grupo amplio de polifenoles conocidos como flavonoides, los cuales son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas superiores (He y Giusti, 2010). Fredes *et al.* (2014) y Kalt *et al.* (1999) mencionan que el contenido de antocianinas en frutos de fresa es mucho más bajo que en arándano, zarzamoras y frambuesas. Se ha reportado que el efecto del calcio tiene un efecto significativo en la síntesis de antocianinas ya que la ruta de señalización de este elemento está involucrada en la acumulación de antocianinas por la activación de genes como el DFR. He y Giusti (2010) mencionan que a la fecha se han identificado alrededor de 635 tipos de antocianinas presentes en frutas y hortalizas, de las cuales seis son ampliamente distribuidas: cianadina, delfinidina, petunidina, peonidina, pelargonidina y malvidina (Prior y Wu, 2006).

De acuerdo con Lopes da Silva *et al.*, (2007) mencionaron que la pelargonidina-3-glucosido (88%) es la antocianina más común en frutos de fresa, seguida por la pelargonidina-3- rutinosida (6-11%) y cianidina-3-glucosidasa (Ci-3-gl) en un rango de 3-10%. Lopes da Silva *et al.*, (2002) y Lopes da Silva *et al.*, (2007) reportaron otro tipo de antocianinas en frutos de fresa como Pg-3-acetil-glucosidasa, cianamida-3-manonilglucosidasa, así como también cianidina-3-rutinosida (Bridle y Garcia- Viguera, 1997) y pelargonidina-3-succinil-glucosidasa (Bakker *et al.*, 1994). Schotsmans *et al.* (2007) encontraron que frutos de arándano mostraron una alta capacidad antioxidante después de 6 días a 20°C lo

que indica que la maquinaria enzimática para la biosíntesis de flavonoides es todavía activa durante el almacenamiento.

Kalt *et al.* (1999) encontraron que el contenido de antocianinas incrementa durante el almacenamiento, mientras que los fenoles totales y la capacidad antioxidante no cambiaron. Sin embargo, en frambuesas hay un incremento en los fenoles, incluyendo antocianinas, y un incremento en la capacidad antioxidante, cuando fueron almacenadas a 20°C.

Marín *et al.*, (2007) encontraron que la concentración de antocianinas en fresa se preservó cuando la fruta de fresa se almacenó en atmósferas enriquecidas de O₂, mientras que las procianidinas se vieron favorecidas con una elevada concentración de CO₂. Por su parte, Ayala-Zavala *et al.* (2007) reportaron que frutos de fresa almacenadas en atmósferas ricas en O₂ (>40 kPa) tuvieron una mayor capacidad antioxidante, mayor concentración de fenoles, menor pudrición y una vida postcosecha más larga. También observaron que la fruta almacenada a altas concentraciones de O₂ generalmente tienen bajas concentraciones de compuestos volátiles. Una alta concentración de O₂ ha sido efectiva en la disminución de la descoloración enzimática, previniendo la respiración anaeróbica y por lo tanto la inhibición del crecimiento de microorganismos, como bacterias y hongos (Kader *et al.*, 2000). Sin embargo, un incremento en la concentración de O₂ resulta en una alta producción de radicales libres, los cuales pueden causar daño al tejido.

Fenoles

Los ácidos fenólicos son un grupo grande de metabolitos secundarios; consisten de uno o más anillos aromáticos con grados variables de hidroxilación, metoxilación y glicosilación, contribuyendo además en el color, astringencia y amargor de fruto (Crozier *et al.*, 2006). De acuerdo con Manganaris *et al.* (2013),

las principales categorías de compuestos fenólicos que se encuentran en berries son ácidos fenólicos y flavonoides.

Los fenoles en berries representan un grupo diverso de compuestos los cuales incluyen ácidos fenólicos (ácido hidroxibenzoico y ácido hidroxicinámico), flavonoides (flavonoles y flavanoles) y antocianinas (Skrovankova *et al.*, 2015). El contenido de fenoles en fresas es aproximadamente similar a los reportados en frambuesas y zarzamoras, pero más bajos que en los frutos de arándano (Fredes *et al.*, 2014; Kalt *et al.*, 1999).

Oliveira *et al.* (2015) mencionaron que valores de pH (2.5) son mejores para la preservación de los polifenoles durante el almacenamiento en fresa. Holcroft y Kader (1999b) encontraron que los fenoles se incrementaron durante el almacenamiento (flujo de aire) pero no fueron afectados por el almacenamiento en atmósfera (aire con 20 kPa CO₂) teniendo una mayor concentración en los tejidos externos que en los internos. También observaron que la concentración se incremento cuando los frutos de fresa estuvieron almacenados durante 5 días en aire con 20 kPa CO₂. Por otra parte, Harb *et al.* (2014) encontraron que polifenoles de frutos de arándano mostraron un incremento cuando el CO₂ en la atmósfera varió de 6 a 12 kPa y una presión parcial de O₂ (3 kPa) preservaron la capacidad de las células para sintetizar flavonoides.

Por otra parte, los polifenoles pueden incrementar o disminuir en frutas y hortalizas dependiendo de las condiciones de almacenamiento. Por ejemplo, manzanas almacenadas a 1.5 o 4°C con o sin atmósfera controlada, mantuvo el contenido de fenoles durante el almacenamiento (van der Sluis *et al.* 2001). Sin embargo, otro estudio en manzanas que fueron almacenadas a 5°C en aire, 27 % de los fenoles disminuyeron después de dos meses de almacenamiento.

Cordenunsi *et al.*, (2005) reportaron que el contenido de flavonoles en fresa fue similar entre los cultivares Oso Grande, Dover y Campineiro cuando fueron almacenados a 6 °C. Por otra parte, la concentración de ácidos fenólicos fue similar entre los cultivares con una concentración promedio de 300 mg/100 g de peso fresco los cuales no fueron afectados por la refrigeración de almacenamiento (6°C).

Ácidos Fenólicos

Los ácidos fenólicos (ácidos. elágico, clorogénico, cafeíco y ferúlico) son metabolitos secundarios los cuales pueden ser encontrados en productos alimenticios de origen vegetal. Además, estos compuestos son parte importante en la dieta animal y vegetal (Gulcin, 2006). El contenido de flavonoides y ácidos fenólicos tiene una gran influencia en la calidad de las frutas ya que contribuyen en sus atributos organolépticos y en su valor nutricional (Scalzo *et al.*, 2005). De acuerdo con Zadernowski *et al.* (2005) las berries (fresa, zarzamora, frambuesa) constituyen una de las principales fuentes de ácidos fenólicos que tienen un efecto benéfico en la salud, donde el contenido de estos ácidos son afectados por el grado de madurez de cosecha, diferencias entre cultivares, condiciones ambientales durante el crecimiento y desarrollo de fruto, almacenamiento y proceso (Zadernowski *et al.*, 2005; Shahidi *et al.*, 2004).

Dentro de los ácidos fenólicos se encuentra el ácido elágico (Figura 1), el cual es un compuesto fenólico que ocurre naturalmente en las plantas y se puede encontrar en uvas, nueces, fresas, frambuesas, arándanos, zarzamoras, té verde, en tallo y madera de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maculata* (Girish *et al.*, 2008). Este ácido está presente en la forma de taninos hidrosolubles llamados elagitaninos como componente de la pared y membrana celular. Las berries (fresa, zarzamora, frambuesa) son una fuente principal de ácido elágico en nuestra dieta, es un ácido hidrogenado, normalmente que se presenta como un polímero el cual ha mostrado tener una acción anticancerígena (Cordenunsi *et*

al., 2005). Los frutos de fresa tienen una alta absorbancia a radicales de oxígeno, actúa sobre radicales de peróxido y oxígeno singlete (Zheng *et al.*, 2007). Este ácido ha mostrado ser un potente anticancerígeno, uno de los principales mecanismos por el cual este ácido ha sido propuesto tener beneficios anticancerígenos es por la modulación del metabolismo de las toxinas y con ello prevenir la iniciación de la carcinogénesis inducida por estos químicos (Zhang *et al.*, 2013).

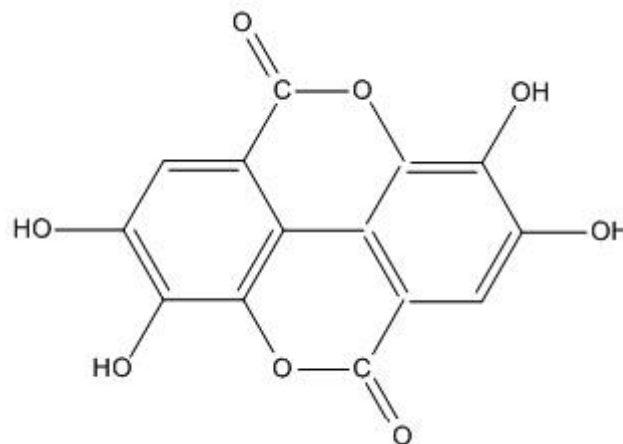


Figura 1. Estructura química del ácido elágico

Pei-chun *et al.* (2009) mencionan que el ácido elágico y cafeíco ocurren naturalmente en especies de plantas como zanahoria, tomate, fresa y arándano. Estos ácidos poseen actividades antioxidante como la eliminación de radicales libres y quelatos de iones metálicos (Mattila *et al.*, 2002). Maas *et al* (1991) mencionan que el contenido de ácido elágico en fresas es mucho mayor en fresas verdes comparado con fresas de color comercial (rojas).

Zheng *et al* (2007) encontraron que el ácido elágico y *p*-coumaroylglucose fueron los compuestos fenólicos con mayor concentración en frutos de fresa con concentraciones iniciales de 20.3 y 19.3 $\mu\text{g/g}$ de peso fresco, respectivamente. Además observaron que el contenido de estos ácidos fenólicos incrementó substancialmente después de los primeros 7 días de almacenamiento en atmósferas controladas enriquecidas con O_2 (≥ 60 kPa).

El ácido cafeíco (ácido 3,4-dihidroxicinnámico) (Figura 2), ha mostrado ser un protectante α -tocoferol en lipoproteína de baja densidad. Este ácido y sus derivados son buenos sustratos de la enzima polifenol oxidasa, y en ciertas condiciones pueden sufrir oxidación los tejidos de la plantas o productos derivados de las plantas (Bassil *et al.*, 2005; Gulcin, 2006). Las concentraciones de ácido ferúlico, cafeíco, coumarico y clorogénico (Figura 3) son altos en frutas como frambuesas y fresas en madurez fisiológica, disminuyendo rápidamente madurez de consumo y después más despacio durante la maduración y almacenamiento.

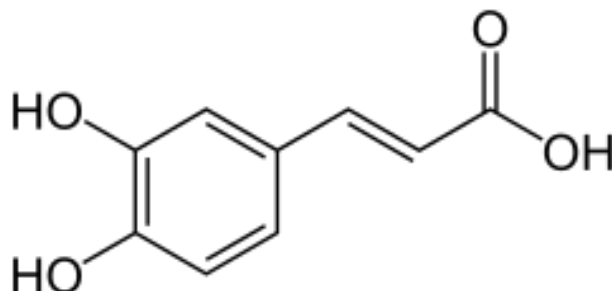


Figura 2. Estructura química del ácido cafeíco

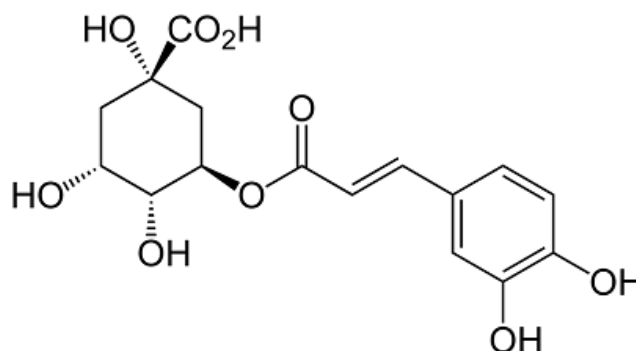


Figura 3. Estructura química del ácido clorogénico

Otro de los ácidos fenólicos de mayor importancia es el ferúlico (Figura 4), este es un antioxidante muy abundante en la dieta del humano y ofrece efectos benéficos como el control de cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes y

Alzheimer. Este ácido está presente en granos, cítricos, plátano, café, berenjena, brotes de bambú, calabaza, espinaca y brócoli (Zhao *et al.*, 2008). La capacidad antioxidante es una de las principales actividades biológicas que tiene el ácido ferúlico ya que está relacionado en la prevención de desórdenes ligados al estrés oxidativo incluyendo el Alzheimer (Perluigi *et al.*, 2006), diabetes (Ohnishi *et al.*, 2004), cáncer (Chang *et al.*, 2006) e hipertensión (Suzuki *et al.*, 2007). En un estudio realizado por Van De Velde *et al.* (2013) encontraron diferencias entre variedades de fresas en la concentración de ácido ferúlico ya que la concentración de este ácido fue 20% más alta en el cultivar Camarosa comparada con el cultivar Selva.

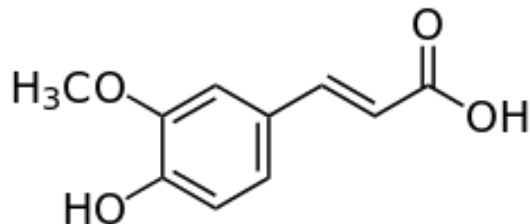


Figura 4. Estructura química del ácido ferúlico

Flavonoides

Los flavonoides es un grupo que comprende al menos 6000 compuestos fenólicos, los cuales pueden ser encontrados en frutas, hortalizas, semillas, chocolate, vinos tintos y hierbas, principalmente. Los flavonoides más importantes son rutina, miricetina, quercitina, florizidina y narangenina. Estos compuestos consisten básicamente de dos anillos aromáticos (anillos A y B) ligados por una cadena de tres carbonos que forma un anillo heterocíclico oxigenado (anillo C). Estos compuestos son considerados metabolitos secundarios y están localizadas en las vacuolas de la célula (Vinayagam y Xu, 2015). Los flavonoides están involucrados en la producción de la pigmentación en flores. Por ejemplo, el color azul resulta de la presencia de antocianinas en los

pétalos. Algunos de los flavonoides como isoflavonoides, flavones y flavonones son reconocidos como agentes antifúngicos en las plantas (Janićijević *et al.*, 2007).

La miricetina (Figura 5) es un flavonoide muy común de encontrar en las plantas y es bien reconocido por su valor nutracéutico (Semwal *et al.*, 2016). Este compuesto que exhibe un amplio rango de actividades, entre las cuales destaca como antioxidante, anticancerígeno, antidiabético y anti-inflamatorio. Además está relacionado a actividades del sistema nervioso central y numerosos estudios han sugerido que puede ser benéfico contra enfermedades como Parkinson y Alzheimer. Este compuesto es producido principalmente por miembros de la familia Miricaceae, Anacardiaceae, Polygonaceae, Pinaceae y Ptimulaceae. También se puede encontrar en berries.

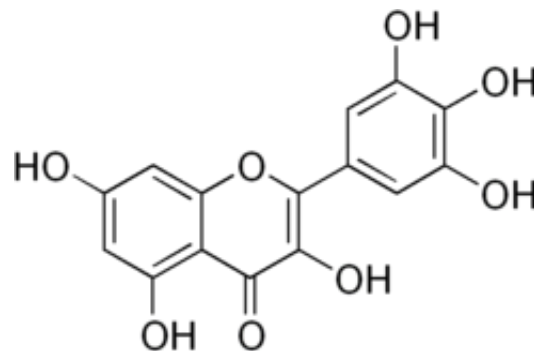


Figura 5. Estructura química de miricetina.

La rutina (Figura 6) es otro flavonoide que puede ser ampliamente extraído de fuentes naturales como naranjas, limones, uvas, limas, duraznos y de las berries (Kreft *et al.*, 1999; Huang *et al.*, 2012). Fernandes (2010) mostró que la rutina puede mejorar el estatus metabólico de ratas con diabetes, así como también, está involucrado en la activación de enzimas del hígado asociadas con procesos metabólicos como la gluconeogénesis (Prince *et al.*, 2006).

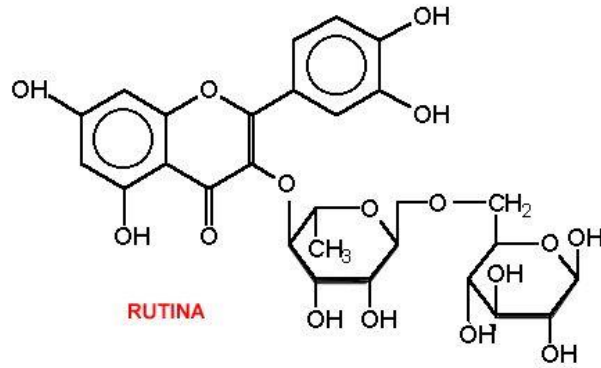


Figura 6. Estructura química de rutina.

La quercitina (Figura 7) es uno de los flavonoides ampliamente usados en la dieta diaria del humano. Se puede encontrar en diferentes tipos de fruta, lechuga, pimiento, cilantro, hinojo, rábano, eneldo, fresa, zarzamora, frambuesa, cebollas, manzanas y en vinos (160). Entre las principales funciones de este flavonoide se encuentra la disminución en peroxidación de lípidos y un incremento en la actividad de enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPX) y catalasa (CAT) una reducción en la absorción de glucosa intestinal por la inhibición de glutatión (GLUT2) (Coskun *et al.*, 2005; Stewart *et al.*, 2009).

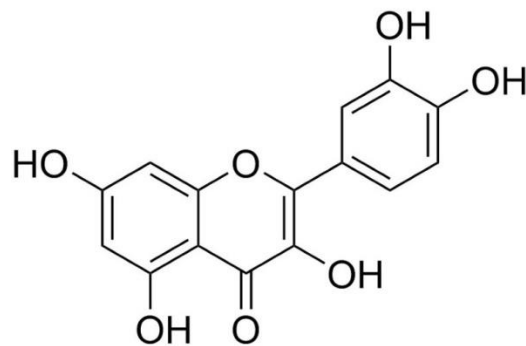


Figura 7. Estructura química de quercitina.

La narangenina (Figura 8) es principalmente encontrado en cítricos como naranjas, pomelos, mandarinas y tomates, ha sido reportado tener potencial antioxidante (Wilcox *et al.*, 1999). Además, este compuesto tiene un efecto similar a la insulina teniendo como efecto una disminución en la secreción de la poliproteína B en los hepatocitos (Van Acker *et al.*, 2000). También se ha encontrado que narangenina previene los cambios funcionales en la actividad vascular en ratas diabéticas a través de óxido nitroso (Fallahi *et al.*, 2012).

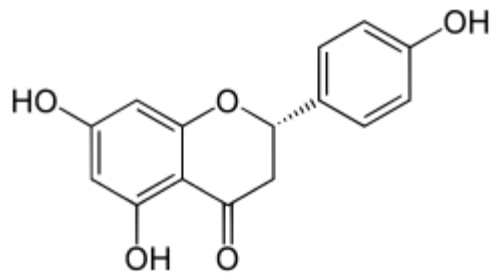


Figura 8. Estructura química de narangenina.

CAPÍTULO I. CALIDAD Y CONTROL DE *Botrytis cinerea* EN TRES VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA (*Fragaria ananassa*) TRATADAS CON CONCENTRACIONES ALTAS DE CO₂

1.1 RESUMEN

La frigoconservación y tratamientos con atmósferas controladas son alternativas para el control en postcosecha del hongo (*Botrytis cinerea*) y disminuir la pérdida de calidad comercial de la fresa (*Fragaria ananassa*). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de concentraciones altas de CO₂ en el desarrollo de pudriciones causadas por *Botrytis cinerea*, y en la vida de anaquel de cuatro variedades de fresa. En el experimento se utilizaron concentraciones de 5% y 10% de CO₂ (Parcela chica), tiempos de almacenamiento de 3 y 5 días (Parcela grande) a 3°C aplicándolos a 3 variedades mexicanas de fresa (Zamorana, Jacona, CP-LE7) y una variedad comercial (Festival) (como bloques), en un diseño experimental en parcelas divididas en bloques al azar, utilizando 5 repeticiones. La unidad experimental fue de un fruto (por repetición) y las medias se compararon con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$. En las cuatro variedades de fresa las variables evaluadas fueron: color, firmeza, pérdida de peso, porcentaje de pudriciones, azúcares totales, acidez titulable, sólidos solubles totales, pH, etanol y acetaldehído. Los frutos se almacenaron a 3°C con dos atmósferas controladas con 5, 10 % CO₂ y ambiente durante 3 o 5 días en esas condiciones más 2 días a 20°C \pm 2°C y 50 a 60% HR. Las tres variedades CP-LE7, Zamorana y Jacona presentaron atributos menores en sabor (SST y AT) que Festival, Las variedades mexicanas presentaron diferencia estadística significativa, CP-LE7 sobresalió en el contenido de vitamina C (44.78 mg ac. ascórbico 100⁻¹ g,) y firmeza al igual que Jacona (22.95 N); Zamorana perdió menos peso (0.88% y 15.23%) y Jacona presentó frutos rojo brillante (L= 34.54, C= 32.33) comparados con Festival. La atmósfera controlada con 10% CO₂ durante cinco días mantuvo la mayor acumulación de vitamina C, firmeza, color y disminuyó la pérdida de peso en los frutos, además de que resultó en la menor infección (4%) *Botrytis cinerea*, presentando un comportamiento similar en las cuatro variedades. El contenido de acetaldehído

que se generó como consecuencia de las atmósferas controladas en los frutos no llegó a demeritar los atributos de calidad interna.

Palabras Clave: atmósferas controladas, refrigeración, concentración CO₂, fresa, *Fragaria ananassa*

1.2 ABSTRACT

The frigoconservación and treatments with controlled atmospheres are alternatives for the control in postharvest of the fungus (*Botrytis cinerea*) and diminish the loss of commercial quality of the strawberry (*Fragaria ananassa*). The objective of this work was to evaluate the effect of high CO₂ concentrations on the development of decay caused by *Botrytis cinerea*, and on the shelf life of four strawberry varieties. In the experiment, concentrations of 5% and 10% of CO₂ were used (small plot), storage times of 3 and 5 days (large plot) at 3°C, applying them to 3 Mexican strawberry varieties (Zamorana, Jacona, CP-LE7) and a foreign variety (Festival) (as blocks), in an experimental design in plots divided into random blocks, using 5 repetitions. The experimental unit was one fruit (per repetition) and the means were compared with the Tukey test $p \leq 0.05$. In the four varieties of strawberry, the variables evaluated were: color, firmness, weight loss, percentage of decay, total sugars, titratable acidity, total soluble solids, pH, ethanol and acetaldehyde. The fruits were stored at 3°C with two atmospheres controlled with 5, 10% CO₂ and normal for 3 or 5 day in those conditions plus 2 d at 20°C \pm 2°C and 50 to 60% RH. The three varieties CP-LE7, Zamorana and Jacona had lower flavor attributes (SST and AT) than Festival, Mexican varieties presented significant statistical difference, CP-LE7 excelled in vitamin C content (44.78 mg ascorbic acid 100-1 g,) and firmness as Jacona (22.95 N); Zamorana lost less weight (0.88% and 15.23%) and Jacona presented bright red fruits (L= 34.54, C= 32.33) compared with Festival. The atmosphere controlled with 10% CO₂ for five days maintained the highest accumulation of vitamin C, firmness, color and decreased weight loss in the fruits, as well as resulting in the lowest infection (4%) *Botrytis cinerea*, presenting a similar behavior in the four varieties. The acetaldehyde content that was generated as a consequence of the controlled atmospheres in the fruits did not detract from the internal quality attributes.

Keywords: controlled atmospheres, refrigeration, CO₂ concentration, strawberry, *Fragaria ananassa*

1.3 INTRODUCCIÓN

La producción de fresa (*Fragaria ananassa*) en México es cerca de 430 mil t de fruta fresca, de las cuales se exportan 107 759, con un valor de 209. 4 millones de dólares (FAOSTAT, 2017). Entre las principales variedades cultivadas están: Festival, Sweet Charlie, Galaxia, Camino Real, Albión, Camarosa y Diamante, todas provienen de plantas madre importadas de los Estados Unidos y en México se multiplican en viveros, luego se trasplantan y desarrollan en campo o sistemas protegidos. En el Colegio de Postgraduados, México, se cuentan con dos variedades mexicana liberadas como son: Zamorana y Jacona, ambas cuentan con Títulos de Obtentor número 0500 y 0501 respectivamente otorgado por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación en el Diario Oficial, 2010. Además de tres líneas avanzadas altamente sobresalientes: CP-LE7, CP-05-04 y CP-06-15. Estas variedades cuentan con evaluaciones y validaciones en su desempeño productivo, susceptibilidad o tolerancia a plagas y enfermedades y estudios de calidad en comparación con variedades comerciales extranjeras

Los frutos de fresa son muy perecederos debido a su actividad metabólica alta y susceptibilidad a daños mecánicos, pérdidas de agua y desarrollo de pudriciones causadas principalmente por *Botrytis cinerea*, (Anderson *et al.*, 2004). Uno de los factores que más acelera el deterioro de los frutos de fresa es la temperatura, por lo que el diseño de una adecuada cadena de frío es importante para lograr una vida de anaquel acorde con los requerimientos de comercialización establecidos. Las fresas se cosechan y empacan en campo, y posteriormente se pre enfrían hasta la temperatura de almacenamiento o transporte o ambos. Un retraso en el enfriamiento de 6 h en frutos cosechados a 30 °C disminuye significativamente la firmeza y pérdidas en la apariencia (Nunes *et al.*, 1995). Las temperatura de refrigeración recomendada para frutos de fresa es entre 0 y 0.5°C (Anderson *et al.*, 2004). Las atmósferas con concentraciones altas de CO₂ (10 a 20%), se utilizan durante el transporte y almacenamiento refrigerado de frutos de fresa con el fin de retardar su deterioro por efecto de

ablandamiento de tejidos, pérdidas aceleradas de agua y desarrollo de pudriciones (Tudela *et al.*, 2003); sin embargo, dependiendo del cultivar, tecnología de producción y concentración de CO₂, se estimula metabolismo anaeróbico con el cual, dependiendo del tiempo de exposición, se favorece la acumulación de etanol y acetaldehídos, con la consecuente percepción de sabores y aromas desagradables (Deell, 2006). La respuesta de los frutos de fresa al tratamiento de refrigeración con o sin atmósferas enriquecidas con CO₂, varía con el cultivar, Pelayo *et al.* (2003) reporta diferencias en la vida postcosecha de dos a cuatro días entre los cultivares de fresa Aromas, Selva y Diamante.

En las variedades mexicanas de fresa se desconocen las respuestas, bioquímicas y fisiológicas de los frutos al uso de atmósferas controladas y temperaturas de refrigeración, por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos concentraciones altas de CO₂ por corto periodo en los cambios asociados con la calidad, control de pudriciones y vida de anaquel de tres variedades mexicanas de fresa.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Las variedades mexicanas de fresa: CP-LE7, Zamorana y Jacona, así como la variedad extranjera Festival (testigo); se desarrollaron en una parcela comercial de Tangancicuaro (19°N 102°O), Michoacán. De cada variedad se realizaron dos cosechas en Enero 2015 y 2016, tomando muestras al azar de frutos con grado de madurez $\frac{3}{4}$ de color rojo. Los frutos defectuosos se eliminaron así como aquellos con daños físicos o por patógenos; posteriormente con los frutos seleccionados se almacenaron a 3°C con atmósferas con 5% y 10% para el primer muestreo (2015). En la segunda cosecha (2016) se aumentó el almacenamiento de los frutos bajo condiciones de atmósfera normal a 3°C (3°C + A. A). Los frutos se almacenaron en cada tratamiento durante 3 y 5 días y 2 días adicionales al ambiente (20 ± 2°C, 50 -60 % HR). Todos los tratamientos

tuvieron cuatro repeticiones, por lo que se utilizaron cuatro recipientes de 4 L por variedad. En cada recipiente se colocaron 800 g de frutos de cada variedad. Para establecer las atmósferas deseadas se utilizó un mezclador de gases (Postharvest Research, UC, Davis, Ca, USA, con 6 estaciones mezcladoras). La distribución de las mezclas de gases generados se hizo con tableros con capilares previamente calibrados con los flujos siguientes para 5% y 10% de CO₂, respectivamente: CP-LE7 (1.78 y 1.93 L min⁻¹), Zamorana (2.00 y 2.13 L min⁻¹), Jacona (1.99 y 2.12 L min⁻¹) y Festival (2.00 y 2.14 L min⁻¹). Para el monitoreo de gases se utilizó un medidor Telaire Modelo 7001 con precisión de ± 0.5 %. El flujo de gases se humidificó previo a la entrada de los tableros de distribución para mantener una HR del 90% en los recipientes.

La incidencia pudriciones por *B. cinerea*, se evaluó en 50 frutos de cada variedad. Los frutos se cosecharon y fueron expuestos a las concentraciones establecidas de CO₂. El número de frutos sanos y con pudriciones se cuantificó a la salida del tratamiento y a los 3 y 5 días exposición más 2 días a 20 ± 2°C, los datos se registraron como porcentaje de frutos sanos y con pudrición.

Las evaluaciones se realizaron al momento de cosecha, a los 3 y 5 días con los tratamientos y después de tener los frutos dos días al ambiente. Se determinaron la concentración de etanol y acetaldehídos en pulpa se evaluaron según el método descrito por Davis y Chase (1969), cinco g de pulpa de cada variedad se colocaron en un vial de 25 mL y se sellaron herméticamente. Así se prepararon cinco viales para cinco repeticiones por variedad. Los viales se incubaron en baño María a 32°C durante 10 min, se agitaron por 5 s y una muestra de 1mL del espacio de cabeza de cada vial se inyectó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard modelo 5900 II (CA, USA). 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 FID (Detector de Ionización de Flama) y 150°C en el horno; como testigo se prepararon cinco viales con 5 mL de una solución de etanol y acetaldehído

con concentración conocida (estándar), siguieron el mismo procedimiento. Los datos se reportaron en (mg para ambos metabolitos (100 g⁻¹ fruta).

Las pérdidas de peso se evaluaron en una muestra de 10 frutos por tratamiento, al final de la exposición al ambiente. Las pérdidas de peso se calcularon con la siguiente fórmula $\% \text{ pp} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$.

El color del fruto se midió en la zona ecuatorial media de 10 frutos por tratamiento y variedad, con un colorímetro de reflexión Hunter Lab modelo D25A (Virginia, USA). Con los parámetros CIELAB L*a* y b*, se calcularon el ángulo de tono ($^{\circ} h = \arctan(b^*/a^*)$) y el índice de saturación (Chroma (C) = $((a^2 + b^2)^{1/2})$).

La firmeza de la pulpa se midió en una muestra de 5 frutos por tratamiento y variedad; en los lados opuestos del diámetro medio de cada fruto, utilizando un texturómetro modelo FVD-30 con un puntal cónico (CT, USA). Los datos se reportaron en Newton (N).

La acidez titulable se evaluó con base en el contenido de ácido cítrico (%) aplicando el método descrito por la AOAC (1990); para esto en una muestra de 5 frutos por tratamiento y variedad, se pesaron 5 g, los cuales se homogeneizaron con 50 mL de agua destilada, se filtraron y una alícuota de 5 mL se tituló con NaOH 0.1N, usando como indicador fenolftaleína en solución alcohólica (2.5%). En el mismo filtrado se determinó el pH mediante un potenciómetro Corning, modelo 12 (NY, USA). En el jugo de cinco frutos por tratamiento y variedad de manera individual, se midió el contenido de sólidos solubles totales aplicando el método descrito por la AOAC (1990), utilizando un refractómetro Atago modelo Pr-100 (Guangzhou, China). Los valores se reportaron como °Brix

El contenido de vitamina C se cuantificó mediante el método de Tillman del 2,6 diclorofenol indofenol, expresando los datos como (mg ácido ascórbico

100g⁻¹). Se utilizó una muestra de 3 g de fresa en 30 mL de Ácido Oxálico 0.05% tomada de un fruto por tratamiento y variedad de manera individual.

El contenido de azúcares totales se determinó en 5 frutos por tratamiento y variedad, mediante el método colorimétrico de Antrona. A 1.0 g de pulpa por fruto se le adicionó 60 mL de alcohol al 80% en matraz Erlenmeyer. La mezcla se hirvió por 10 minutos y se dejó enfriar a la temperatura ambiente se filtró y se ajustó a un volumen de 25 mL; del cual se tomó una alícuota de 1.0 mL, que se deshidrató en Baño María a 55 °C y se adicionaron 60 mL de agua destilada. Un mL de esta solución se colocó en un tubo de ensayo y se le adicionaron 3 mL de agua destilada más 6 mL de reactivo Antrona en un baño con hielo. Finalmente los tubos de ensayo se llevaron a un baño con agua a ebullición por 3 minutos, se enfriaron rápidamente con agua con hielo y se procedió a leer la absorbancia a 600 nm. Para los cálculos se obtuvo una curva estándar de glucosa y los datos se reportaron como (g de azúcar por 100g⁻¹ fruta). Para el análisis estadístico se utilizó un diseño experimental en parcelas divididas en bloques al azar, considerando como parcela grande el tiempo de evaluación (3 días y 5 días), como parcela chica la concentración de CO₂ (5% y 10%) y las variedades de fresa como bloques. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), cada fruto como unidad experimental con cinco o diez repeticiones. Para el análisis se utilizó el programa estadístico SAS 9.0.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los frutos de cada variedad al momento de cosecha, no mostró diferencias significativas en las variables evaluadas (Anexo A y B). A la salida de los tratamientos el análisis de efectos principales en las variedades mostró lo siguiente; con respecto a la calidad interna de los frutos cosechados en 2015, las variedades Zamorana y Jacona presentaron la mayor acidez con respecto a los demás con 1.13% y 1.11% de ácido cítrico respectivamente, CP-LE7 alcanzó hasta un 56% mayor contenido de azúcares totales con respecto a los demás y Jacona presentó el mayor contenido de vitamina C (44.78 mg Ac. Ascórbico 100g⁻¹ fruta); encontramos la misma tendencia en la cosecha del siguiente año, donde volvieron a destacar estas variedades. Cabe resaltar que los SST, la relación SST/AT, pH y acetaldehído se mantuvieron en concentraciones similares en las cuatro variedades sin presentar diferencia estadística significativa después de estar con los tratamientos de atmósfera normal y controlada, manteniendo valores cercanos a los iniciales (Cuadro 1).

Después de que los frutos se mantuvieron dos días en condiciones normales de temperatura y CO₂ ambiental se observó una disminución en el contenido de vitamina C en ambas cosechas y una mayor acumulación de acetaldehído en la variedad CP-LE7 con 26.02 (mg * 100 g⁻¹) fruta en la primer cosecha. Es importante señalar que los resultados de la concentración de compuestos volátiles como respuesta a la exposición de los frutos a las altas concentraciones de CO₂, presentó cambios únicamente en la concentración de acetaldehído, no detectándose presencia de etanol (Cuadro 2).

Cuadro 1. Efecto principal de variedad en la calidad interna de fresas sometidas a tratamientos con atmósferas ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C, ± 90% HR durante 3 y 5 días de almacenamiento.

Variedades	Acetaldehído	AT	SST	SST / AT	pH	AZT	VC
<u>Cosecha 2015</u>							
CP-LE7	24.75 a	1.04 ab	7.87 a	7.56 a	4.12 a	3.00 a	41.09 b
Zamorana	25.00 a	1.13 a	7.57 a	6.69 a	4.09 a	1.57 b	39.71 c
Jacona	24.48 a	1.11 a	8.58 a	7.72 a	4.04 a	1.61 b	44.78 a
Festival	25.25 a	0.99 b	8.41 a	8.49 a	4.20 a	1.93 b	40.14 bc
DMS	2.9	0.08	2.41	2.17	2.5	0.91	3.24
C.V (%)	14.81	3.56	10.46	9.8	2.7	6.45	14.34
<u>Cosecha 2016</u>							
CP-LE7	15.33 a	0.41 b	8.35 a	19.73 a	3.79 a	1.59 a	40.6 ab
Zamorana	16.17 a	0.48 a	8.5 a	17.36 a	3.58 b	1.65 a	37.89 b
Jacona	16.13 a	0.47 a	8.36 a	18.06 a	3.58 b	1.79 a	43.43 a
Festival	17.12 a	0.45 ab	8.63 a	19.43 a	3.63 b	1.65 a	40.76 ab
DMS	2.3	0.08	0.77	0.98	0.003	0.98	1.89
C.V (%)	13.14	5.06	3.14	8.76	1.48	15.5	5.78

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Acetaldehído: mg (100g⁻¹ fruta); acidez titulable (AT): % Ac.cítrico; sólidos solubles totales (SST): °Brix; relación SST/AT; azúcares totales (AZT): g (100g⁻¹ fruta); vitamina C (VC): mg Ac. Ascórbico (100⁻¹g fruta).

Cuadro 2. Efecto principal de variedad en la calidad interna de fresas después de dos días a temperatura y atmósfera ambiental de CO₂ (20 ± 2 °C; 50 -60 % HR).

Variedades	Acetaldehído	AT	SST	SST / AT	pH	AZT	VC
<u>Cosecha 2015</u>							
CP-LE7	26.01 a	0.83 a	8.01 a	9.65 a	3.95 a	1.05 a	38.6 abc
Zamorana	22.25 bc	0.84 a	8.19 a	9.75 a	3.95 a	1.04 a	35.89 c
Jacona	22.52 b	0.85 a	8.48 a	9.97 a	3.87 a	1.47 a	41.43 a
Festival	21 c	0.81 a	8.72 a	10.76 a	4.05 a	1.02 a	38.76 ab
DMS	0.62	2.88	2.19	2	2.1	0.81	2.24
C.V (%)	10.79	6.39	5.45	9.46	2.47	16.46	5.78
<u>Cosecha 2016</u>							
CP-LE7	16.8 a	0.47 a	8.47 a	19.51 a	3.65 a	1.64 a	39.07 ab
Zamorana	15.66 a	0.48 a	8.1 a	18.3 a	3.52 b	1.47 a	37.79 c
Jacona	14.46 a	0.5 a	8.19 a	16.63 a	3.57 ab	1.68 a	42.58 a
Festival	14.56 a	0.48 a	8.39 a	17.63 a	3.61 ab	1.74 a	38.54 bc
DMS	3.91	0.86	0.9	3.69	0.01	0.98	4.74
C.V (%)	13.48	5.94	6.05	11.86	1.68	13.28	14.34

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Acetaldehído: mg (100g⁻¹ fruta); acidez titulable (AT): % Ac.cítrico; sólidos solubles totales (SST): °Brix; relación SST/AT; azúcares totales (AZT): g (100g⁻¹ fruta); vitamina C (VC): mg Ac. Ascórbico (100⁻¹g fruta).

De acuerdo con Ke *et al.* (1991) la exposición de productos hortofrutícolas a una condición de estrés por bajas concentraciones de O₂ y/o altas de CO₂ estimulan respiración anaeróbica, favoreciendo la acumulación de acetaldehído y etanol. Por su parte, Pelayo *et al.* (2007) han reportado que la exposición de fresas 'Camarosa' a una atmósfera de 19.7% de CO₂ a 5°C, favoreció la acumulación de metabolitos fermentativos, lo que provocó cambios en el perfil de aromas y por tanto cambios indeseables en el sabor de los frutos.

Los resultados obtenidos en la concentración de acetaldehído pone de manifiesto la estimulación del metabolismo anaeróbico por la exposición a los altos niveles de CO₂, toda vez que en todos los tratamientos la concentración de acetaldehído se incrementó, respecto al momento de cosecha. Diferencias en la acumulación de metabolitos fermentativos totales entre los cultivares de fresa Selva, Diamante y Aromas, almacenados en una atmósfera con 19.7% de CO₂ a 5°C por 7 días, se documentaron por Pelayo *et al.* (2003), esto sugiere que los resultados obtenidos en la acumulación de acetaldehído muestran diferencias en la sensibilidad a la acumulación de metabolitos anaeróbicos entre las variedades mexicanas de fresa estudiadas.

Wszelaki y Mitcham (2000) no encontraron diferencias en sólidos solubles totales, porcentaje de ácido cítrico y pH en los frutos de fresa almacenados en atmósferas con altas concentraciones de O₂ (<60 kPa) y fruta tratada con aire, esto puede estar relacionado a que la fresa es un fruto no climatérico por lo que los cambios relacionados a estas variables se presentaron cuando la fruta se encuentra en la planta y no durante la madurez de consumo. Castro *et al.* (2002) encontraron una disminución de los valores de ácido ascórbico de 31.3 a 24.6 mg / 100 g de fruta para Camarosa y 33.6 a 30.1 mg / 100 g de fruta para Selva después de 48 y 72 horas de almacenamiento con atmósfera controlada, lo que indica que una vez que los frutos salen del tratamiento con la atmósfera establecida, la degradación de la vitamina C en los frutos aumenta.

La asociación del tratamiento en refrigeración con atmósferas controladas y ambiental tuvo un efecto significativo sobre la acumulación de acetaldehído en los frutos, siendo mayor después de 5 d con los tratamientos 25.61 y 17.76 (mg 100g^{-1} fruta) al igual que el contenido de vitamina C 44.73 y 43.13 (mg Ac. Ascórbico 100^{-1}g fruta) que con respecto a los 3 d, en ambas cosechas evaluadas (Cuadro 3). Después de que las fresas de las cuatro variedades salieron de las atmósferas ambiental y controladas con refrigeración, más dos días a temperatura ambiente y atmósfera con CO_2 ambiente, se observaron diferencia estadísticas significativas: la acidez titulable (0.87% y 0.50% ácido cítrico) fue mayor en los frutos que estuvieron con los tratamientos en ambas cosechas después de 5 d, la relación SST / AT fue mayor a los 3d (10.41), al igual que el pH de los frutos con (4.03 y 3.65) para la cosecha 2015 y 2016 respectivamente (Cuadro 4).

La concentración de CO_2 afectó la calidad de la fresa a la salida de los tratamientos en particular la atmósfera con 10% CO_2 causando menor contenido de azúcares totales comparado con la atmósfera de 5% CO_2 tanto en la cosecha 2015 y 2016, esto sugiere que en una atmósfera de 5% de CO_2 o menor la degradación de los azúcares totales es menor. El pH en los frutos fue más alto en la cosecha 2015 con la concentración de 5% CO_2 que con 10% de CO_2 en la primer cosecha (Cuadro 5). En el 2016 encontramos que al aumentar la concentración de CO_2 al 10% se generó en los frutos un mayor contenido de vitamina C. Esta respuesta está relacionada con un efecto de oxidación del ácido ascórbico para formar ácido mono dehidroascórbico con mayor concentración de O_2 en el ambiente, entre otros productos, este cambio provoca pérdidas en la actividad biológica de la Vitamina C; siendo los principales factores de este mayor concentración de oxígeno en el ambiente, pH y la temperatura (Beltz, 1997), mantener la calidad es deseable para mantener un mayor contenido de compuestos nutraceuticos que puedan ser aprovechamos por los consumidores.

Cuadro 3. Efecto principal de tiempo de almacenamiento en la calidad interna de variedades de fresa sometidas a tratamientos con atmósferas ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C, 90% HR.

Tiempo de Refrigeración	Acetaldehído	AT	SST	SST / AT	pH	AZT	VC
<u>Cosecha 2015</u>							
3 Días	24.13 b	1.05 a	8.32 a	7.92 a	4.18 a	1.74 a	36.93 b
5 Días	25.61 a	1.09 a	7.89 a	7.24 b	4.06 a	1.55 a	44.73 a
DMS	0.05	0.08	0.36	0.12	0.05	0.78	2.5
C.V (%)	14.81	3.56	10.46	9.8	2.7	16.46	14.34
<u>Cosecha 2016</u>							
3 Días	14.62 b	0.46 a	8.37 a	16.63 a	3.63 a	1.8 a	35.83 b
5 Días	17.76 a	0.45 a	8.55 a	18.66 a	3.66 a	1.54 b	43.13 a
DMS	0.03	0.24	0.9	0.95	0.2	0.03	2.1
C.V (%)	13.14	5.06	3.14	8.76	1.48	15.5	14.34

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Acetaldehído: mg (100g⁻¹ fruta); acidez titulable (AT): % Ac.cítrico; sólidos solubles totales (SST): °Brix; relación SST/AT; azúcares totales (AZT): g (100g⁻¹ fruta); vitamina C (VC): mg Ac. Ascórbico (100⁻¹g fruta).

Cuadro 4. Efecto principal de tiempo de almacenamiento en la calidad interna de variedades de fresa después de dos días a temperatura y atmósfera ambiental de CO₂ (20 ± 2°C; 50 -60 % HR).

Refrigeración / Ambiente	Acetaldehído	AT	SST	SST / AT	pH	AZT	VC
<u>Cosecha 2015</u>							
3 + 2 d	23 a	0.80 b	8.33 a	10.41 a	4.03 a	2.09 a	34.98 b
5 + 2 d	22.9 a	0.87 a	8.37 a	9.92 b	3.88 b	1.47 b	35.75 a
DMS	0.92	0.05	0.84	0.46	0.02	0.05	0.52
C.V (%)	10.79	6.39	5.45	9.46	2.47	6.45	5.78
<u>Cosecha 2016</u>							
3 + 2 d	14.27 b	0.46 b	8.23 a	17.44 a	3.65 a	1.68 a	40.18 a
5 + 2 d	16.47 a	0.50 a	8.34 a	18.6 a	3.52 b	1.6 a	41.17 a
DMS	1.5	0.005	0.61	0.21	0.001	0.38	0.32
C.V (%)	13.48	5.94	6.05	11.86	1.68	13.28	5.78

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Acetaldehído: mg (100g⁻¹ fruta); acidez titulable (AT): % Ac.cítrico; sólidos solubles totales (SST): °Brix; relación SST/AT; azúcares totales (AZT): g (100g⁻¹ fruta); vitamina C (VC): mg Ac. Ascórbico (100⁻¹g fruta).

Cuadro 5. Efecto principal concentración de CO₂ en la calidad interna de variedades de fresa sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C, 90% HR durante 3 y 5 días de almacenamiento.

Concentración	Acetaldehído	AT	SST	SST / AT	pH	AZT	VC
<u>Cosecha 2015</u>							
5 % CO ₂	24.6 a	1.05 a	7.86 a	7.48 a	4.20 a	3.58 a	40.09 a
10 % CO ₂	25.1 a	1.09 a	8.34 a	7.65 a	4.02 b	1.98 b	41.11 a
DMS	0.81	0.12	0.3	0.57	0.02	0.07	2.9
C.V (%)	14.81	3.56	10.46	9.8	2.7	6.45	14.34
<u>Cosecha 2016</u>							
A. A	14.32 b	0.49 a	8.78 a	17.08 b	3.64 a	1.96 a	38.18 b
5 % CO ₂	15.51 b	0.45 b	8.33 b	18.65 ab	3.64 a	1.90 b	39 b
10 % CO ₂	18.73 a	0.42 c	8.27 b	20.22 a	3.67 a	0.96 c	41.27 a
DMS	0.83	0.02	0.03	1.59	0.49	0.89	1.2
C.V (%)	13.14	5.06	3.14	8.76	1.48	15.5	14.34

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$, Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Acetaldehído: mg (100g⁻¹ fruta); acidez titulable (AT): % Ac.cítrico; sólidos solubles totales (SST): °Brix; relación SST/AT; azúcares totales (AZT): g (100g⁻¹ fruta); vitamina C (VC): mg Ac. Ascórbico (100⁻¹g fruta).

Después de mantener los frutos en atmósfera controlada y refrigeración y posteriormente en condiciones ambientales de temperatura y concentración de CO_2 se encontró que el uso de 5% de CO_2 en la atmósfera conserva mejor los atributos de sabor, con frutos menos ácidos y con mayor contenido de azúcares totales pero con resultados inconsistentes en el contenido de ácido ascórbico (Cuadro 6).

Debido a que la fresa continua su respiración después de la cosecha, los cambios fisicoquímicos avanzan, terminando en la senescencia y muerte del fruto (Potter, 1986), estos cambios son más lentos cuando los frutos se tienen bajo condiciones de atmósfera enriquecidas de CO_2 , pero una vez que se rompe esta condición; los cambios que se dan pueden generar la degradación del almidón de la fresa, por su desdoblamiento debido a la actividad enzimática, culminando en un aumento en la cantidad de azúcares y el uso como sustrato de los ácidos orgánicos durante la respiración.

Cuadro 6. Efecto principal concentración de CO₂ en la calidad interna de variedades de fresa después de dos días a Temperatura y Atmósfera Ambiental de CO₂ (20 ± 2°C; 50 -60% HR).

Concentración	Acetaldehído	AT	SST	SST / AT	pH	AZT	VC
<u>Cosecha 2015</u>							
5 % CO ₂	21.96 b	0.77 b	8.20 a	10.64 a	3.98 a	3.49 a	36.46 b
10 % CO ₂	23.91 a	0.89 a	8.49 a	9.53 a	3.93 a	1.81 b	39.15 a
DMS	0.17	0.051	0.24	0.97	0.32	0.04	0.53
C.V (%)	10.79	6.39	5.45	9.46	2.47	16.46	5.78
<u>Cosecha 2016</u>							
A.A	16.45 a	0.44 b	8.6 a	18.63 ab	3.56 a	1.96 a	37.06 c
5 % CO ₂	14.29 a	0.5 a	7.98 b	16.12 b	3.56 a	1.77 ab	40.45 b
10 % CO ₂	15.38 a	0.5 a	8.27 b	19.3 a	3.63 a	1.18 c	44.51 a
DMS	2.98	0.05	0.4	0.9	0.11	0.21	0.05
C.V (%)	13.48	5.94	6.05	11.86	1.68	13.28	5.78

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Acetaldehído: mg (100g⁻¹ fruta); acidez titulable (AT): % Ac.cítrico; sólidos solubles totales (SST): °Brix; relación SST/AT; azúcares totales (AZT): g (100g⁻¹ fruta); vitamina C (VC): mg Ac. Ascórbico (100⁻¹g fruta).

La interacción tiempo de almacenamiento*concentración CO₂ mostró que la combinación de tres y cinco días con una atmósfera controlada de 10% CO₂ en ambas cosechas fueron las que generaron la mayor acumulación de acetaldehído en los frutos con sin modificar el perfil de sabor de las fresas. En cuanto a los azúcares totales se encontró que la atmosfera con 10% en ambos días de evaluación disminuyo la concentración de los azúcares totales. La vitamina C en la cosecha 2015 se mantuvo con la concentración de CO₂ más alta, mientras que en el 2016 esta concentración disminuyó bajo estas condiciones de refrigeración (Cuadro 7). Se ha reportado la disminución del nivel de glucosa, fructosa y azúcares totales por efecto del tratamiento con 19.7% de CO₂ en frutos de fresa Pelayo *et al.* (2003 y 2007). Sin embargo, el metabolismo relacionado con la degradación del contenido de azúcares en los frutos de fresa es aún desconocido, no obstante se ha planteado la hipótesis de que está relacionado con la estimulación de la actividad respiratoria, a nivel de la glucólisis, como respuesta a una condición de estrés de los tejidos impuesta por la alta concentración de CO₂ (Watkins, 2000).

Cuadro 7. Efecto de la interacción tiempo en atmósfera controlada y concentración de CO₂ sobre las características de calidad interna de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.

Interacción días VS CO ₂	Acetaldehído	AT	SST	SST / AT	pH	AZT	VC
<u>Cosecha 2015</u>							
3 + 5%	22.98 b	0.74 b	8.22 a	8.59 a	4.02 b	3.71 a	41.22 ab
3 + 10%	25.27 ab	0.85 ab	8.41 a	8.49 a	4.34 a	2.47 b	42.11 a
5 + 5%	24.92 ab	0.8 ab	7.5 a	7.54 a	4.02 b	3.44 a	38.27 bc
5+ 10 %	26.29 a	0.93 a	8.28 a	8.11 a	4.07 ab	1.47 c	36.15 c
DMS	2.3	0.04	2.5	2.48	0.28	0.92	3.17
C.V (%)	14.81	6.39	10.46	9.8	2.7	6.45	14.34
<u>Cosecha 2016</u>							
3+A.A	17.57 a	0.51 a	8.64 ab	20.34 a	3.62 a	1.97 ab	35.09 d
3 + 5% CO ₂	16.8 ab	0.46 abc	8.27 b	20.09 b	3.62 a	2.28 a	37.27 cd
3+ 10% CO ₂	19.66 a	0.41 c	8.22 b	18.84 c	3.66 a	1.14 c	41.21 b
5+A.A	11.06 b	0.48 ab	8.93 a	18.45 cd	3.66 a	1.83 ab	35.15 d
5+ 5% CO ₂	14.98 ab	0.45 bc	8.39 ab	17.09 e	3.66 a	1.63 b	40.72 bc
5+ 10 % CO ₂	17.8 a	0.42 bc	8.33 ab	17.08 e	3.67 a	1.17 c	47.45 a
DMS	6.13	0.46	0.29	0.83	0.88	0.47	3.43
C.V (%)	13.14	5.06	3.14	8.76	1.48	15.5	14.34

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Acetaldehído: mg (100g⁻¹ fruta); acidez titulable (AT): % Ac.cítrico; sólidos solubles totales (SST): °Brix; relación SST/AT; azúcares totales (AZT): g (100g⁻¹ fruta); vitamina C (VC): mg Ac. Ascórbico (100⁻¹g fruta).

Cuadro 8. Efecto de la interacción tiempo en atmósfera controlada y concentración de CO₂ a los 2 días después en condiciones ambientales sobre las características de calidad interna de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.

Interacción días VS CO ₂	Acetaldehído	AT	SST	SST / AT	pH	AZT	VC
<u>Cosecha 2015</u>							
3 + 5%	22.57 ab	1.06 ab	8.12 a	7.85 a	4.00 ab	2.00 b	35.81 b
3 + 10%	23.43 a	1.03 b	8.53 a	8.46 a	4.06 a	1.62 c	38.54 b
5 + 5%	21.36 b	1.04 b	8.28 a	8.17 a	3.97 ab	3.11 ab	38.3 b
5+ 10 %	24.39 a	1.14 a	8.46 a	7.54 a	3.88 b	3.86 a	42.36 a
DMS	2.6	0.08	2.7	2.5	0.13	1.24	2.99
C.V (%)	10.79	3.56	5.45	9.46	2.47	16.46	5.78
<u>Cosecha 2016</u>							
3+A.N	11.31 c	0.42 c	8.62 a	18.4 a	3.53 b	2.07 a	38.3 b
3 + 5% CO ₂	15.4 abc	0.51 ab	7.83 a	15.75 a	3.53 b	1.85 a	43.69 a
3+ 10% CO ₂	16.11 abc	0.46 bc	8.25 a	18.18 a	3.5 b	1.05 a	45.33 a
5+A.N	13.18 bc	0.47 bc	8.59 a	18.86 a	3.6 b	1.9 a	38.54 b
5+ 5% CO ₂	16.78 ab	0.5 ab	8.13 a	16.5 a	3.6 b	1.63 a	35.81 b
5+ 10 % CO ₂	19.45 a	0.55 a	8.29 a	20.43 a	3.77 a	1.31 a	42.36 a
DMS	4.8	0.46	0.99	4.06	0.1	1.66	2.99
C.V (%)	13.48	5.94	6.05	11.86	1.68	13.28	5.78

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Acetaldehído: mg (100g⁻¹ fruta); acidez titulable (AT): % Ac.cítrico; sólidos solubles totales (SST): °Brix; relación SST/AT; azúcares totales (AZT): g (100g⁻¹ fruta); vitamina C (VC): mg Ac. Ascórbico (100⁻¹g fruta).

Al mantener los frutos durante 2 días en condiciones normales de temperatura y atmósfera el análisis estadístico arrojó que el contenido de acetaldehído fue menor, pero siguió siendo significativo con la interacción de cinco días y atmósfera con 10% CO₂, al igual que la acidez titulable (1.14, 0.55% Ac. Cítrico), pH (4.06, 3.77) y azúcares totales (3.86 g 100g⁻¹ fruta) para la cosecha 2015 y 2016 respectivamente (Cuadro 8).

El análisis de efectos principales para variedades en las variables de calidad externa de los frutos, a la salida de los tratamientos mostró el color de los frutos que la variedad Jacona presentó los frutos más brillantes (L=34.54), mientras que al igual que Festival frutos con un índice de saturación mayor (C=32.33) lo que se ve reflejado en un color roja más oscuro, en las fresas cosechadas en 2015; mientras que para la cosecha del siguiente año sola mente el Chroma fue significativo en Festival. Es importante señalar que las variedades mexicanas presentaron frutos más firmes con respecto a la variedad comercial con valores arriba de los 20N, destacando CP-LE7 con una firmeza de 22.35 N en la cosecha 2015 y Jacona con 22.95 N al siguiente año, la pérdida de peso durante la aplicación de los tratamientos fue baja, aun así CP-LE7 fue la que presento mayor pérdida de peso por transpiración de los frutos con 1.78% en 2015 y Zamorana fue la que mostró mejor resistencia a la deshidratación de los frutos (0.88%), lo que implica que, bajo las condiciones de almacenamiento establecidas, el variedad mexicana Jacona es menos sensible a las pérdidas de peso con relación a los otras tres variedades (Cuadro 9).

Al trasladar los frutos a condiciones normales de temperatura y ambiente la actividad metabólica de los frutos se incrementó, reanudando la senescencia de los frutos, lo que provoca una pérdida acelerada de calidad. Frutos rojos oscuros opacos, un ablandamiento de los frutos, solamente Zamorana en el 2015 y CP-LE7 en el 2016 mantuvieron una firmeza mayor a los 20N, sin contar que la pérdida de peso aumentó exponencialmente (más del 100%) (Cuadro 10).

Cuadro 9. Efecto principal de variedad en la calidad externa de fresas sometidas a tratamientos con atmósferas ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C durante 3 y 5 días de almacenamiento.

Variedades	Color			Firmeza	PP
	L	° h	C		
<u>Cosecha 2015</u>					
CP-LE7	32.62 b	32.82 a	29.69 b	22.35 a	1.78 a
Zamorana	32.88 b	32.89 a	29.93 b	20.69 a	0.88 c
Jacona	34.54 a	34.3 a	31.04 ab	20.73 a	1.11 b
Festival	34.37 a	34.21 a	32.33 a	17.51 b	0.93 c
DMS	1.15	2.03	2.1	2.31	0.08
C.V (%)	2.59	4.17	5.97	14.27	23.12
<u>Cosecha 2016</u>					
CP-LE7	30.83 a	31.43 a	24.34 c	22.93 a	2.82 a
Zamorana	28.78 a	29.66 a	25.27 ab	22.64 a	2.56 a
Jacona	30.71 a	28.41 a	25.83 ab	22.95 a	2.56 a
Festival	31.11 a	29.51 a	27.29 a	17.14 b	2.99 a
DMS	2.72	4.17	1.62	0.44	1.42
C.V (%)	5.89	8.7	4.29	7.36	1.92

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono (° h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP); Firmeza: (N) Newton; PP: pérdida de peso (%).

La firmeza durante la maduración se ve afectada en tres niveles: molecular, celular y orgánico. A nivel molecular, la naturaleza bioquímica de la pared celular e interacción entre los biopolímeros que la constituyen son factores determinantes de la firmeza, a nivel celular la arquitectura estructura de los tejidos, compuesta por el grosor de la pared celular, tamaño, forma y adhesión de la célula a célula determina el punto de ruptura entre paredes celulares (Van Dijk and Tijskens, 2000).

Cuadro 10. Efecto principal de variedad en la calidad externa de fresas después de dos días a temperatura y atmósfera ambiental de CO₂ (20 ± 2 °C; 50 -60% HR).

Variedades	Color			Firmeza	PP
	L	°h	C		
<u>Cosecha 2015</u>					
CP-LE7	30.89 b	32.56 ab	23.54 b	18.69 ab	19.29 ab
Zamorana	30.96 b	31.98 b	24.84 ab	20.04 a	15.23 c
Jacona	32.62 a	34.05 a	26.02 ab	19.17 ab	15.45 c
Festival	32.75 a	34.13 a	26.63 a	17.04 b	19.84 a
DMS	1.5	1.7	1.8	2.27	1.3
C.V (%)	1.35	3.82	4.64	9.42	13.59
<u>Cosecha 2016</u>					
CP-LE7	27.66 d	28.5 a	20.64 a	20.68 a	19.49 a
Zamorana	29.13 ab	24.79 a	19.97 a	19.21 b	19.81 a
Jacona	28.22 a	26.39 a	19.24 a	19.34 b	18.46 a
Festival	29.08 abc	27.71 a	21.74 a	16.61 c	21.46 a
DMS	3.32	3.41	2.45	0.82	3.47
C.V (%)	11.65	10.02	9.34	10.06	14.71

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono (°h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP); Firmeza: (N) Newton; PP: pérdida de peso (%).

Otro factor importante en la pérdida de firmeza es la disminución de la pectina insoluble en agua, esto contribuye al ablandamiento gradual de los frutos. Además, la viscosidad del gel de pectina se ve afectado por los ácidos y azúcares. La disminución de los ácidos orgánicos de las frutas durante el almacenamiento y maduración influye de manera importante en la firmeza, en consecuencia, debido a la susceptibilidad de la mayoría de los pigmentos, el color cambia en función del contenido de ácido (Vargas *et al.*, 2000).

En el caso de la fresa el color está dado por las antocianinas, que son un grupo soluble en agua. En estos compuestos un aumento en el grado de hidroxilación genera una coloración azul, mientras que la formación de glicósidos y metilación resultan en colores rojos, por lo que el color de las antocianinas se ve afectado con cambios en el pH del medio (Dorantes-Alvarez et al., 2000).

Cuadro 11. Efecto principal de tiempo de almacenamiento en la calidad interna de variedades de fresa sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C.

Tiempo	Color			Firmeza	PP
	L	° h	C		
<u>Cosecha 2015</u>					
3 Días	33.69 a	33.51 a	30.26 a	19.66 a	1.08 a
5 Días	33.51 a	33.58 a	31.23 a	20.94 a	1.26 a
DMS	0.69	0.9	0.33	0.42	0.25
C.V (%)	2.59	4.17	5.97	14.27	23.12
<u>Cosecha 2016</u>					
3 Días	30.5 a	29.79 a	26.12 a	2.97 a	3.34 a
5 Días	30.72 a	29.72 a	25.24 a	2.87 a	2.12 b
DMS	0.77	0.94	0.9	0.3	0.42
C.V (%)	5.89	8.7	4.29	7.36	1.92

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono (° h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP); Firmeza: (N) Newton; PP: pérdida de peso (%).

En función del tiempo de almacenamiento a la salida de los tratamientos no se puede concluir si alguno de los dos tiempos de almacenamiento tuvo un efecto significativo, con excepción de la pérdida de peso en la cosecha 2016, donde a los 3 días con las atmósferas controladas y CO₂ ambiental con refrigeración a 3°C la deshidratación de los frutos fue mayor (Cuadro 11). No en cambio después de mantener los frutos a condiciones de temperatura ambiente y atmósfera normal de CO₂, en donde en ambas cosechas las mayores pérdidas

de peso ocurrieron después de tres días con los tratamientos alcanzando hasta 22.33 % y 21.29% para las cosechas 2015 y 2016 respectivamente, además que la firmeza (19.39 N, 22.22N) fue mayor en los frutos que estuvieron expuestos a los 5 días de almacenamiento, al igual que el color para la cosecha 2015 (L= 33.33, C=26.72) por lo que resulta beneficioso mantener los frutos durante mayores tiempos de exposición (5d) para disminuir la pérdida de peso y mantener la firmeza y color (Cuadro 12). Los cambios en el color debido a la concentración de CO₂ y la temperatura ambiente se pueden atribuir a diferencias en la síntesis y degradación de antocianinas, a la modificación del tipo de antocianinas debido a cambios en el pH del fruto y al efecto del tratamiento con altas concentraciones de CO₂ que inducen a cambios en el pH vacuolar (Halcroft y Kader, 1999; Pelayo *et al.*, 2003; Bodelón *et al.*, 2010).

Cuadro 12. Efecto principal de tiempo de almacenamiento en la calidad interna de variedades de fresa después de dos días a temperatura y atmósfera ambiental.

Tiempo	Color			Firmeza	PP
	L	° h	C		
<u>Cosecha 2015</u>					
3 Días	30.27 b	34.06 a	23.80 b	18.08 b	22.33 a
5 Días	33.33 a	32.30 b	26.72 a	19.39 a	12.58 b
DMS	0.15	0.03	0.003	0.18	0.02
C.V (%)	1.35	3.82	4.64	9.42	13.59
<u>Cosecha 2016</u>					
3 Días	31.47 a	26.48 a	20.43 a	20.69 b	21.29 a
5 Días	31.58 a	27.17 a	20.37 a	22.22 a	18.32 b
DMS	0.94	0.73	0.97	0.01	0.02
C.V (%)	11.65	10.02	9.34	10.06	14.71

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono (° h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP); Firmeza: (N) Newton; PP: pérdida de peso (%).

El análisis estadístico de los tratamientos mostró, de manera significativa, cambios en las fresas de las cuatro variedades a la salida de los tratamientos, un atmósfera controlada con mayor concentración de CO₂ mantiene la firmeza de los frutos (21.09 N y 29.29 N), disminuye la pérdida de peso por transpiración (0.95% y 0.67%) y mantiene el color rojo intenso (C= 33.38) y brillante (33.65), manteniéndose esta tendencia en ambas cosechas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto principal concentración de CO₂ en la calidad externa de variedades de fresa sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C en tres y cinco días de almacenamiento (primer muestreo enero 2015).

Concentración	Color			Firmeza	PP
	L	° h	C		
<u>Cosecha 2015</u>					
5 % CO ₂	33.77 a	33.11 a	30.11 a	19.55 b	1.4 a
10 % CO ₂	33.44 a	33.99 a	31.38 a	21.09 a	0.95 b
DMS	0.48	0.26	0.23	0.33	0.02
C.V (%)	2.59	4.17	5.97	14.27	23.12
<u>Cosecha 2016</u>					
A. N	27.51 c	25.26 b	26.54 a	20.67 c	6.61 a
5 % CO ₂	30.67 b	30.62 a	26.83 a	22.78 b	0.92 b
10 % CO ₂	33.65 a	33.38 a	23.68 b	29.29 a	0.67 b
DMS	0.04	4.12	0.89	0.56	0.34
C.V (%)	5.89	8.7	4.29	7.36	1.92

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono (° h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP); Firmeza: (N) Newton; PP: pérdida de peso (%).

Al transferir los frutos a condiciones normales de temperatura y atmósfera, después de dos días el color y firmeza de los frutos se ven demeritados y la pérdida de peso se acelera de manera representativa, aun con esto comprobamos que atmósferas enriquecidas con CO₂ mantienen la calidad

externa de las fresas (Cuadro 14). Diversos autores (Holcroft *et al.*, 1999; Vicente *et al.*, 2003) señalan que el uso de atmósferas enriquecidas con CO₂ durante el almacenamiento retardan el ablandamiento de los frutos de fresa, aunque una vez que los frutos se transfieren a condiciones de temperatura ambiente y atmósfera normal la firmeza disminuye rápidamente; asimismo Harker *et al.* (2000), reportaron que el efecto positivo de las altas concentraciones de CO₂ en la reducción de las pérdidas de firmeza en frutos de fresa está asociado a cambios en el pH del apoplasto, lo cual promueve la precipitación de las pectinas solubles y mejora la adhesión célula a célula a nivel de la lámina media.

Cuadro 14. Efecto principal concentración de CO₂ en la calidad externa de variedades de fresa después de dos días a Temperatura y Atmósfera Ambiental.

Concentración	Color			Firmeza	PP
	L	° h	C		
<u>Cosecha 2015</u>					
5 % CO ₂	32.19 a	34.19 a	26.11 a	17.99 b	19.77 a
10 % CO ₂	31.43 b	32.16 b	24.40 b	19.47 a	15.15 b
DMS	0.13	0.02	0.03	0.14	0.008
C.V (%)	1.35	3.82	4.64	9.42	13.59
<u>Cosecha 2016</u>					
A.N	27.16 b	26.58 a	22.01 a	18.43 c	23.77 a
5 % CO ₂	28.71 b	29.13 ab	23.21 a	20.65 b	17.01 b
10 % CO ₂	38.71 a	24.76 b	15.98 b	24.3 a	18.65 b
DMS	0.69	2.59	0.83	0.23	0.52
C.V (%)	11.65	10.02	9.34	10.06	14.71

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono (° h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP); Firmeza: (N) Newton; PP: pérdida de peso (%).

Por otro lado, la interacción tiempo*concentración de CO₂, confirmó que el someter las fresas durante 5 días con atmósferas enriquecidas de CO₂ (10%) es la mejor combinación para mantener el color (L= 33.9, C=31.97 y L=34.57, ° h= 33.91), la firmeza (23.24 N, 29.03 N) y disminuir la pérdida de peso de los frutos

(0.72%, 0.63%) (Cuadro 15). Pero que una vez que los frutos se transfieren a temperatura y atmósfera ambiental se reanudan los cambios degradativos por la reanudación de la senescencia de los frutos (Cuadro 16).

Cuadro 15. Efecto de la interacción tiempo en atmósfera controlada y concentración de CO₂ sobre las características de calidad externa de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.

Interacción días VS CO ₂	Color			Firmeza	PP
	L	° h	C		
<u>Cosecha 2015</u>					
3 + 5%	34.5 a	34.38 ab	29.73 b	18.94 c	1.46 a
3 + 10%	32.89 bc	32.65 c	30.79 ab	20.45 ab	1.18 a
5 + 5%	33.04 bc	31.86 c	30.48 ab	18.64 c	1.34 a
5+ 10 %	33.9 ab	35.33 a	31.97 a	23.24 a	0.72 b
DMS	1.15	1.3	2.2	2.25	0.29
C.V (%)	2.59	4.17	5.97	14.27	23.12
<u>Cosecha 2016</u>					
3+A.A	28.12 b	26.02 bc	27.32 a	21.08 d	5.01 b
3 + 5% CO2	30.66 ab	30.5 abc	26.99 a	24.27c	0.65 c
3+ 10% CO2	32.72 a	32.84 a	24.06 c	28.54ab	0.71 c
5+A.A	26.9 b	24.51 c	25.76 abc	20.27	8.23 a
5+ 5% CO2	30.68 ab	30.73 ab	26.66 ab	25.3 c	1.18 c
5+ 10 % CO2	34.57 a	33.91 a	23.29 bc	29.03 ^a	0.63 c
DMS	4.97	3.16	2.35	2.49	1.98
C.V (%)	5.89	8.7	4.29	7.36	1.92

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono (° h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP); Firmeza: (N) Newton; PP: pérdida de peso (%).

Cuadro 16. Efecto de la interacción tiempo en atmósfera controlada y concentración de CO₂ a los 2 días después en condiciones ambientales sobre las características de calidad externa de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.

Interacción días VS CO ₂	Color			Firmeza	PP
	L	° h	C		
<u>Cosecha 2015</u>					
3 + 5%	29.87 c	34.02 abc	22.48 b	18.14 b	23.81 a
3 + 10%	30.67 bc	34.1 ab	25.11 b	18.02 b	20.86 b
5 + 5%	34.5 a	34.38 a	29.74 a	20.81 a	15.73 c
5+ 10 %	32.18 b	30.21 d	23.69 b	17.96 b	9.44 d
DMS	2.2	2	4.5	2.24	2.9
C.V (%)	1.35	3.82	4.64	9.42	13.59
<u>Cosecha 2016</u>					
3+A.A	27.16 b	26.58 a	22.01 a	1.72 c	21.59 ab
3 + 5% CO ₂	28.54 b	28.09 a	23.3 a	2.7 ab	16.26 d
3+ 10% CO ₂	38.71 a	24.76 a	15.98 a	2.22 bc	17.12 d
5+A.A	27.16 b	26.58 a	22.01 a	3.13 a	25.94 a
5+ 5% CO ₂	28.88 b	30.18 a	23.13 a	2.58 ab	17.75 cd
5+ 10 % CO ₂	38.71 a	24.76 a	15.98 a	2.37 b	20.18 bc
DMS	6.1	7.12	8.92	0.21	4.22
C.V (%)	11.65	10.02	9.34	10.06	14.71

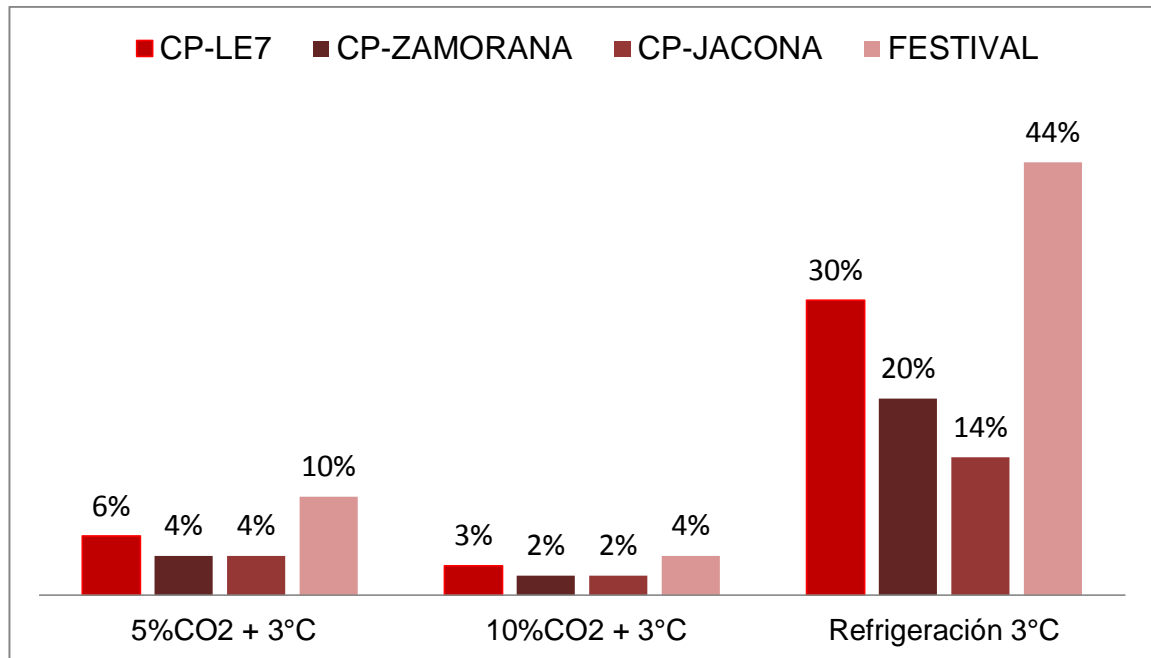
Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono (°h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP); Firmeza: (N) Newton; PP: pérdida de peso (%).

El índice de pudrición causado por *Botrytis cinerea* en los frutos inoculados, previamente antes de someter los frutos a los tratamientos, disminuyó considerablemente con la atmósfera enriquecida con CO₂, con concentración de 10 % CO₂ + 3 °C, debido a que todas las variedades presentaron porcentajes de pudrición en los frutos menores a 4 %, la atmósfera con 5% CO₂ +3°C logró controlar el crecimiento del patógeno pero no logró ser

tan efectivo como la atmósfera más alta. También encontramos que la aplicación de refrigeración en los frutos no resulta ser efectiva para el control de este patógeno, siendo que este mantuvo su crecimiento en las fresas durante el tiempo que estuvieron almacenados y se intensificó bajo condiciones de temperatura ambiente y atmósfera normal (Figura 9) . Es importante señalar que la temperatura óptima de este hongo es de 22 - 25°C; mínima de -2 – 12°C y una máxima de 33 - 35 °C (Samson *et al.*, 2004). La infección del hongo se lleva a cabo mediante el anclaje de los tubos germinativos (ramificación de hifas sobre el tejido vegetal a infectar) donde el proceso de infección va acompañado de la secreción de sustancias que degradan el tejido vegetal al órgano de la planta huésped (Femenía, 2007).

De acuerdo con Wszelaki *et al.* (2003), una elevada concentración de CO₂ suprime de manera efectiva el crecimiento del micelio, la germinación de esporas y la elongación del tubo germinativo de *Botrytis cinerea* y es fungistática a la mayoría de los hongos. Sin embargo, una vez que la fruta se remueve de la atmósfera controlada ya no hay protección y el crecimiento del hongo se puede reanudar y concluyeron que la aplicación continua de atmósferas controladas con 15 kPa CO₂ (14.8% CO₂) durante 14 días fue efectiva al controlar el desarrollo de *Botrytis cinerea* en los frutos de fresa. Piña-Dumoulín *et al.* (2001) encontraron también que atmósferas controladas con 15% O₂ + 20% CO₂ en zarzamora almacenados a 2°C retardó el crecimiento del hongo significativamente.

Figura 9. Índice de pudriciones de tres variedades mexicanas y una extranjera de fresa sometidas a tratamientos con atmósferas ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C.



Estudios realizados por Almenar *et al.* (2006) encontraron que la atmósfera compuesta por 10% CO₂ y 11% O₂ redujo el crecimiento de hongos. Por su parte, Teles *et al.* (2014) reportaron que una concentración de 40% de CO₂ en pre-almacenamiento redujo significativamente la incidencia de *Botrytis cinerea*. Los autores concluyeron que un pre-almacenamiento con una alta concentración de CO₂ limita la incidencia de enfermedades en uva, pero es más efectivo cuando se combina con una atmósfera controlada.

Harb *et al.* (2014) recomiendan una atmósfera de almacenamiento enriquecida con CO₂ para el control de pudrición de frutas incluyendo fresa y arándano ya que el efecto antifúngico de una atmósfera controlada es atribuido a la inducción de la biosíntesis de catequina, la cual reduce la incidencia de hongos. Otros reportes han mostrado que la presión parcial de CO₂ (por encima de 12 kPa) favorece un acelerado ablandamiento de frutos (Harb *et al.*, 2006).

Zheng *et al.* (2007) encontraron que frutos de fresa almacenados en aire ambiental a 5 °C comenzaron a desarrollar pudrición en el día 3 y alcanzaron un 37.23 % de pudrición hasta el día 14 de almacenamiento. Sin embargo, la atmósfera enriquecida con O₂ (≥ 60 kPa) fueron efectivos en la inhibición de pudrición causada por *Botrytis cinerea* durante el almacenamiento.

Figura 10. Apariencia de los frutos de fresa después de refrigeración y atmosferas con CO₂ ambiental y controladas (5 % y 10 % CO₂), aplicados para el control de *Botrytis cinerea*.



Refrigeración 3°C



5% CO₂ + 3°C



10% CO₂ + 3°C

1.6 CONCLUSIÓN

Las variedades mexicanas (CP-LE7, Zamorana y Jacona) presentaron frutos más firmes (22.05 N) con respecto a la extranjera (17.32N), lo que les confiere resistencia durante su manipulación después de la cosecha. Cada variedad presentó un atributo sobresaliente: para CP-LE7 la firmeza de los frutos (22.64 N); Zamorana mostró menor sensibilidad a las pérdidas de peso (0.88%) y Jacona los frutos con mejor color (L= 34.54, °h= 34.30, C= 31.04) y contenido de vitamina C (44 mg ácido ascórbico / 100 g fresa). La atmósfera con 10% CO₂ durante 5d en refrigeración a 3 °C mantuvo la mayor cantidad de vitamina C (39.15 y 44.51 mg ácido ascórbico / 100 g fresa), firmeza (21.09 N y 29.29 N), para la cosecha 2015 y 2016 respectivamente, en color (L= 33.65 y ° h= 33.38) en la cosecha 2016 y disminuyó la pérdida de peso en los frutos (0.95%, 0.67%). El índice de pudriciones por *Botrytis cinerea* fue más bajo con las dos atmósferas controladas aplicadas en las cuatro variedades pero la concentración de 10% CO₂ durante 5 días disminuye de mejor manera la presencia del hongo (> 4%).

CAPÍTULO II. COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DE TRES VARIETADES MEXICANAS DE FRESA TRATADAS CON CONCENTRACIONES ALTAS DE CO₂

2.1 RESUMEN

Las fresas son fuente importante de compuestos antioxidantes de los cuales destaca el ácido eláxico y poseen un contenido alto de p-cumárico y p-hidroxibenzoico. Las propiedades antioxidantes de estos compuestos se deben a su capacidad para donar hidrógeno a partir de grupos hidroxilo posicionados a lo largo del anillo aromático para terminar la oxidación de radicales libres de lípidos y otras biomoléculas. En las variedades mexicanas de fresa se desconocen las respuestas, bioquímicas de los frutos al uso de atmósferas con CO₂ más refrigeración, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos concentraciones altas de CO₂ por corto periodo en los cambios asociados a la concentración de compuestos antioxidantes y vida de anaquel de tres variedades mexicanas de fresa. El diseño experimental utilizado fue un factorial en completamente al azar a tres niveles: tiempo de evaluación (3 días y 5 días), la concentración de CO₂ (normal, 5% y 10%) y las variedades de fresa (Zamorana, Jacona, CP-LE7, Festival), las medias se compararon con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$, con dos tratamientos de CO₂ a una temperatura, la unidad experimental consistió de un fruto y se tuvieron tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron las concentraciones de ácidos fenólicos (ácido eláxico, clorogénico, ferúlico y cafeíco), y flavonoides (rutina, florizidina, narangenina y galangenina). Los frutos se almacenaron a 3°C con dos atmósferas controladas con 5, 10% CO₂ y normal durante 3 o 5 d más 2 d a 20°C \pm 2°C y 50 a 60% HR. El contenido de ácidos fenólicos y flavonoides fue mayor en las variedades mexicanas, CP-LE7 sobresalió en contenido de ácido eláxico (78.23 y 56.31 mg g⁻¹) y Jacona en ácido clorogénico (19.13, 18.13 mg g⁻¹), ácido cafeíco (1.76 mg g⁻¹) y ácido ferúlico (3.59 mg g⁻¹), mientras que Zamorana sobresalió en la concentración de flavonoides (13.87, 12.45 mg rutina g⁻¹, 69.4, 49.26 mg florizidina g⁻¹ y 1.23 mg narangenina g⁻¹). El almacenar la fresa con atmósferas enriquecidas de CO₂ a una concentración de 10% por tiempo corto (tres días)

resulta ser la mejor combinación para mantener la mayor cantidad de ácidos fenólicos y flavonoides en los frutos,

Palabras clave: atmósfera controlada, ácidos fenólicos, flavonoides y fresa (*Fragaria ananassa*).

2.2 ABSTRACT

Strawberries are an important source of antioxidant compounds, of which ellagic acid stands out and they have a high content of p-coumaric and p-hydroxybenzoic. The antioxidant properties of these compounds are due to their ability to donate hydrogen from hydroxyl groups positioned along the aromatic ring to complete the oxidation of free radicals of lipids and other biomolecules. In the cultivars of Mexican strawberry the answers are unknown, biochemical of the fruits to the use of atmospheres with CO₂ plus refrigeration, so the objective of this research was to evaluate the effect of two high concentrations of CO₂ for a short period in the changes associated with the concentration of antioxidant compounds and shelf life of three cultivars of Mexican strawberry. The experimental design used was a factorial in completely randomized at three levels: evaluation time (3 days and 5 days), the concentration of CO₂ (normal, 5% and 10%) and strawberry cultivars (Zamorana, Jacona, CP -LE7, Festival), the means were compared with the Tukey test $p \leq 0.05$, with two CO₂ treatments at a temperature, the experimental unit consisted of one fruit and three replications were taken. The variables evaluated were the concentrations of phenolic acids (ellagic, chlorogenic, ferulic and caffeic acid), and flavonoids (rutin, florizidin, narangenin and galangenin). The fruits were stored at 3°C with two atmospheres controlled with 5, 10% CO₂ and normal for 3 or 5 d plus 2 d at 20°C \pm 2°C and 50 to 60% RH. The content of phenolic acids and flavonoids was higher in Mexican cultivars, CP-LE7 excelled in ellagic acid content (78.23 and 56.31 mg g⁻¹) and Jacona in chlorogenic acid (19.13, 18.13 mg g⁻¹), caffeic acid (1.76 mg g⁻¹) and ferulic acid (3.59 mg g⁻¹), while Zamorana excelled in the concentration of flavonoids (13.87, 12.45 mg rutin g⁻¹, 69.4, 49.26 mg florizidin g⁻¹ and 1.23 mg narangenin g⁻¹). Storing the strawberry with atmospheres enriched with CO₂ at a concentration of 10% for a short time (three days) turns out to be the best combination to maintain the highest amount of phenolic acids and flavonoids in the fruits.

Key words: controlled atmosphere, phenolic acids, flavonoids and strawberry (*Fragaria ananassa*).

2.3 INTRODUCCIÓN

La vida postcosecha de los frutos se ha determinado tradicionalmente en términos de su velocidad de respiración y producción de etileno, además de sus características visuales (color, frescura, ausencia de pudriciones y desordenes fisiológicos), textura (firmeza) y grado de madurez (sólidos solubles totales y acidez titulable). Este concepto solo atribuye características físicas, mecánicas y químicas asociadas a la calidad, dejando de lado la calidad nutracéutica de los frutos (Kader *et al.*, 2007).

La fresa tiene una vida postcosecha corta debido a su alta actividad metabólica, pero son fuente de antioxidantes naturales (Wang *et al.*, 2000). Los compuestos fenólicos se encuentran en concentraciones importantes en el grupo de los flavonoides destacan compuestos como el kaempferol, quercitina y miricetina (Odriozola, 2009), y en el grupo de los no flavonoides, se pueden mencionar los ácidos fenólicos formando un grupo diverso que incluye los derivados del ácido hidroxibenzoico (ácido p-hidroxibenzoico, elágico y gálico) y del ácido hidroxicinámico (ácido p-cumárico, cafeíco y ferúlico). Las fresas son fuente importante de ácido elágico y poseen un contenido alto de p-cumárico y p-hidroxibenzoico. Las propiedades antioxidantes de los compuestos fenólicos se deben a su capacidad para donar hidrógeno a partir de grupos hidroxilo posicionados a lo largo del anillo aromático para terminar la oxidación de radicales libres de lípidos y otras biomoléculas, (Shetty *et al.*, 2004; Figuero-Espinoza *et al.*, 2005), además que tienen efectos antioxidantes altos, ayudando a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares al inhibir la oxidación del colesterol, mejorar la función endotelial vascular, disminuir la tendencia a trombosis, e inhibir la proliferación de células cancerígenas (Sun *et al.*, 2002; Meyers *et al.*, 2003; Hannum, 2004).

La mayoría de las investigaciones publicadas se basan en el efecto de las temperaturas de almacenamiento sobre la concentración de compuestos antioxidantes y actividad antioxidante en frutos de fresa. Ayala Zavala *et al.* (2004) encontraron en fresa Chandler almacenadas a (0°C), Cordenunsi *et al.* (2005) evaluaron las variedades Dover, Campineiro y Osos Grande a (6°C), Pen *et al.* (2011) evaluaron fresas Earlington y Allstar's a (5°C), encontrando los niveles más altos de fenoles totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante, además de que la vida postcosecha fue mayor en los frutos. Con respecto a las investigaciones realizadas con atmósferas enriquecidas de CO₂ sobre la composición antioxidante de fresa, solo se limitan al contenido de ácido ascórbico, antocianinas y fenoles totales. Gil *et al.* (1997) evaluaron concentraciones de CO₂ al 10%, 20% y 40% en fresa Selva, Almenar *et al.* (2006) aplicaron atmósferas con 0.05%, 3%, 6% y 10% CO₂ en fresa Reina de los valles y Li *et al.* (2015) utilizaron una atmósfera con 12% CO₂ en fresa Akihime, y concluyeron que las atmósferas con CO₂ disminuyen la concentración de los compuestos antioxidantes totales, pero aumentando la vida postcosecha. Estas investigaciones no consideran compuestos específicos como los ácidos fenólicos y flavonoides en los frutos.

En las variedades mexicanas de fresa se desconocen las respuestas bioquímicas de los frutos al uso de atmósferas enriquecidas de CO₂ y temperaturas de refrigeración, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos concentraciones altas de CO₂ por corto periodo en los cambios asociados a la concentración de compuestos antioxidantes y vida de anaquel de tres variedades mexicanas de fresa. La hipótesis fue que las variedades mexicanas de fresa tienen una concentración de compuestos antioxidantes similar a la de la variedad extranjera.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta investigación se cosecharon frutos de las variedades mexicanas de fresa registradas como CP-LE7, Zamorana y Jacona, así como de la variedad introducida Festival (testigo); las plantas se cultivaron en una parcela comercial de la zona productora de Tangancicuaro, Michoacán. De cada uno de las variedades se cosechó una muestra al azar de frutos con grado de madurez $\frac{3}{4}$ de color rojo. Se eliminaron aquellos con defectos, con daños físicos o por patógenos; posteriormente con los frutos sanos se conformaron tres tratamientos de acuerdo a las condiciones de conservación: Frutos almacenados a 3 °C con atmósfera con 5 % de CO₂ (3 °C + 5 % CO₂), 3 °C con atmósfera de 10 % de CO₂ (3 °C + 10 % CO₂) y solo con refrigeración a 3°C en atmósfera ambiental de CO₂. Los frutos se almacenaron durante dos periodos: 3 y 5 d a las condiciones del tratamiento más, en cada caso, 2 d al ambiente (20 ± 2°C; 50 - 60% HR). Para los tratamientos con CO₂ y refrigeración se utilizaron recipientes de 4 L por variedad, uno por repetición. En cada recipiente se colocaron 800 g de frutos de fresa (cuatro repeticiones). Para establecer las atmósferas deseadas se utilizó un mezclador de gases (Postharvest Research, UC, Davis, Ca. USA, con 6 estaciones mezcladoras). Para la multiplicación y distribución de las mezclas de gases generadas se utilizaron tableros con capilares previamente calibrados con los flujos siguientes para 5 % y 10 % de CO₂, respectivamente: CP-LE7 (1.78 y 1.93 L min⁻¹), Zamorana (2.00 y 2.13 L min⁻¹), Jacona (1.99 y 2.12 L min⁻¹) y Festival (2.00 y 2.14 L min⁻¹). Para el monitoreo de gases se utilizó un medidor Telaire Modelo 7001 con precisión de ± 0.5%. Asimismo el flujo de gases se humidificó previo a la entrada de los tableros de distribución para mantener una HR del 90% en los recipientes.

Se realizaron las evaluaciones en dos momentos al inicio del experimento y a la salida de los tratamientos con CO₂ después de 3 y 5 d en refrigeración a 3°C y dos días a temperatura ambiente, para la extracción de las muestras por HPLC de los compuestos antioxidantes, se pesaron 11 g de la parte externa de los frutos de fresa por triplicado, se colocaron en viales de 20 mL y se sellaron

con parafilm. Posteriormente se colocaron en un ultracongelador a -80°C durante 24h, pasado este tiempo los viales se colocaron en una liofilizadora durante 48h para el procesamiento y determinación de los compuestos antioxidantes: Ácidos Fenólicos se pesaron 0.25 mg de las muestras liofilizadas y se colocaron en 2mL de metanol al 80% en tubos para centrifuga, estos se sometieron a un baño de ultrasonido dos veces durante de 10 min con un reposo de 5 min entre los tiempos. En seguida las muestras se centrifugaron durante 5 min a 731 xg; finalmente el extracto acuoso se extrajo con una jeringa de 5 mL, se filtró cada muestra con acrodiscos (Nylon con 0.45 micras de poro) colocándolas en viales ámbar de 3 mL. Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) (modelo 1100) equipado con un detector de arreglo de diodos y un inyector automático (modelo 1200). Se utilizó una columna Nucleosil, 125 x 4.00 mm, 5 μm de tamaño de partícula, los datos se reportaron como (mg del ácido fenólico g^{-1} fruta liofilizada). Para flavonoides se pesaron 0.25 mg de las muestras liofilizadas y se colocaron en 2 mL de metanol al 80% en tubos para centrifuga, en seguida las muestras se centrifugaron durante 5 min a 731 sg; y el extracto acuoso se extrajo con una jeringa de 5 mL, se filtró cada muestra con acrodiscos (Nylon con 0.45 micras de poro) colocándolas en viales ámbar de 3 mL. Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) (modelo 1100) equipado con un detector de arreglo de diodos y un inyector automático (modelo 1200). Se utilizó una columna Nucleosil, 125 x 4.00 mm, 5 μm de tamaño de partícula, los datos se reportaron como (mg de flavonoides g^{-1} fruta liofilizada). Para el análisis estadístico se utilizó un diseño experimental en completamente al azar con arreglo factorial (variedades, tiempo de almacenamiento, concentración de CO_2) con una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0.05$). Cada muestra de fruto procesada se consideró como unidad experimental con tres repeticiones, para el análisis se utilizó el programa estadístico SAS.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Ácidos fenólicos

Se conoce que las atmósferas controladas son tecnologías postcosecha que se aplican bajo condiciones específicas con el objetivo de disminuir la respiración y consecuentemente la actividad fisiológica de los frutos (Tomás-Barberán *et al.*, 2000). Sin embargo esta tecnología que ayuda a prolongar la vida postcosecha también tiene efectos sobre el contenido de compuestos antioxidantes (Smith R. B, 1992).

Después de someter los frutos de las variedades de fresa evaluadas con los tratamientos con atmósferas con alto CO₂ se encontró que el contenido de ácidos fenólicos fue mayor en las variedades mexicanas con respecto a la extranjera, con excepción de ácido ferúlico. El compuesto antioxidante que se encontró en mayor cantidad fue el ácido elágico, que representa hasta el 75% del total de los ácidos fenólicos. La variedad CP-LE7 fue el que destacó con 78.23 y 56.51 mg ácido elágico / g fruta liofilizada, mientras que Jacona alcanzó hasta 19.13 y 18.27 mg ácido clorogénico; 1.76 mg ácido cafeíco y 3.59 mg ácido ferúlico / g fruta liofilizada durante las dos años de cosecha que se evaluaron (Cuadro 17), de acuerdo con Aaby *et al.* (2008) el alto contenido de ácido elágico en los frutos de fresa se encuentra en la parte externa de los frutos de fresa, principalmente en los aquenios y no en la pulpa. Este ácido ha mostrado ser un potente anticancerígeno y por la modulación del metabolismo de las toxinas y por lo tanto previene la iniciación de la carcinogénesis inducida por ellos (Zhang *et al.*, 2013).

Cuadro 17. Efecto principal de variedades en el contenido de ácidos fenólicos en variedades mexicanas y extranjera de fresa sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C más dos bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.

Variedades	Ac. elágico	Ac. clorogénico	Ac. ferúlico	Ac. cafeíco
<u>Cosecha 2015</u>				
CP-LE7	78.23 a	17.48 ab	2.64 a	1.86 a
Zamorana	70.04 ab	15.48 bc	2.72 a	1.71 ab
Jacona	60.36 bc	19.13 a	2.53 a	1.76 a
Festival	51.54 c	12.30 d	2.69 a	1.35 b
DMS	17.8	2.34	0.57	0.37
CV (%)	31.9	14.3	18.1	15.1
<u>Cosecha 2016</u>				
CP-LE7	56.51 a	18.22 a	2.91 a	1.87 a
Zamorana	49.84 ab	15.31b	3.05 a	1.74 a
Jacona	43.33 ab	18.27 a	3.59 a	1.87 a
Festival	38.24 b	14.47 b	2.77 a	1.55 a
DMS	13.9	1.16	1.06	0.41
CV (%)	29.1	13.2	20.4	16.5

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación. Los promedios fueron calculados a través del tiempo de almacenamiento y concentración de CO₂. Acido elágico, Acido clorogénico, ácido ferulico, ácido cafeico (mg g⁻¹ fruta liofilizada).

Al evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento con la atmósfera ambiental de CO₂ y controlada (5% y 10% CO₂) en refrigeración a 3°C más dos días a temperatura y atmósfera ambiental encontramos que dejar los frutos con el menor tiempo (tres días), resulta beneficioso para mantener el contenido de

ácidos fenólicos en la fresas, siendo que todos los compuestos antioxidantes presentaron diferencia estadística significativa a este tiempo en ambas cosechas. Para el ácido eláxico se logró mantener hasta un 50% más concentración del compuesto en comparación a los 5 días de almacenamiento (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto principal del tiempo de almacenamiento en el contenido de ácidos fenólicos de fresa mexicana y extranjera sometidos a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO₂) durante 3 y 5 días a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.

Tiempo	Ac. eláxico	Ac. clorogénico	Ac. ferúlico	Ac. cafeíco
<u>Cosecha 2015</u>				
3 Días	99.52 a	14.81 a	2.62 a	1.99 a
5 Días	49.52 b	11.09 b	2.81 a	1.77 a
DMS	26.3	1.9	0.45	0.29
C.V (%)	31.9	14.3	18.1	15.1
<u>Cosecha 2016</u>				
3 Días	70.58 a	17.04 a	3.52 a	2.94 a
5 Días	36.52 b	11.92 a	2.69 b	1.86 b
DMS	17.43	5.31	0.82	0.35
C.V (%)	29.1	13.2	20.4	16.5

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación. Los promedios fueron calculados a través del tiempo de almacenamiento y concentración de CO₂. Acido eláxico, Acido clorogénico, ácido ferulico, ácido cafeico (mg g⁻¹ fruta liofilizada).

Lograr cultivares que mantengan alto contenido de compuestos antioxidantes puede mejorar la salud de los consumidores. De acuerdo con Zadernowski *et al.* (2005) las berries (fresa, zarzamora, frambuesa) constituyen una de las principales fuentes de ácidos fenólicos que tienen un efecto benéfico

en la salud, donde el contenido de estos ácidos es afectado por el grado de madurez de cosecha, diferencias entre cultivares, condiciones ambientales durante el crecimiento y desarrollo de fruto, almacenamiento y proceso (Zadernowski *et al.*, 2005; Shahidi *et al.*, 2004).

Al evaluar el efecto de la concentración de CO₂ en el contenido de los ácidos fenólicos en las variedades de fresa se observó que atmósferas enriquecidas con CO₂ (10%) logran mantener una concentración alta de cada compuesto (Cuadro 19).

Cuadro 19. Efecto principal de la concentración de CO₂ en el contenido de ácidos fenólicos de fresa mexicana y extranjera sometidos a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO₂) durante 3 y 5 días a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.

Concentración	Ac. elágico	Ac. clorogénico	Ac. ferúlico	Ac. cafeíco
<u>Cosecha 2015</u>				
5 % CO ₂	62.26 a	13.23 b	2.68 a	1.56 b
10 % CO ₂	67.82 a	19.10 a	2.61 a	1.78 a
DMS	7.80	4.82	0.30	0.20
C.V (%)	31.9	14.3	18.1	15.1
<u>Cosecha 2016</u>				
A.N	33.83 b	13.11 b	2.61 b	1.39 b
5 % CO ₂	36.52 b	17.38 ab	2.68 b	1.86 a
10 % CO ₂	70.58 a	19.1 a	3.94 a	2.02 a
DMS	17.43	5.30	0.82	0.32
C.V (%)	29.1	13.2	20.4	16.5

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación. Los promedios fueron calculados a través del tiempo de almacenamiento y concentración de CO₂. Acido elágico, Acido clorogénico, ácido ferulico, ácido cafeico (mg g⁻¹ fruta liofilizada).

En el ácido elálgico se hizo más evidente en la segunda cosecha en donde se aumentó un tratamiento sin atmósfera controlada y los frutos solo se mantuvieron en refrigeración (3°C) llegando a perder más de 50% durante el almacenamiento en comparación a los 70.58 mg ácido elálgico /g fresa liofilizada que presentaron los frutos con la atmósfera más alta; el tratamiento con una concentración de 5% CO₂ no llegó a ser tan efectivo y presentó igualdad estadística con respecto a los frutos con refrigeración, el ácido clorogénico de los frutos en la cosecha 2015 y 2016 presentó 31 % mayor cantidad que la atmósfera con 5% y refrigeración respectivamente (Cuadro 19).

Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Shin *et al.* (2008), quienes evaluaron cultivares de fresa Northeaster y Earliglow a una concentración de 20% CO₂ y aire como testigo a 3°C y encontraron que los flavonoides y compuestos fenólicos totales se encontraron en menor proporción que en el testigo. En tanto Pelayo *et al.* (2003) aplicaron un tratamiento con 20 kPa (19.3% CO₂) a 5°C en fresas Aroma, Selva y Diamante durante 3 y 6 días, no encontrando una disminución significativa, aunque en esta investigación habría que considerar el tiempo de exposición. Holcroft *et al.* (1999) encontraron una disminución de ácido elálgico y flavonoides en los tejidos internos de los frutos de fresa cuando los frutos fueron almacenados a 5°C con una atmósfera de 2 kPa O₂ + 20 kPa CO₂.

Al analizar la interacción entre el tiempo de almacenamiento y la concentración de CO₂ los resultados mostraron significancia estadística, por lo que se puede confirmar que el almacenar la fresa con atmósferas enriquecidas de CO₂ a una concentración de 10% por tiempo corto (3 días) resulta ser la mejor combinación para mantener la mayor cantidad de ácidos fenólicos en los frutos. Cabe señalar que este mismo comportamiento se presentó en las dos cosechas (Cuadro 20).

Cuadro 20. Efecto de la interacción entre el tiempo y la concentración de CO₂ sobre el contenido de ácidos fenólicos de tres variedades de fresa mexicanas y extranjera sometidas a tratamientos con atmósfera normal y controladas (5% y 10% CO₂) más dos días en condiciones de temperatura y atmósfera ambiental.

Interacción días vs CO ₂	Ac. elágico	Ac. clorogénico	Ac. ferúlico	Ac. cafeíco
<u>Cosecha 2015</u>				
3 + 5%	46.49 c	11.31 a	2.83 a	1.39 b
5 + 5%	86.87 ab	7.29 a	2.78 a	1.76 ab
3 + 10%	98.99 a	19.21 a	2.70 a	2.13 a
5+ 10 %	70.1 bc	15.5 a	2.55 a	1.64 ab
DMS	25.7	12.32	0.78	0.51
C.V (%)	31.9	14.3	18.1	15.1
<u>Cosecha 2016</u>				
3+A.A	11.35 c	10.41 ab	2.78 b	1.59 b
5+A.A	12.72 c	6.69 b	2.55 b	1.84 ab
3 + 5%	11.35 c	19.21 ab	2.83 b	1.61 b
5+ 5%	86.87 b	15.5 ab	2.70 b	1.96 ab
3+ 10%	128.94 a	21.49 a	4.96 a	2.53 a
5+ 10 %	70.10 bc	13.56 ab	2.81 b	2.13 ab
DMS	40.36	12.2	1.91	0.74
C.V (%)	29.1	13.2	20.4	16.5

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación. Los promedios fueron calculados a través del tiempo de almacenamiento y concentración de CO₂. Acido elágico, Acido clorogénico, ácido ferulico, ácido cafeico (mg g⁻¹ fruta liofilizada).

2.6.2 Flavonoides

Al evaluar el contenido de flavonoides en las variedades de fresa se logró detectar cuatro compuestos, rutina, florizidina, narangenina y galangina en la primer cosecha (2015) y para el siguiente año solamente se encontró rutina y florizidina en los frutos. Es posible que los otros dos compuestos se encontraran pero en cantidades muy bajas y por lo tanto no fueron detectados. Es importante hacer que notar que los flavonoides que se encontraron en ambas cosechas estaban en concentraciones altas. La variedad que destacó fue Zamorana con 13.87 y 12.45 mg rutina, 69.4 y 49.26 mg florizidina y 1.23 mg narangenina / g fresa liofilizada. En general las variedades mexicanas sobresalieron con respecto a Festival (Cuadro 21). Estos resultados le generan valor agregado a dichas variedades, ya que además de tener una buena producción, apariencia, calidad organoléptica y tienen mejor calidad nutracéutica. Esto podría incentivar a los productores de fresa en México a usar las nuevas variedades y disminuir la dependencia hacia variedades extranjeras, que además aumentan los gastos de producción. Scalzo *et al.* (2005) llegaron a la conclusión de que el contenido de flavonoides y ácidos fenólicos tiene una gran influencia en la calidad de las frutas, ya que contribuyen en sus atributos organolépticos y en su valor nutricional.

Dentro de los beneficios de los flavonoides para la salud humana y de las fuentes en que podemos encontrarlos tenemos las naranjas, limones, uvas, limas, duraznos y de las berries (Kreft *et al.*, 1999; Huang *et al.*, 2012). Fernandes (2010) demostró que la rutina puede mejorar el estatus metabólico de ratas con diabetes y puede estar involucrada en la activación de enzimas del hígado asociadas con procesos metabólicos como la gluconeogénesis (Prince *et al.*, 2006). La narangenina tiene un efecto similar a la insulina al disminuir en la secreción de la poliproteína B en los hepatocitos (Van Acker *et al.*, 2000). También se ha encontrado que narangenina previene los cambios funcionales en la actividad vascular en ratas diabéticas a través de óxido nítrico (Fallahi *et al.*, 2012).

Cuadro 21. Efecto principal de variedades sobre el contenido de flavonoides en fresas mexicanas y extranjera sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental de CO₂ y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C más 2 días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.

Variedad	Rutina ^z	Florizidina	Narangenina	Galangina
<u>Cosecha 2015</u>				
CP-LE7	8.75 bc	30.28 b	0.38 b	0.28 a
Zamorana	13.87 a	69.4 a	1.23 a	0.41 a
Jacona	13.40 ab	27.93 b	0.82 ab	0.29 a
Festival	7.26 c	24.21 b	0.32 b	0.27 a
DMS	2.93	18.6	0.59	0.17
CV (%)	6.9	11.9	4.7	3.1
<u>Cosecha 2016</u>				
CP-LE7	6.85 b	29.27 b	NE	NE
Zamorana	12.45 a	49.46 a	NE	NE
Jacona	11.27 a	24.53 b	NE	NE
Festival	6.18 b	22.63 b	NE	NE
DMS	3.3	18.1		
CV (%)	8.2	12.1		

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación. Los promedios fueron calculados a través del tiempo de almacenamiento y concentración de CO₂, NE Compuesto no encontrado. ^z mg g⁻¹ fruta liofilizada.

El efecto del tiempo de almacenamiento en la concentración de flavonoides en los frutos de las cuatro variedades de fresa, no fue tan contundente como en los ácidos fenólicos. El someter las fresas durante tres días a los tratamientos mantiene mayor cantidad de compuestos antioxidantes en

los frutos, hasta un 25% más de rutina en la cosecha 2016; 51% y 65% más de florizidina en la cosecha 2015 y 2016 respectivamente (Cuadro 22).

Cuadro 22. Efecto principal del tiempo de almacenamiento en el contenido de flavonoides en fresa mexicana y extranjera sometidas a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO₂) durante 3 y 5 días a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.

Tiempo	² Rutina	Florizidina	Narangenina	Galangina
<u>Cosecha 2015</u>				
3 Días	13.02 a	27.63 a	0.40 a	0.26 a
5 Días	13.12 a	13.68 b	0.81 a	0.28 a
DMS	0.51	4.71	0.46	0.13
C.V (%)	6.9	11.9	4.7	3.1
<u>Cosecha 2016</u>				
3 Días	11.15 a	56.12 a	NE	NE
5 Días	8.27 b	19.69 b	NE	NE
DMS	2.57	14.2		
C.V (%)	8.2	12.1		

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación. Los promedios fueron calculados a través del tiempo de almacenamiento y concentración de CO₂, NE Compuesto no encontrado. ² mg g⁻¹ fruta liofilizada.

La atmósfera controlada con mayor concentración de CO₂ (10% + 3°C) generó la mayor cantidad de flavonoides, mientras que los frutos que estuvieron bajo refrigeración (3°C) y atmósfera ambiental de CO₂ en la cosecha 2016 la acumulación de los compuestos fue la más baja (Cuadro 23).

Cuadro 23. Efecto principal concentración de CO₂ en el contenido de flavonoides en fresa mexicanas y extranjera sometidos a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO₂) a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.

Concentración	Rutina	Florizidina	Narangenina	Galangina
<u>Cosecha 2015</u>				
5 % CO ₂	13.63 b	32 99 b	0.61 a	0.30 a
10 % CO ₂	13.93 a	42.9 a	0.76 a	0.32 a
DMS	0.52	8.9	0.31	0.09
C.V (%)	6.9	11.9	4.7	3.1
<u>Cosecha 2016</u>				
A.A	2.98 c	24.27 c	NE	NE
5 % CO ₂	13.01 b	32.41 b	NE	NE
10 % CO ₂	21.6 a	37.7 a	NE	NE
DMS	4.97	4.2		
C.V (%)	8.2	12.1		

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación. Los promedios fueron calculados a través del tiempo de almacenamiento y concentración de CO₂, NE Compuesto no encontrado.

De acuerdo con Häkkien *et al.*, (2000) en una investigación realizada en nueve cultivares de fresa encontraron que el contenido de flavonoides y ácidos fenólicos en los frutos se encuentra ampliamente relacionado con los tiempos de exposición a los tratamientos postcosecha aplicados durante su conservación. Como se ha mencionado anteriormente, consumir estos compuestos tiene múltiples beneficios para la salud humana. Por tanto producir frutos con alto contenido de compuestos antioxidantes y buen manejo postcosecha ayudaría a

proteger contra el daño de radicales libres y la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad, la agregación plaquetaria y la vasodilatación dependiente del endotelio de las arterias. Los estudios epidemiológicos han demostrado una correlación entre un mayor consumo de antioxidantes y un menor riesgo de enfermedad cardiovascular y ciertos tipos de cáncer, esto reportado en flavonoides presentes en fresa (Wang *et al.*, 2001).

Al realizar el análisis de la interacción tiempo de almacenamiento contra concentración de CO₂ se observa que el tratamiento que logró conservar la mayor concentración de flavonoides en la fresa fue 3 d + 10% CO₂, seguido por el tratamiento con 5 d + 10 % CO₂, pero aún la primer combinación alcanzó hasta un 50% más contenido de florizidina en ambas cosechas (Cuadro 24).

Cuadro 24. Efecto principal de la concentración de CO₂ en el contenido de flavonoides en fresa mexicana y extranjera sometidos a tratamientos con atmósfera ambiental y controladas (5% y 10% CO₂) durante 3 y 5 días a 3°C más dos días bajo condiciones ambientales de temperatura y atmósfera.

Interacción días VS CO ₂	Rutina	Florizidina	Narangenina	Galangina
	(mg g ⁻¹ fruta liofilizada)			
	<u>Cosecha 2015</u>			
3 + 5%	3.82 a	3.74 c	0.64 ab	0.24 a
5 + 5%	3.61 a	4.68 c	0.35 b	0.24 a
3 + 10%	4.05 a	51.53 a	1.27 a	0.31 a
5+ 10 %	3.65 a	22.68 b	0.86 ab	0.28 a
DMS	0.64	25.5	0.80	0.23
C.V (%)	6.9	11.9	4.7	3.1

Cosecha 2016

3+A.N	3.82 c	18.72 b	NE	NE
5+A.N	4.05 c	22.36 b	NE	NE
3 + 5%	17.89 ab	23.29 b	NE	NE
5+ 5%	14.05 bc	30.8 b	NE	NE
3+ 10%	25.57a	72.56 a	NE	NE
5+ 10 %	21.34 ab	38.03 b	NE	NE
DMS	11.5	32.8		
C.V (%)	8.2	12.1		

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación. Los promedios fueron calculados a través del tiempo de almacenamiento y concentración de CO₂, NE Compuesto no encontrado. ^z mg g⁻¹ fruta liofilizada.

2.6 CONCLUSIÓN

Las variedades mexicanas de fresa presentaron mayor concentración de compuestos antioxidantes, comparado con Festival. En el contenido de ácidos fenólicos la variedad CP-LE7 (78.23 mg / g fresa liofilizada) y Zamorana (70.04 mg / g fresa liofilizada) presentaron la máxima concentración de ácido elágico, mientras que Jacona (19.13 mg y 1.76 mg / g fresa liofilizada) destacó en ácido clorogénico y ferúlico. Después de someter los frutos a las atmosferas enriquecidas con 10% CO₂ durante 3d y 2d a condiciones de temperatura y atmosfera ambiental (128.94 mg ac. elágico, 21.49 mg ac. clorogénico, 4.96 mg ac. ferúlico y 2.53 mg ac. cafeíco / g fresa liofilizada). En el contenido de flavonoides Zamorana presentó la mayor concentración de rutina (13.87 y 12.45 mg / g fresa liofilizada) y florizidina (69.40 y 49.46 mg / g fresa liofilizada) en la cosecha 2015 y 2016 respectivamente, mientras que narangenina (1.23 mg / g fresa liofilizada) solamente en la cosecha 2015. El tratamiento que presentó la concentración más alta de flavonoides fue la atmósfera con alta concentración de CO₂ (10%) con un tiempo corto (3d) con 25.57 mg rutina, 72.56 mg florizidina y 1.27 mg narangenina / g fresa liofilizada. Se puede concluir que el contenido de compuestos antioxidantes varía entre variedades y tratamientos postcosecha aplicados, pero que al menos dos variedades mexicanas de fresa superaron en concentración de compuestos antioxidantes a Festival.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS INICIALES DE MACRO Y MICRO NUTRIENTES DE TRES VARIEDADES MEXICANAS DE FRESA (*Fragaria ananassa*) Y UNA EXTANJERA

3.1 RESUMEN

La máxima calidad postcosecha para cualquier variedad se consigue con el entendimiento y manejo de los diferentes papeles que los factores precosecha desempeñan en la calidad postcosecha. El estado nutricional es un factor importante para la calidad al momento de la cosecha como en la vida postcosecha de varias frutas y hortalizas. Por lo anterior es importante conocer el perfil nutrimental de los cultivares de fresa. El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar, las medias se compararon con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$, la unidad experimental consistió de un conjunto de fresas (100g) y con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu) y molibdeno (Mo) al momento de cosecha. Las variedades de fresa alcanzaron valores óptimos de nutrientes en cuanto a P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo. Los cultivares Jacona y Zamorana fueron los que tuvieron mayor contenido de nutrientes en los frutos, comportamiento que se repitió en ambas cosechas.

Palabras Clave: Macronutrientes, micronutrientes, fresa, *Fragaria ananassa*

3.2 ABSTRACT

The maximum postharvest quality for any cultivar can only be achieved with the understanding and management of the different roles that pre-harvest factors play in post-harvest quality. Nutritional status is an important factor for quality at the time of harvest as in the post-harvest life of various fruits and vegetables. Therefore, it is important to know the nutritional profile of strawberry cultivars. The experimental design used was a completely randomized, means were compared with the Tukey test $p \leq 0.05$, the experimental unit consisted of a set of strawberries (100g) and had three replicates. The variables evaluated were: Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Sulfur (S), Manganese (Mn), Iron (Fe), Zinc Boron (B), Copper (Cu) and Molybdenum (Mo) at the time of harvest. strawberry cultivars reached optimum nutrient values for P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu and Mo. The cultivars Jacona and Zamorana were the ones with the highest nutrient content in the fruits. repeated in both crops.

Keywords: Macronutrients, micronutrients, strawberry, *Fragaria ananassa*

3.3 INTRODUCCIÓN

La calidad de los frutos cosechados solo puede conservarse y no mejorarse, pero si es posible realizar prácticas durante la precosecha que tengan un impacto en la calidad postcosecha. Aun conociendo esto es poca la investigación que se ha realizado sobre la influencia de los factores precosecha en frutos y hortalizas. Los factores precosecha frecuentemente interactúan en formas complejas que dependen de las características del cultivar específico, así como de la sensibilidad de la etapa de su desarrollo o crecimiento en que se encuentre. La gran diversidad de frutas y hortalizas que se producen comercialmente y la carencia general de investigación que relacione los factores precosecha con la calidad postcosecha impiden plantear generalizaciones de la influencia precosecha que puedan aplicarse a todas las frutas y hortalizas. La máxima calidad postcosecha para cualquier variedad solo puede conseguirse con el entendimiento y manejo de los diferentes papeles que los factores precosecha desempeñan en la calidad postcosecha.

El estado nutricional es un factor importante para la calidad al momento de la cosecha como en la vida postcosecha de varias frutas y hortalizas. Es conocido que las deficiencias, excesos o desequilibrios de varios nutrientes generan desórdenes que pueden limitar la vida de almacenamiento de varias frutas y hortalizas. Los periodos de aplicación de fertilizantes varían ampliamente entre los productores y generalmente dependen del tipo de suelo, historia del cultivo y de los resultados del análisis del suelo que ayudan para determinar los requerimientos con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). A la fecha las recomendaciones de fertilización para frutas y hortalizas se han establecido principalmente para propósitos de productividad, no como diagnósticos para una buena calidad sensorial y óptima vida postcosecha.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta investigación se cosecharon frutos de las variedades mexicanas de fresa registradas como CP-LE7, Zamorana y Jacona, así como la variedad introducida Festival (testigo); las plantas se desarrollaron en una parcela comercial en Tangancicuaro (19°N 102°O), Michoacán. De cada uno de las variedades se realizaron dos cosechas en los meses de Enero 2015 y 2016, tomando muestras al azar de frutos con grado de madurez $\frac{3}{4}$ de color rojo, se eliminaron aquellos con defectos, daños físicos o por patógenos; posteriormente con los frutos sanos se conformaron 3 repeticiones de 100g de fresa por variedad, las muestras se secaron en una estufa de aire caliente modelo BLUE M POM-246F a 70°C por 96 horas. Después se molieron en un mortero y se colocaron en un sobre de papel para su digestión. Los nutrimentos evaluados fueron N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Zn, B, Cu y Mo

3.4.1 Solución madre

Para los nutrimentos P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Zn, B, Cu y Mo. Para la digestión se pesó 0.5 g de materia seca de la fruta secar; cada muestra se colocó en un tubo de digestión de 30 mL, a la cual se le adicionó 6 mL de una solución digestora compuesta de ácido nítrico concentrado, ácido perclórico y ácido sulfúrico, ambos grado reactivo. Las muestras se sometieron a digerir en una plancha con arena a una temperatura de 300°C hasta que la solución adquiriera una coloración cristalina y un volumen de entre 1.5 y 3.0 mL en un tiempo aproximado de cinco horas. Después de enfriarse se colocaron en matraces de 25 mL y se aforaron con agua destilada.

3.4.2 Nitrógeno

Se determinó por el método de micro Kjendalh (Bremner, 1965). Se pesó 0.1 g de muestra seca y molida, se le agregó 3 mL de una mezcla ácida de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido salicílico $C_7H_6O_3$ (1 g de mezcla de sulfatos la cual está compuesta de $CuSO_4$ y $NaSO_4$). Durante la destilación se utilizó hidróxido de sodio al 50% (10 N) y la muestra fue titulada con ácido sulfúrico a 0.05 N.

3.4.3 Fósforo

Se cuantificó por el método de Vanadato Molibdato amarillo, utilizando 1 mL de la solución madre agregándole 1.5 mL de La mezcla de Vanadato de amonio y heptamolibdato de amonio. Se aforó a 10 mL con agua destilada y se dejó reposar la muestra por 2 horas para tomar la lectura en un espectrofotómetro modelo Spectronic 20D marca Milton Roy Company a una longitud de onda de 470 nm.

3.4.4 Elementos Restantes

Para la cuantificación de Ca, Mg, S, Mn, Fe, Zn, B, Cu y Mo, se utilizó la solución madre y posteriormente se procedió a tomar la lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica con inducción acoplada con plasma (ICP) modelo Liberty Series II marca Variant, Alemania.

3.4.5 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0.05$), cada muestra de fruto como unidad experimental con tres repeticiones, para el análisis se utilizó el programa estadístico para SAS 9.0.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuatro variedades se cultivaron bajo un sistema de producción tecnificado y se mantuvieron bajo dosis de fertilización homogéneas, por lo que no se esperaba obtener diferencias estadísticas significativas en las variedades, aunque se ha mencionado que el contenido mineral en frutos de fresa depende de la variedad y del sistema de producción, en el cual se ha observado que un sistema convencional incrementa el contenido de P, K, Mg, Fe, Cu y Zn mientras que frutos bajo un sistema orgánico pueden alcanzar mayores cantidad de nutrientes que el convencional (Kristl *et al.*, 2013).

El efecto principal variedad mostró diferencias significativas en el contenido de potasio en los frutos, las variedades CP-LE7 y Jacona presentaron 1.23 %K y 1.35%K en la cosecha 2015, mientras que para el siguiente año de evaluación destaco Jacona con 1.72% K y Zamorana con 0.39% S. El contenido de micro nutrientes mostró diferencias significativas entre variedades con excepción del Cobre (Cu). La variedad Zamorana presento el mayor contenido en Fe, Mn y B, mientras que Zamorana fue en Zn y Mo en ambas cosechas (Cuadro 24). Una investigación realizada por Santos *et al.* (2012) en variedades de fresa producidas en los Estados Unidos de América, presentaron un cuadro del análisis de nutrientes en tejidos de plantas de fresa, en donde muestran los rangos para plantas que presenten deficiencias de nutrientes, un rango óptimo, un rango alto y tóxico (Cuadro 25). Al compararlo con los resultados obtenidos se observó que las variedades presentaban deficiencias de N, K, Ca, Zn, Cu y Mo con valores por debajo 3%N, 1.5%K, 0.4%Ca, 20 ppm Zn, 5ppm Cu y 5 ppm Mo (Cuadro 25). Es importante conocer este tipo de análisis por que con base en estos resultados se puede mejorar la dosis de fertilización y con esta modificar un factor precosecha que nos dé una mejor calidad de los frutos durante la postcosecha.

Cuadro 25. Concentración inicial de nutrientes en el fruto de tres variedades mexicanas de fresa y una extranjera.

Variedad	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
	Porcentaje (%)						Partes por millón (PPM)					
<u>Cosecha 2015</u>												
CP-LE7	1.89 a	0.38 a	1.23 ab	0.22 a	0.27 a	0.31 a	70.12 b	32.14 bc	13.2 ab	28.46 b	3.2 a	4.8 ab
Zamorana	1.93 a	0.39 a	1.11 bc	0.19 a	0.26 a	0.35 a	69.37 c	32.12 c	15.3 a	27.99 b	3.2 a	4.9 a
Jacona	1.74 a	0.41 a	1.35 a	0.2 a	0.27 a	0.32 a	75.76 a	39.17 a	12.2 b	33.01 a	3.4 a	4.8 ab
Festival	1.71 a	0.40 a	0.99 c	0.21 a	0.26 a	0.33 a	64.24 d	33.83 b	12.4 b	31.69 a	3.1 a	4.5 b
DMS	0.3	0.1	0.2	0.09	0.05	0.04	3.6	2.3	2.5	2.9	0.4	0.3
C.V (%)	7.1	5.3	6.2	3.5	4.1	3.6	9.5	8.9	7.5	6.7	4.2	3.9
<u>Cosecha 2016</u>												
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
	Porcentaje (%)						Partes por millón (PPM)					
CP-LE7	1.94 a	0.42 a	1.54 ab	0.25 a	0.32 a	0.34 b	74.12 ab	34.43 b	15.3 ab	31.23 bc	3.9 a	5.1 a
Zamorana	1.97 a	0.42 a	1.36 b	0.22 a	0.29 a	0.39 a	71.88 b	34.94 b	17.6 a	30.76 c	3.7 a	5.2 a
Jacona	1.79 a	0.44 a	1.72 a	0.23 a	0.33 a	0.35 ab	77.45 a	39.95 a	14.4 b	35.65 a	3.8 a	5.2 a
Festival	1.78 a	0.43 a	1.56 ab	0.23 a	0.29 a	0.37 ab	67.34 c	35.21 b	14.7 b	33.87 ab	3.6 a	4.8 a
DMS	0.4	0.2	0.3	0.08	0.06	0.04	3.9	2.5	2.8	3.1	0.5	0.4
C.V (%)	7.1	5.3	6.2	3.5	4.1	3.6	9.5	8.9	7.5	6.7	4.2	3.9

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación.

Cuadro 26. Concentración de nutrientes en tejidos de plantas de cultivares de fresa cultivadas en Estados Unidos (Camarosa, Carmine, Camino Real, Gaviota, Festival, Sweet Charlie, Treasure, Ventana, Winter Dawn y Winterstar) (Santos *et al.*, 2012).

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Estatus	Porcentaje (%)						Partes por millón (PPM)					
Deficiente	< 3.0	0.2	1.5	0.4	0.25	0.2	50	30	20	20	5	5
Rango Adecuado	3.0 -3.5	0.2-0.4	1.5-2.5	0.4-1.5	0.25-0.50	0.2-0.6	50-100	30-100	20-40	20-40	5 - 10	5.0 - 8.0
Alto	> 3.5	0.4	2.5	1.5	0.5	0.6	100	100	40	40	10	8
Toxico								800				

Elaborado por Santos *et al.*, 2012. Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación.

El nitrógeno (N) es un elemento importante debido a que es necesario en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (Xu *et al.*, 2012), coenzimas y de otros productos derivados del metabolismo secundario (Castellanos *et al.*, 2012). El nitrógeno (N) es un elemento importante debido a que es necesario en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (Xu *et al.*, 2012), coenzimas y de otros productos derivados del metabolismo secundario (Castellanos *et al.*, 2012).

Nestby *et al.*, (2005) mencionan que el N tiene un efecto en la firmeza, tamaño, enfermedades y desordenes fisiológicos, y componentes químicos como la acidez titulable. Por su parte, Childers (2003) reporta que este elemento reduce significativamente el tamaño de fruto y rendimiento del cultivo de fresa

El fosforo es importante para la constitución de componentes celulares fundamentales, los cuales incluyen los fosfolípidos, ácidos nucleicos, membrana y ATP. Además es importante en la regulación de muchas reacciones enzimáticas y en el proceso de transducción de señales. Contribuye a la integridad de las membranas celulares, y a su vez a la firmeza del fruto. El buen suministro del nutriente acelera la división celular, originando frutos más pequeños y por ende una resistencia más alta al frío y al efecto de humedades relativas altas; también fomenta la síntesis de antocianinas (Chio y Lin, 2011).

Asegurando un suministro adecuado de Potasio proporcionará un buen contenido de carbohidratos y en consecuencia una formación abundante de azúcares, ácidos y aroma del fruto. Muchos de los efectos negativos del N son neutralizados con el K. Una deficiencia de este nutriente origina frutos con poca acidez (insípidos), aumenta su respiración e induce la descomposición fisiológica y pardeamiento interno; mientras que un exceso causa alteraciones en el metabolismo del calcio generando ablandamiento (Tsay *et al.*, 2011). También este elemento se ha relacionado en el incremento de materia seca y las concentraciones de clorofila, cuando se adiciona 3 mM de K₂SO₄ en la solución

nutritiva y en el rendimiento, y también, reduce el efecto de alta salinidad y alto pH (Kaya *et al.*, 2002).

En el cultivo de fresa, los frutos con una baja concentración de Ca demuestran ser sensibles a desordenes fisiológicos y patológicos, además de tener una vida de anaquel corta, disminuyendo la calidad de fruto y aumentando el ablandamiento. Esto se debe a que el calcio penetra en los tejidos, aparentemente se acumula en la región entre la pared celular y lámina media en donde interacciona con el ácido péctico para formar pectato de calcio, lo que confiere la estabilidad y mantiene la integridad de éstas. (Wójcik y Lewandowski, 2003; Chen *et al.*, 2011). Por su parte, Childers (2003) reporta que una deficiencia de Ca, tiende a aparecer después de una deficiencia de Boro (B), siempre y cuando estos dos estén presentes.

El magnesio en cantidades adecuadas aumenta el sabor de los frutos y disminuye la ocurrencia de desordenes fisiológicos. Lamarre y Lareau (1997) mencionan que al aplicar 25 kg/h de Mg en el cultivo de fresa, este incrementa significativamente el tamaño de fruto, no teniendo efecto en el rendimiento.

El boro es indispensable para el crecimiento del tubo polínico, su deficiencia reduce el número de frutos cuajados y la cantidad de las semillas contenidas en ellos, causando un deficiente crecimiento de los mismos. Esto lo reporta Lieten, (2002) en donde una deficiencia de B en fresa daña los pistilos de la flor, aumenta los abortos de fruto hasta en 90%, y además, reduce el número de fruto por planta, peso de fruto y rendimiento.

Una deficiencia de Fe en fresa puede tener efecto en variables de calidad como tamaño de fruto, cambios en el color de la fruta, firmeza y en el contenido de agua, así como también de las propiedades químicas como el contenido de ácidos orgánicos, vitaminas, compuestos fenólicos, los cuales afectan las características organolépticas del fruto (Álvarez-Fernández *et al.*, 2006).

3.6 CONCLUSIÓN

Es necesario realizar análisis nutrimentales de los frutos con el fin de mantener una adecuada fertilización de la planta que garantice durante la postcosecha una alta calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica, ya que en este punto es imposible realizar alguna mejora. Concluimos que las variedades de fresa alcanzaron valores óptimos de nutrientes en cuanto a P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo, con respecto a los nutrientes que se encontraron en baja cantidad, sería idóneo tomarlos en cuenta para realizar las correcciones necesarias en la siguiente cosecha. Las variedades Jacona y Zamorana fueron las que tuvieron mayor contenido de nutrientes en los frutos, comportamiento que se repitió en ambas cosechas.

3.7 LITERATURA CITADA

- Aaby K., G Skrede., R E Wrolstad. 2005. Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria ananassa*), J. Agric. Food Chem. 53:4032-4040.
- AOAC 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Vol II. Association of Official Analytical Chemistries, Washington, D.C, 918-919.
- Almenar, E., P. Hernández-Muñoz., J.M. Lagarón, R. Catalá and R. Gavara. 2006. Controlled Atmosphere Storage of Wild Strawberry Fruit (*Fragaria vesca* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54: 86-91.
- Álvarez-Fernández, A., J. Abadía and A. Abadía. 2006. Iron deficiency, fruit yield and quality. *In*: Iron Nutrition and Interactions in Plants. (Abadía, J. and Barton L. L., Eds.). Springer, Dordrecht, The Netherlands. 85-101.
- Ancos, B., E. M. Gonzalez and P. Cano. 2000. Ellagic acid, vitamin C, and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48: 4565–4570.
- Anderson, B. A., A. Sarkar., J. F. Thompson and R. P. Singh. 2004. Commercial-Scala forced-air cooling of packaged strawberries. Am. Soc. Agric. Eng. 47:183-190.
- Ayala-Zavala, J. F., S. Y. Wang., C. Y. Wang and G. A. González-Aguilar. 2004. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 37: 687-695.

- Ayala-Zavala, J. F., S.Y. Wang., C. Y. Wang and G.A. González-Aguilar. 2007. High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Technology and Biotechnology*. 45: 166-173.
- Bakker, J., P. Bridle and S. J. Bellworthy. 1994. Strawberry juice colour: a study of the quantitative and qualitative pigment composition of juices from 39 genotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 64:31-37.
- Barrios, S., P. Lema and C. Lareo. 2014. Modeling Respiration Rate of Strawberry (cv. San Andreas) for Modified Atmosphere Packaging Design, *International Journal of Food Properties*. 17: 2039-2051,
- Bassil, D., D. P. Makris and P. Kefalas. 2005. Oxidation of caffeic acid in the presence of l-cysteine: isolation of 2-S-cysteinylcaffeic acid and evaluation of its antioxidant properties. *Food Res*. 38: 395–402.
- Basu, A., M. Rhone and T. J. Lyons. 2010. Berries: Emerging impact on cardiovascular health. *Nutrition Reviews*. 68: 168–177.
- Belitz, W. G. 1997. *Química de los alimentos*. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España. 567 páginas
- Blanch, M., M. T. Sanchez-Ballesta, M. I. Escribano and C. Merodio. 2012. Water distribution and ionic balance in response to high CO₂ treatments in strawberries (*Fragaria vesca* L. cv. Mara de Bois). *Postharvest Biology and Technology*. 73: 63-71.
- Blanch. M., R. Rosales., F. Palma., M.T. Sanchez-Baliesta., M.I. Escribano and C. Merodio. 2015. CO₂-driven changes in energy and fermentative metabolism in harvested strawberries. *Postharvest Biology and Technology*. 110: 33-39.

- Bodelón, O. G., M. Blanch., M. T. Sánchez-Ballesta., M. I. Escribano and 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.
- Bridle, P and C. Garcia-Viguera. 1997. Analysis of anthocyanins in strawberries and elderberries. A comparison of capillary zone electrophoresis and HPLC. *Food Chemistry.* 59: 299-304.
- Bulger M. A., M. A. Ellis and L. V. Madden. 1987. Influence of temperature and wetness duration on infection of strawberry flowers by *Botrytis cinerea* and disease incidence of fruit originating from infected flowers. *Phytopathology* 77:1225–1230
- Calderón, Z. G., J. Rodríguez A., O. Carrillo M., M. Lara Ch. y R. Vega del R. 2009. 'CP Zamorana' y 'CP Jacona', dos nuevas variedades de fresa para el subtrópico. 55 Reunión Anual de la Sociedad Interamericana para la Horticultura Tropical. Barquisimeto, Venezuela. 12-16 Oct. 2009. p 9.
- Castellanos-Morales, V., J. Villegas-Moreno, H. Vierheilig and R. Cárdenas-Navarro. 2012. Nitrogen availability drives the effect of *Glomus intraradices* on the growth of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) plants.
- Chandler C. K., D. E. Legard and D. D. Dunigan. 2000. 'Strawberry Festival' strawberry. *HortScience.* 35: 1366-1367.
- Chang, C. J., J. H. Chiu., L. M Tseng., C. H. Chang., T. M. Chien., C. W. Wu. 2006. Modulation of HER2 expression by ferulic acid on human breast cancer MCF7 cells. *European Journal of Clinical Investigation*, 36: 588–596.

- Chen, F., H. Liu, H. Yang, S. Lai, X. Cheng, Y. Xin, B. Yang, H. Hou, Y. Yao, S. Zhang, G. Bu and Y. Deng. 2011. Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry*. 126:450-459.
- Childers, N.F. 2003. Nutrient deficiencies in strawberry. In: N.F. Childers (ed.). *The strawberry: A book for growers, others*. Dr. Norman F. Childers Publications, Gainesville, FL. 126-129.
- Chiou T. J. and S. I. Lin .2011. Signaling network in sensing phosphate availability in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 62: 185-206.
- Cordenunsi, B. R., M. I. Genovese., J. R. Oliveira do Nascimento., N. M. A. Hassimoto., R. José dos Santos and F. M, Lajolo. 2005. Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. *Food Chemistry*. 91: 113-121.
- Coskun, O., M. Kanter., A. Korkmaz and S. Oter. 2005. Quercetin, a flavonoid antioxidant, prevents and protects streptozotocin-induced oxidative stress and beta-cell damage in rat pancreas. *Pharmacol Res.*51:117–23.
- Crisosto, C. H., D. Garner and G. Crisosto. 2002. Carbon dioxide-enriched atmospheres during cold storage limit losses from Botrytis but accelerate rachis browning of 'Redglobe' table grapes. *Postharvest. Biol.Tech.* 26:181–189.
- Castro, I., Gonç,alves, O., Teixeira, J.A and Vicente, A.A. 2002. Comparative study of Selva and Camarosa strawberries for the commercial market. *Journal of Food Science* 67:2132–2137.

- Crozier A., T. Yokota., I.B. Jaganath., S. Marks., M. Saltmarsh and M. N. Clifford. 2006. Secondary metabolites as dietary components in plant-based foods and beverages, in *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*, ed. by Crozier A, Clifford MN and Ashihara H. Blackwell, Oxford. 208–302.
- Day, B. P. F. 1996. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. *Postharvest News and Information*. 7: 31–34.
- Day, B. P. F and M .A. P. Novel. 2003. Applications for fresh-prepared produce. In: *Novel Food Packaging Techniques*; Ahvenainen, R.; Ed.; CRC Press: Boca Ratón, FL 189.
- Dean R, J. A. Van Kan and Z. A. Pretorius. 2012. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Mol Plant Pathol*. 13:414–430.
- Dean, R., J. A. L. van Kan., Z. A. Pretorius., K. E. Hammond-Kosack., A. Di Pietro., P. D. Spanu., J. J. Rudd., M. Dickman., R. Kahmann., J. Ellis and G.D. Foster. 2012. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Mol. Plant .Pathol*. 13: 414–430.
- Donmez, M. F., A. Esitken., H, Yildiz and S, Ercisli. 2011. Biocontrol of *Botrytis cinerea* on strawberry fruit by plant growth promoting bacteria. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 21: 758-763.
- Dorantes-Alvarez, L. and A. Chiralt. 2000. Color of Minimally Processed Fruits and Vegetables as Affected by Some Chemical and Biochemical Changes. In: *Minimally Processed Fruits and Vegetables*, Alzamora, S.M., M.S. Tapia and A. Lopez-Malo (Eds.). Aspen Publishers pp: 111-116.

- Erkan, M., S. Y. Wang and C. Y. Wang. 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biol.Technol.* 48: 163–171.
- Fallahi F., M. Roghani and S. Moghadami. 2012. Citrus flavonoid naringenin improves aortic reactivity in streptozotocin-diabetic rats. *Indian J Pharmacol.* 44:382–96.
- Feliziani, E and G. Romanazzi. 2016. Postharvest decay of strawberry fruit: Etiology, epidemiology, and disease management. *Journal of Berry Research.* 6: 47-63.
- Femenía, R.M.E. 2007. Caracterización Química de Cepas de Hongos del Género *Colletotrichum*: Síntesis de Gloeosporiol. Diseño y Síntesis de Modelo de Agentes Fungiestáticos. Tesis Profesional. Universidad de Cádiz. España. 251 p.
- Fernandes A.A., E.L Novelli., K. Okoshi., M.P. Okoshi., B.P. Di Muzio., J.F. Guimarães JF. 2010. Influence of rutin treatment on biochemical alterations in experimental diabetes. *Biomed Pharmacother.* 64:214–19.
- Fernández-Ortuño, D., F. Chen and G. Schnsbel. 2012. Resistance to Pyraclostrobin and Boscalid in *Botrytis cinerea* isolates from strawberry fields in the Carolinas. *Plant Science.* 96:1198-1203.
- Fernández-Trujillo, J.P., J.F. Nock and C.B. Watkins. 2007. Antioxidant enzyme activities in strawberry fruit exposed to high carbon dioxide atmospheres during cold storage. 104: 1425-1429.
- Figuroa-Espinoza M R, P Villeneuve. 2005. Phenolic acid enzymatic lipophilization. *J. Agric. Food Chem.* 53:2779–87

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012:
<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Consulta: Octubre 2016

Franke, A.A., L.J. Custer., C. Arakaki and S.P. Murphy. 2004. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *J. Food Comp. Anal.* 17: 1–35.

Fredes, C., G. Montenegro., J.P. Zoffoli., F. Santander and P. Robert. 2014. Comparison of the total phenolic content, total anthocyanin content and antioxidant activity of polyphenol-rich fruits grown in Chile. *Cienc. Inv. Agr.* 41: 49–60.

Gil, M., D. M. Holcroft and A.A. Kader. 1997. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 45: 1662–1667.

Girish C and S.C. Pradhan. 2008. Drug development for liver diseases: focus on picroliv, ellagic acid and curcumin. *Fundam Clin Pharmacol.* 22:623-632.

Gollop, R., S. Even., V. Colova-Tsolova, and A. Perl. 2002. Expression of the grape dihydroflavonol reductase gene and analysis of its promoter region. *J. Exp. Bot.* 53: 1397-1409.

Gulcin, I. 2006. Antioxidant activity of caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid). *Toxicology.* 217. 213-220.

Häkkinen, S. H and A.R. Törrönen. 2000. Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food Research International.* 33: 517–524.

- Hannum S M. 2004. Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 44:1–17.
- Harb, J., O. Saleh., D. Kitemann., D.A. Neuwald., T. Hoffman., R. Reski and W. Schwab. 2014. Changes in Polyphenols and Expression Levels of Related Genes in ‘Duke’ Blueberries Stored under High CO₂ Levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 62:7460-7467.
- Harb, J., R. Bisharat and J. Streif. 2006. Einfluß verschiedene kontrolliertem Atmosphäre Lagerbedingungen auf die Qualitätsmerkmale von Heidelbeeren Sorte “Bluecrop”. *Erwerbs-Obstbau.* 48:115–120.
- Harker. R. F., J. H. Elgar., C. B. Watkins., P. J. Jackson and I.C. Hallett. 2000. Physical and mechanical changes in strawberries after high carbon dioxide treatments. *Postharvest. Biol. Tec.* 19:139-146.
- Harker, F.R., R.J. Redgwell., I.C. Hallet., S. Murray and G. Carter. 1997. Texture of fresh fruit. *Hort. Rev.* 20:212-224.
- He, J and M.M. Giusti. 2010. Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. *Annual Reviews of Food Science and Technology.* 1:163-187.
- Holcroft, D.H and A. A. Kader. 1999. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest. Biol. Tec.* 176:19-32.
- Kristl, J., A. U. Krajnc, B. Kramberger and S. G. Mlakar. 2013. Strawberries from integrated and organic production: mineral contents and antioxidant activity. *Acta Chim. Slov.*60:19-25.

- Huang W.Y., H.C. gulcin, W.X. Liu and C.Y. Li. 2012. Survey of antioxidant capacity and phenolic composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing. *J Zhejiang Univ Sci B*.13:94–102.
- IFAS (2010) Interactive strawberry budget. Plant city, 2008–2009 season. <http://www.fred.ifas.ufl.edu/iatpc/files/strawberries09l.xls>
- Janićijević, J., S. Tošić and T. Mitrović. 2007. Flavonoids in plants. 9th Symposium on Flora of Southeastern Serbia and Neighbouring Regions.153-156.
- Jin, P., S.Y. Wang., C.Y. Wang and Y. Zheng. 2011. Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries. *Food Chemistry*. 124: 262-270.
- Kader, K and S. Ben-Yehoshua. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology of fresh fruit and vegetables. *Postharv. Biol. Technol.* 20:1–13.
- Kalt, W., C.F. Forney., A. Martin and R.L. Prior. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47:4638-4644.
- Kaya, C., H. Kirnak, D. Higgs and K. Saltali. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Hort.* 93: 65-74.
- Ke, D., L. Goldstein., M.O. Mahony and A.A. Kader. 1991. Effects of short-term exposure to low O₂ and high CO₂ atmospheres on quality attributes of strawberries. *J. Food. Sci.* 56: 50-64.

- Kreft S., M. Knapp and I. Kreft. 1999. Extraction of rutin from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seeds and determination by capillary electrophoresis. *Journal of Agric Food Chem.* 47:4649–52.
- Lamarre, M. and M.J. Lareau. 1997. Influence of nitrogen, potassium and magnesium fertilization on day-neutral strawberries in Quebec. *Acta Hort.* 439: 701-704.
- Larsen, M and C.B. Watkins. 1995. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. *Horticulture and Food Research.* 5: 39-50.
- Larson R.A. 1998. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry*, 27:969–972.
- Leroch, M., C. Plesken., R.W.S. Weber., F. Kauff., G. Scalliet and M. Hahn. 2013. Gray Mold Populations in German Strawberry Fields Are Resistant to Multiple Fungicides and Dominated by a Novel Clade Closely Related to *Botrytis cinerea*. *Applied and Environmental Microbiology.* 79: 159-167.
- Lieten, F. 2002. Boron deficiency of strawberries grown in substrate culture. *Acta Hort.* 567:451-454.
- Li, C, and A.A. Kader. 1989. Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality of strawberries. *Journal of American Society for Horticultural Science.* 114: 629–634.
- Li, X., X. Wang., J. Wang and Z. Liu. 2009. Respiration rate models of *Agaricus bisporus* under modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Engineering.* 5: 1–13.

- Lopes-da Silva, F., M.T. Escribano-Bailón, J.J. Pérez-Alonso, J.C. Rivas-Gonzalo and C. Santos-Buelga. 2007. Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT*. 40:374-382.
- Lopes-da-Silva, F., S. de Pascual-Teresa, J. C. Rivas-Gonzalo, and C. Santos-Buelga. 2002. Identification of anthocyanin pigments in strawberry (cv Camarosa) by LC using DAD and ESI-MS detection. *European Food Research and Technology*. 214: 248-253.
- Maas J.L., S.Y. Wang and G.J. Galletta. 1991b. Evaluation of strawberry cultivars for ellagic acid content. *HortScience*; 26: 66–68.
- Manganaris, G., V. Goulas., A.R. Vicente and L.A. Terry. 2013. Berry antioxidants: small fruits providing large benefits. *Society of Chemical Industry*. 94: 825-833.
- Marín, A., B. Buendía., A. Allende y F.A. Tomás-Barberan. 2007. Estabilidad de los compuestos bioactivos de fresa sometida a tratamientos postcosecha oxidativos y atmosféricos. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. 20:1161-1170.
- Mattila P and J. Kumpulainen. 2002. Determination of free and total phenolic acids in plant-derived foods by HPLC with diode-array detection. *J Agric Food Chem*. 50:3660-3667.
- Meyers K J., C B Watkins., M P Pritts., R H Liu. 2003. Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *J Agric Food Chem*. 51:6887–92.
- Ke, D., L. M. Goodstein., M. O'Mahony and A. A. Kader. 1991. Effects of short-term exposure to low O₂ and high CO₂ atmospheres on quality attributes of strawberries. *J. Food Sci*. 56:50-54

- Nunes, M. C. N., J. K. Brecht., A. M. M. B. Morais and S. A. Sargent. 1995. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. *Postharvest. Biol. Tec.* 6:17-28.
- Nunes, M. C. N.; J. P. Emond and J.F. Brecht. 2003. Predicting shelf life and quality of raspberries under different storage temperatures. *Acta Horticulturae.* 1: 599-606
- Odriozola-Serrano, I., R. Soliva-Fortuny., V. Gimeno-Añó and O. Martín-Belloso. 2008. Kinetic study of anthocyanins, vitamin c, and antioxidant capacity in strawberry juices treated by high-intensity pulsed electric fields. *J. Agric. Food Chem.* 56: 8387–8393.
- Odriozola, I. 2009. Obtención de zumos y frutos cortados con alto potencial antioxidante mediante tratamientos no térmicos. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- Ohnishi, M., T. Matuo., T. Tsuno., A. Hosoda., E. Nomura and H. Taniguchi. 2004. Antioxidant activity and hypoglycemic effect of ferulic acid in STZ-induced diabetic mice and KK-Ay mice. *Biofactors.* 21: 315–319.
- Oliveira, A., M.H. Gomes., E.M. Alexandre., F. Poças., D.P. Almeida and M. Pintado. 2015. Phytochemicals preservation in strawberry as affected by pH modulation. *Food Chem.* 170: 74–83.
- Pei-chun, C., H. Cheng-chin and Y. Mei-chin. 2009. Anti-inflammatory and anti-coagulatory activities of caffeic acid and ellagic acid in cardiac tissue of diabetic mice. *Nutrition and Metabolism.* 6: 1-8.

- Pelayo, C., S. E. Ebeler and A. A. Kader. 2003. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5°C in air or air+20kPa CO₂. *Postharvest. Biol. Tec.* 27:171-183.
- Pelayo-Zaldívar, C., J. B. Abda., S. E. Ebeler and A. A. Kader. 2007. Quality and chemical changes associated with flavor of 'Camarosa' strawberries is response a CO₂-enriched atmosphere. *Hortsciense.* 42:299-303.
- Peng J., S Y Wang., Y C Wang., Y Zheng. 2011. Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries. *Food Chemistry.* 124:262-270
- Piña-Dumoulin., G., V. C. Saucedo., V. E. Ayala and A. L. Muratalla. 2001. Atmósferas controladas para combatir daños postcosecha en zarzamora (*Rubus sp.*). *Rev.Fac.Agron.* 18:87-105.
- Prasath, G.S, and S.P. Subramanian. 2014. Antihyperlipidemic effect of fisetin, a bioflavonoid of strawberries, studied in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Biochem. Mol. Toxicol.* 28: 442–449.
- Prince P. S. M and N. Kamalakkannan. 2006a. Protective effect of rutin on lipids, lipoproteins, lipid metabolizing enzymes and glycoproteins in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Pharm Pharmacol.* 58:1373–83.
- Prince P.S.M, and N. Kamalakkannan. 2006b. Rutin improves glucose homeostasis in streptozotocin diabetic tissues by altering glycolytic and gluconeogenic enzymes. *J. Biochem Mol Toxicol.* 20:96–102.
- Prior R.L, and X. Wu X. 2006. Anthocyanins: structural characteristics that result in unique metabolic patterns and biological activities. *Free Radical Res.* 40:1014–1028.

- Proteggente, A.R., A.S. Pannala., G. Paganga., L. van Buren., E. Wagner., S. Wiseman., F. van de Put., C. Dacombe and C.A. Rice-Evans. 2002. The Antioxidant Activity of Regularly Consumed Fruit and Vegetables Reflects their Phenolic and Vitamin C Composition. *Free Radic. Res.* 36: 217–233.
- Remberg, S., K. Haffner and R. Blomhoff. 2003. Total antioxidant capacity and other quality criteria in blueberries cvs 'Bluecrop', 'Hardyblue', 'Patriot', 'Putte' and 'Aron' after storage in cold store and controlled atmosphere. *Acta Hortic.* 600: 595–598.
- Robertson, G.L. 2006. Packaging of horticultural produce. *In: Food Packaging. Principles and Practice*; CRC Press: Boca Ratón, FL, 372.
- Romanazzi, G and E. Feliziani. 2014. *Botrytis cinerea*. *In: Bautista-Baños, S. (Ed.), Postharvest Decay: Control Strategies*. Elsevier. 131–146.
- Romanazzi, G., J. L. Smilanick., E. Feliziani and S. Droby. 2016. Integrated management of postharvest gray mold on fruit crops. *Postharvest. Biology and Technology*. 113: 69-76.
- Samson, R.A., E.S. Hoekstra, and J.C. Frisvad. 2004. *Introduction to Food-and Airborne Fungi*. 17a edición. CBS. Holanda. 389 p.
- Santos, B. M., N. A. Peres., J. F. Price., V. M. Whitaker., P. J. Dittmar., S. M. Olson and S. A. Smith. 2012. Strawberry production in florida. *Postharvest. Biology and Technology*. 20:281-291.
- Sapei, L and L. Hwa. 2014. Study on the kinetics of vitamin C degradation in fresh strawberry juices. *Procedia Chem.* 9: 62–68.

- Scalzo, J., A. Politi., N. Pellegrini., B. Mezzetti and M. Battino. 2005. Plant Genotype Affects Total Antioxidant Capacity and Phenolic Contents in Fruit. *Nutrition*. 21:207–213.
- Schotsmans, W., A. Molan and B. MacKay. 2007. Controlled atmosphere storage of rabbiteye blueberries enhances postharvest quality aspects. *Postharvest Biol. Technol.* 44: 277–285
- Semwal, D.K., R. Badoni. Semwal., S. Combrinck and A. Viljoen. 2016. Myricetin: a dietary molecule with diverse biological activities. *Nutrients*. 8:1-31.
- Shahidi, F and M. Naczk. 2004. Phenolics in food and nutraceuticals; CRC Press: Boca Raton, FL, 131-155, 490.
- Shetty K., M Wahlqvist 2004. A model for the role of the proline-linked pentose phosphate pathway in phenolic phytochemical bio-synthesis and mechanism of action for human health and environmental applications. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 13:1–24
- Shin, Y., J.A. Ryu., R.H. Liu., J.E. Nock., K. Polar-Cabrera and C.B. Watkins. 2008. Fruit Quality, Antioxidant Contents and Activity, and Antiproliferative Activity of Strawberry Fruit Stored in Elevated CO₂ Atmospheres. *Sensory and Food Quality*. 73:339-344.
- Škrovánková, S., D. Kramářová., K. Šimánková and I. Hoza. 2006. Determination of ascorbic acid by HPLC with electrochemical detection. *Chem. Listy*. 100: 736.
- Skrovankova, S., D. Sumczynski., J. Mlcek., T. Jurikova and J. Sochor. 2015. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in Different Types of Berries. *International Journal of Molecular Sciences*. 16: 24673-24706.

- Smith, R. B. 1992. Controlled atmosphere storage of “Redcoat” strawberry fruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117: 260-264.
- Stewart L.K., Z. Wang, D. Ribnicky., J.L. Soileau, W.T. Cefalu and T.W. Gettys. 2009. Failure of dietary quercetin to alter the temporal progression of insulin resistance among tissues of C57BL/6 J mice during the development of diet-induced obesity. *Diabetologia.* 52:514–23.
- Sun J., Y F Chu., X Z Wu., R H Liu. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J Agric Food Chem.* 50:7449–7454.
- Suzuki, A., M. Yamamoto., H. Jokura., A. Fujii., I. Tokimitsu., T. Hase and I. Saito. 2007. Ferulic acid restores endothelium-dependent vasodilation in aortas of spontaneously hypertensive rats. *Journal of the American Society of Hypertension.* 20: 508–513.
- Teles CS., B.C. Benedetti., W.D. Gubler and C.H. Crisosto. 2014. Prestorage application of high carbón dioxide combined with controlled atmosphere storage as a dual approach to control *Botrytis cinerea* in organic ‘Flame Seedless’ and ‘Crimson Seedless’ table grapes. *Postharvest Biology and Technology.* 89: 32–39.
- Tomás-Barberán FA, F Ferreres, M I Gil. 2000. Antioxidant phenolic metabolites from fruit and vegetables and changes during postharvest storage and processing. *Natural products Chemistry.* 23: 739-795
- Tudela, J. A., R. Villaexcusa., F. Artes-Hdez and F. Artes. 2003. High carbon dioxide during cold storage for keeping strawberry quality. *Acta. Hortic.* 600:201-204.

- Ugolini, L., C. Martini., L. Lazzeri., L. D'Avino and M. Mari. 2014. Control of postharvest grey mould (*Botrytis cinerea* Per.: Fr.) on strawberries by glucosinolate-derived allyl-isothiocyanate treatments. *Postharvest Biology and Technology*. 90: 34-39.
- Van Acker F.A, O. Schouten., G.R. Haenen., W.J van der Vijgh and A. Bast. 2000. Flavonoids can replace alpha-tocopherol as an antioxidant. *FEBS Lett*. 473:145–8
- Van Acker F.A., O. Schouten., G.R. Haenen., W.J. van der Vijgh and A. Bast 2002. Flavonoids can replace alpha-tocopherol as an antioxidant. *FEBS Lett*. 473:145–148.
- Van De Velde, F., A.M. Tarola., D. Guemes and M. E. Pirovani. 2013. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Camarosa and Selva Strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Foods*. 2: 120-131.
- Van der Sluis, A.A., Dekker, M., de Jager, A. and Jongen, W.M.F. 2001. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple; effect of cultivar, harvest year and storage conditions. *J. Agric. Food Chem*. 49: 3606-3613.
- Van Dijk, L and L. M. M. Tisjskens. 2000. Mathematical modeling of enzymatic reactions as related to texture after storage and mild preheat treatments. In *Minimally processed fruits and vegetables*. Aspen Plubishers. Maryland. USA. Pp 127-152.
- Vargaz, A., J. Perez., J. P. Zoffoli and A. Perez. 2000. Comparación de variables de textura en la medición de firmeza de bayas de uva Thompson Sedles, en: *Cien. Inv. Agr*. 28:37-42

- Vinayagam, R and B. Xu. 2015. Antidiabetic properties of dietary flavonoids: a cellular mechanism review. *Nutrition and Metabolism*. 12:1-20.
- Wang, C.Y. 1993. Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Horticultural Reviews*. 15:63-95.
- Wang, S. Y.,H Jiao. 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 5677–5684.
- Wang S Y., W Zheng. 2001. Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. *J. Agric Food Chem*. 49:4977-4982.
- Watkins, C. B., J. E. Manzano-Mendez., J. F. Nock., J. J. Zhang and K. E. Maloney. 2000. Cultivar variation in response of strawberry fruit to high carbon dioxide treatments. *J. Sci. Food. Agr.*79:886-890.
- Wilcox L.J., N.M. Borradaile and M.W. Huff. 1999. Antiatherogenic properties of naringenin, a citrus flavonoid. *Cardiovasc Drug*.17:160–78.
- Wills, R. B. H., W. B. McGlasson, D. Graham, and D.C. Joyce. 2007. *Postharvest- An Introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and ornaments*. 5° edición. CAB International. Oxfordshire, UK. 277 p
- Wójcik, P. and M. Lewandowski. 2003. Effect of Calcium and Boron Sprays on Yield and Quality of “Elsanta” Strawberry. *Journal of Plant Nutrition*. 26:671-682.
- Wszelaki, A. L and E. J. Mitcham. 2000. Effects of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. *Postharvest Biology and Technology*, 20:125–133.

- Wszelaki, A. L and E. J. Mitcham. 2003. Effect of combinations of hot water dips, biological control and controlled atmospheres for control gray mold on harvested strawberries. *Postharvest. Biol. Tec.* 27:255-264.
- Xu, G., X. Fan and A. J. Miller. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63:153-182
- Zadernowski, R., M. Naczek and J. Nesterowicz. 2005. Phenolic acid profiles in some small berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 53:2118-2124.
- Zhang J. J and C. B. Watkins. 2005. Fruit quality, fermentation products, and activities of associated enzymes during elevated CO₂ treatment of strawberry fruit at high and low temperatures. *J AmSoc Hort Sci.* 130:124–30.
- Zhang, Z., S.M Hamilton., C. Stewart., A. Strother, and R.W. Teel. 1993. Inhibition of liver microsomal cytochrome P450 activity and metabolism of the tobacco-specific nitrosamine NNK by capsaicin and ellagic acid. *Anticancer Res.* 13: 2341–2346.
- Zheng, Y., S.Y. Wang., C.Y. Wang and W. Zheng. 2007. Changes in strawberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity in response to high oxygen treatments. *Society of Food Science and Technology.* 40: 49-57.
- Zheng, Y., S.Y. Wang., C.Y. Wang and W. Zheng. 2010. Effect of Superatmospheric Oxygen on Anthocyanins, Phenolics and Antioxidant Activity of Blueberries and Strawberries. *Acta Hort.* 857: 475-482.

ANEXOS

Anexo A. Características de calidad interna de tres variedades mexicanas y una extranjera de fresa al momento de cosecha.

Variedades	Acetaldehído mg (100g ⁻¹ fruta)	AT (%Ac. Cítrico)	SST (°Brix)	SST / AT	pH	Az. Tot g (100g ⁻¹ fruta)	V.C mg Ac. Ascórbico (100 ⁻¹ g fruta)
<u>Cosecha 2015</u>							
CP-LE7	11.75 a	1.10 a	7.72 a	7.01 a	4.10 a	2.90 a	51.19 b
Zamorana	13.01 a	1.09 a	7.97 a	7.31 a	4.07 a	1.88 a	69.91 a
Jacona	12.48 a	1.02 a	8.18 a	8.01 a	4.06 a	1.93 a	54.98 b
Festival	10.25 a	1.01 a	8.41 a	8.32 a	4.21 a	1.99 a	50.14 b
DMS	2.7	0.09	2.11	2.03	2.2	1.11	9.54
C.V (%)	12.56	4.03	13.92	8.95	3.45	7.71	13.56
<u>Cosecha 2016</u>							
CP-LE7	9.32 a	0.61 a	8.21 a	13.45 a	3.89 a	1.86 a	60.63 a
Zamorana	11.37 a	0.78 a	8.40 a	10.76 a	3.78 a	1.97 a	57.29 a
Jacona	10.23 a	0.67 a	8.65 a	12.91 a	3.71 a	1.98 a	53.43 b
Festival	11.22 a	0.65 a	8.39 a	12.90 a	3.85 a	1.89 a	50.16 b
DMS	2.9	0.06	1.77	1.17	2.1	0.99	10.09
C.V (%)	11.31	4.92	7.35	9.86	2.25	11.6	15.12

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$, atmósfera ambiental (A. A), acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (SST), relación SST/AT, azúcares totales (Az. Tot), vitamina C (V.C)

Anexo B. Características de calidad externa de tres variedades mexicanas y una extranjera de fresa al momento de cosecha.

Cultivares	L	° h	C	Firmeza (N)
<u>Cosecha 2015</u>				
CP-LE7	34.72 a	34.72 a	30.49 a	23.56 a
Zamorana	36.68 a	34.69 a	29.99 a	22.85 a
Jacona	37.24 a	36.45 a	32.31 a	22.93 a
Festival	37.57 a	36.51 a	31.93 a	19.72 b
DMS	3.92	2.71	2.87	2.54
C.V (%)	4.71	5.61	7.91	13.64
<u>Cosecha 2016</u>				
CP-LE7	30.83 a	31.43 a	24.34 b	23.97 a
Zamorana	28.78 a	29.66 a	25.27 ab	22.87 a
Jacona	30.71 a	28.41 a	25.83 ab	22.69 a
Festival	31.11 a	29.51 a	27.29 a	18.94 b
DMS	3.13	3.51	2.19	2.11
C.V (%)	6.91	9.32	6.91	16.16

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Luminosidad o brillo (L), ángulo de tono ($^{\circ}$ h), índice de saturación (C), pérdida de peso (PP).

Anexo C. Contenido de ácidos fenólicos en variedades mexicanas y extranjera de fresa al momento de cosecha.

Cultivar	Ac.	Ac.	Ac.	Ac. cafeíco
	elágico	clorogénico	ferúlico	
(mg g ⁻¹ fruta liofilizada)				
<u>Cosecha 2015</u>				
CP-LE7	55.91 a	13.01 ab	2.14 a	1.06 a
Zamorana	50.89 a	11.25 b	2.19 a	1.01 a
Jacona	57.49 a	15.72 a	2.09 a	1.02 a
Festival	39.98 b	10.99 b	2.12 a	0.95 a
DMS	12.40	3.99	0.61	0.17
CV (%)	24.0	14.3	16.7	12.3
<u>Cosecha 2016</u>				
CP-LE7	46.87 a	13.76 a	2.11 a	1.10 a
Zamorana	39.12 a	11.31 a	2.95 a	1.11 a
Jacona	38.21 a	13.51 a	2.99 a	1.12 a
Festival	33.98 a	12.05 a	2.09 a	1.10 a
DMS	15.1	2.97	1.54	0.12
CV (%)	19.1	11.9	20.4	13.9

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación.

Anexo D. Contenido de flavonoides en variedades mexicanas y extranjera de fresa al momento de cosecha.

Variedad	Rutina	Florizidina	Narangenina	Galangina
(mg g ⁻¹ fruta liofilizada)				
<u>Cosecha 2015</u>				
CP-LE7	8.78 a	29.07 b	0.35 b	0.23 a
Zamorana	10.21 a	63.71 a	1.19 a	0.39 a
Jacona	10.34 a	24.27 b	0.78 ab	0.25 a
Festival	6.97 a	20.99 b	0.30 b	0.21 a
DMS	3.51	19.7	0.76	0.20
CV (%)	6.9	17.2	5.1	4.3
<u>Cosecha 2016</u>				
CP-LE7	5.99 bc	26.09 ab	NE	NE
Zamorana	11.01 a	45.12 a	NE	NE
Jacona	10.33 ab	21.06 b	NE	NE
Festival	5.23 c	19.76 b	NE	NE
DMS	4.8	23.7		
CV (%)	9.39	17.1		

Valores con la misma letra dentro de cada columna y cosecha son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. DMS Diferencia mínima significativa, CV Coeficiente de variación.