

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**APLICACIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA
MADURACIÓN Y DAÑOS POR FRÍO EN AGUACATE 'HASS' Y
'FUERTE'**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

FITOTECNIA

PRESENTA:

LOURDES SAUCEDO HERNÁNDEZ

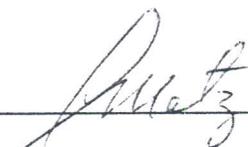
Chapingo, México, noviembre del 2002.



Tesis realizada por **LOURDES SAUCEDO HERNÁNDEZ** bajo la dirección del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: _____



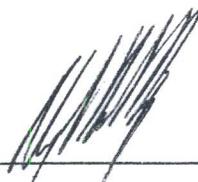
Dra. Maria Teresa Martínez Damián

ASESOR: _____



Dra. Maria Teresa B. Colinas León

ASESOR: _____



Dr. Alejandro Facundo Barrientos Priego

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada que permitió que realizara mis estudios de maestría.

A la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, Edo. de México.

A la Dra. Ma. Teresa Martínez Damián, por su gran disposición y participación en la presente investigación.

A la Dra. Ma. Teresa Colinas León, por sus valiosas aportaciones en el trabajo.

A el Dr Alejandro F. Barrientos Priego, por sus sugerencias y correcciones en la presente investigación.

A el Ing. Juan José Aguilar Melchor, por las facilidades prestadas para realizar la investigación.

A el Dr. Angel Martínez Garza, por su orientación en el trabajo de análisis estadístico.

A el profesor Claudio Pérez Mercado por su apoyo en la fase de laboratorio.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma contribuyeron en la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

Especialmente dedicada a mis padres Maria Luisa y Porfirio por el gran amor que siempre me han dado y sus valiosos consejos.

A mis queridos hermanos y hermanas por ser un gran tesoro que tengo y por el inmenso apoyo recibido.

A mis sobrinas y sobrinos por ser una chispa de alegría en mi vida.

A Anselmo por su gran amor y apoyo que me a permitido salir adelante.

A todos mis familiares y amigos.

GRACIAS

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente tesis, Ingeniero LOURDES SAUCEDO HERNÁNDEZ, es originaria de Tantoyuca Veracruz, donde nació el 11 de febrero de 1978.

Realizó estudios de Educación Media Superior y Educación Superior en la Universidad Autónoma Chapingo donde curso la carrera de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia de la que egreso en el 2000.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
RESUMEN	xxi
SUMMARY	xxii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Poscosecha de aguacate	4
2.2. Almacenamiento en frío	5
2.3. Desórdenes fisiológicos	8
2.4. Daño por frío	9
2.5. Permeabilidad de membranas	13
2.6. Respiración y etileno en la maduración	15
2.7. Enzimas presentes en el fruto de aguacate	17
2.8. Papel del calcio en postcosecha	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Material Vegetal	22
3.2. Tratamientos en campo	22

3.3. Cosecha	23
3.4. Tratamientos en laboratorio	23
3.5. Diseño experimental	23
3.6. Diseño estadístico	24
3.7. Variables evaluadas	24
3.7.1. Días a maduración	24
3.7.2. Firmeza de la pulpa	24
3.7.3. Pérdida fisiológica de peso	25
3.7.4. Color	25
3.7.5. Permeabilidad de las membranas	26
3.7.6. Actividad de la polifenoloxidasa	27
3.7.7. Daños por frío	28
3.7.8. Identificación de desórdenes fisiológicos	29
3.7.9. Determinación de calcio en el fruto	29
3.7.10. Producción de etileno y respiración	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Días a maduración en aguacate ‘Fuerte’	31
4.2. Días a maduración en aguacate ‘Hass’	32
4.3. Firmeza en aguacate ‘Fuerte’	33
4.4. Firmeza en aguacate ‘Hass’	37

4.5. Pérdida de peso en aguacate ‘Fuerte’	40
4.6. Pérdida de peso en aguacate ‘Hass’	43
4.7. Color en aguacate ‘Fuerte’	46
4.8. Color en aguacate ‘Hass’	47
4.9. Permeabilidad de membrana en aguacate ‘Fuerte’	49
4.9.1. Permeabilidad de cáscara	49
4.9.2. Permeabilidad de pulpa	52
4.10. Permeabilidad de membrana en aguacate ‘Hass’	56
4.10.1. Permeabilidad de cáscara	56
4.10.2. Permeabilidad de pulpa	60
4.11. Actividad de la enzima Polifenoloxidasa (PPO) en aguacate ‘Fuerte’	62
4.12. Actividad de la enzima Polifenoloxidasa (PPO) en aguacate ‘Hass’	66
4.13. Daño por frío en aguacate ‘Fuerte’	68
4.14. Daño por frío en aguacate ‘Hass’	72
4.15. Desórdenes fisiológicos en aguacate ‘Fuerte’	75
4.16. Desórdenes fisiológicos en aguacate ‘Hass’	80
4.17. Contenido de calcio del fruto de aguacate ‘Fuerte’	82
4.18. Contenido de calcio del fruto de aguacate ‘Hass’	84
4.19. Respiración en aguacate ‘Fuerte’	85
4.20. Producción de etileno en aguacate ‘Fuerte’	89
4.21. Respiración en aguacate ‘Hass’	92

4. 22. Producción de etileno en aguacate 'Hass'	95
V. CONCLUSIONES	99
VI. LITERATURA CITADA	100
APÉNDICE	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación de desórdenes fisiológicos que se pueden manifestar en aguacate.	9
2	Días promedio a maduración en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.	32
3	Días promedio a maduración en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.	33
4	Firmeza en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.	34
5	Firmeza por día de evaluación en frutos aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.	35
6	Firmeza por día de evaluación en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.	37

7	Firmeza en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.	38
8	Firmeza por día de evaluación en frutos aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.	39
9	Firmeza por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.	40
10	Pérdida de peso (%) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.	41
11	Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.	42
12	Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.	43
13	Pérdida de peso (%) en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.	44

14	Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados a temperatura ambiente.	44
15	Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.	45
16	Color de los frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.	46
17	Color de los frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados en refrigeración a 5 °C por 3 y 5 semanas.	47
18	Color de los frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.	47
19	Color de los frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados en refrigeración a 5 °C por 3 y 5 semanas.	48
20	Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.	50

21	Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados a temperatura ambiente.	51
22	Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.	52
23	Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.	54
24	Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.	55
25	Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.	56
26	Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.	57

27	Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.	58
28	Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.	59
29	Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.	60
30	Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas almacenados a temperatura ambiente.	61
31	Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.	62
32	Actividad de Polifenoloxidasa ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.	63

- 33 Actividad de Polifenoloxidasa ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente. 64
- 34 Actividad de Polifenoloxidasa ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a $5^{\circ}C$ por 3 y 5 semanas. 65
- 35 Actividad de Polifenoloxidasa ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a $5^{\circ}C$ por 3 y 5 semanas. 66
- 36 Actividad de Polifenoloxidasa ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente. 67
- 37 Actividad de Polifenoloxidasa ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a $5^{\circ}C$ por 3 y 5 semanas. 68
- 38 Daño por frío medido como absorbancia (nm) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y $5^{\circ}C$ por 3 y 5 semanas. 70

- 39 Daño por frío medido como absorbancia (nm) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente. 70
- 40 Daño por frío medido como absorbancia (nm) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas. 72
- 41 Daño por frío medido como absorbancia (nm) en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas. 73
- 42 Daño por frío medido como absorbancia (nm) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente. 74
- 43 Daño por frío medido como absorbancia (nm) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas. 75

- 44 Desórdenes fisiológicos en aguacate 'Fuerte' tratados con seis 77
aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas,
almacenados en refrigeración a 5 °C por 3 semanas.
- 45 Desórdenes fisiológicos en aguacate 'Fuerte' tratados con seis 79
aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas,
almacenados en refrigeración a 5 °C por 5 semanas.
- 46 Desórdenes fisiológicos en aguacate 'Hass' tratados con seis 80
aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas
almacenados en refrigeración a 5 °C por 3 semanas.
- 47 Desórdenes fisiológicos en aguacate 'Hass' tratados con seis 82
aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas,
almacenados en refrigeración a 5 °C, por 5 semanas.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Contenido de calcio (%) en el exocarpio y mesocarpio de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas.	84
2	Contenido de calcio (%) en el exocarpio y mesocarpio de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas.	85
3	Respiración en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados a temperatura ambiente.	86
4	Respiración en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por tres semanas.	87
5	Respiración en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por cinco semanas.	88
6	Producción de etileno en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados a temperatura ambiente.	89

7	Producción de etileno en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por tres semanas.	90
8	Producción de etileno en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por cinco semanas.	91
9	Respiración en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados a temperatura ambiente.	93
10	Respiración en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C durante tres semanas.	94
11	Respiración en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C durante cinco semanas.	95
12	Producción de etileno en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados a temperatura ambiente.	96

- 13 Producción de etileno en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por tres semanas. 97
- 14 Producción de etileno en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por cinco semanas. 98

APLICACIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA MADURACIÓN Y DAÑOS POR FRÍO EN AGUACATE 'HASS' Y 'FUERTE'

RESUMEN

Árboles de aguacate 'Hass' y 'Fuerte' se asperjaron con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ al 0, 0.3 y 0.5 %. Se realizaron seis aplicaciones precosecha a partir del 4 de mayo del 2001, la cosecha se realizó en enero ('Fuerte') y febrero ('Hass') del 2002, una vez cosechados los frutos se almacenaron a temperatura ambiente y a 5 °C por cinco semanas, realizando evaluaciones a las 0, 3, y 5 semanas. Se utilizó un diseño completamente al azar. Los resultados obtenidos indicaron que existió un incremento en el contenido de calcio en cáscara y pulpa en los frutos de aguacate 'Hass' y 'Fuerte' tratados con nitrato de calcio. Las aplicaciones precosecha de nitrato de calcio al 0.3 y 0.5 % mejoraron la firmeza, redujeron la pérdida de peso y la permeabilidad en cáscara y pulpa de los frutos de ambos cultivares siendo diferentes al testigo, así también disminuyó la producción de CO_2 , etileno y daño por frío. Los frutos de aguacate 'Fuerte' y 'Hass' al ser almacenados cinco semanas en refrigeración a 5 °C, presentaron mayores desórdenes fisiológicos en comparación con los frutos almacenados por tres semanas presentándose en mayor porcentaje en los frutos que no fueron tratados con calcio.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, poscosecha, refrigeración, calidad.

**CALCIUM NITRATE FOLIAR SPRAYS IN RIPENING AND CHILLING
INJURY OF ‘HASS’ AND ‘FUERTE’ AVOCADO**

SUMMARY

‘Hass’ and ‘Fuerte’ avocado trees were sprayed with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ at 0, 0.3 and 0.5 %. Six preharvest applications were carried out since May 4, 2001. Harvest was carried out in January (‘Fuerte’) and February (‘Hass’) 2002, after harvest fruits were stored at room temperature and 5 °C for five weeks, evaluations were done at 0, 3 and 5 weeks. A randomized design was used. Results showed that there was an increase in skin and flesh calcium content of ‘Hass’ and ‘Fuerte’ avocado fruits treated with calcium nitrate. The preharvest application of calcium nitrate at 0.3 and 0.5 % improved firmness, reduced weight loss and skin and pulp permeability in both cultivars being different to the control, CO_2 production, ethylene and chilling injury also decreased. ‘Fuerte’ and ‘Hass’ avocado fruits stored for five weeks at 5 °C showed greater physiological disorders compared to fruits stored for three weeks and were higher in fruits with calcium treatment.

Key words: *Persea americana* Mill., $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, postharvest, refrigeration, quality.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el aguacate ha estado adquiriendo importancia en el mercado internacional, incrementándose cada día más las exportaciones de este fruto, registrando un crecimiento medio anual de 13 %, comercializándose en 1998, 67 mil toneladas sin embargo, la exportación implica una serie de problemas poscosecha, debido a que este tiene una vida de anaquel limitada; por lo que para exportarlo es necesario prolongar el periodo de almacenamiento mediante el uso de técnicas como la refrigeración, siendo de vital importancia determinar las condiciones de almacenamiento refrigerado que no causen daño por frío así como la conservación de sus cualidades como fruta fresca, por periodos prolongados. Por otra parte, las condiciones precosecha en que se desarrollan los frutos tienen gran importancia, ya que se verán reflejadas en su comportamiento poscosecha y aún más bajo refrigeración (Solís-Fraire *et al.*, 1998).

La principal limitante para la aplicación de las temperaturas de refrigeración lo constituye la aparición de daños por frío "chilling injury" desorden fisiológico que afecta inicialmente la integridad y funcionamiento de las membranas celulares e intracelulares, dando un cambio de estado físico de los ácidos grasos presentes en esta, de líquido cristalino a gel sólido demeritando la calidad del producto. En el caso de los frutos de aguacate, al igual que otros frutos tropicales y subtropicales, la relación tiempo de exposición-temperatura, esta asociada a la incidencia de daños por frío ya que algunos cultivares presentan mayor sensibilidad que otros, de ahí que las condiciones de almacenamiento recomendadas sean muy diferentes, aspecto que además se ve

influenciado por factores como: grado de madurez, estado nutricional y condiciones agroclimatológicas de desarrollo (Saucedo 1991).

Se ha señalado que los efectos de los daños por frío en frutos de aguacate como producto de un periodo prolongado de almacenamiento son a nivel de membrana, los cuales provocan su ruptura y además un desorden celular que se manifiesta en una pérdida de textura del fruto y en reacciones de oscurecimiento (Witney *et al.*, 1990), entre las alternativas con que se cuenta para resolver la anterior problemática se encuentra la influencia del calcio al mantener la integridad de la membrana celular, la estructura y función de la pared celular Ferguson (1984), lo que repercute en una menor velocidad de respiración, producción de etileno y velocidad de ablandamiento de los frutos. Shear (1975) mencionó que desórdenes como el daño por frío se ven considerablemente reducidos en productos con alto contenido de calcio. De ahí que diversos estudios se han realizado aplicando $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ o CaCl_2 en precosecha o postcosecha sobre especies frutícolas y hortícolas con resultados satisfactorios para controlar desórdenes fisiológicos. Es por ello que en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos.

1.1 Objetivos:

Evaluar el efecto de aplicaciones precosecha de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la calidad y fisiología postcosecha de aguacate 'Hass' y 'Fuerte' a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Evaluar los efectos de la aplicación de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en la actividad de la polifenoloxidasas, así como en las variables físicas, bioquímicas y fisiológicas en frutos de aguacate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Poscosecha de aguacate

En el término poscosecha quedan implicadas todas las actividades que se realizan para el traslado de los productos del campo al consumidor. Las pérdidas poscosecha tienen importantes implicaciones económicas, pues se trata de alimentos que ya vienen gravados con costos de producción y cosecha, pero además, dependiendo del sitio a donde sean enviados, los costos adicionales de acondicionamiento, transportación, almacenamiento y distribución (Pelayo, 1992).

La variabilidad en la calidad de almacenaje de los productos frescos presenta problemas económicos serios para el productor, distribuidor y detallista. Parte de esta variabilidad se puede resolver con el uso de técnicas de almacenamiento apropiadas, pero aun así, con frecuencia resultan evidentes las variaciones en el potencial de almacenamiento en un determinado producto cuando este proviene de diferentes lugares y se almacena todo junto en un mismo lugar o cámara de almacenamiento (Corrales 1990).

El manejo postcosecha puede afectar transformaciones metabólicas de compuestos químicos ya presentes; el buen sabor y gusto por las frutas y hortalizas, están estrechamente relacionados con la cantidad y tipo de constitución química, así como la naturaleza física del producto en el momento de la cosecha (Wills *et al.*, 1984).

En aguacate, el estado de maduración al cosechar es crítico. La madurez óptima para su recolección depende en gran parte del tiempo que se piense almacenarlos. Se debe evitar la recolección de frutos demasiado verdes, ya que tienden a ser de calidad inferior en textura y sabor en la maduración (Solares, 1981). Este mismo autor menciona que el momento óptimo de cosechar aguacates es cuando tienen su máximo contenido de aceite, momento en el que se encuentran en madurez fisiológica. El tiempo que se tarda en adquirir la madurez de consumo debe alargarse al máximo mediante conservación refrigerada, de tal forma que los frutos lleguen a los mercados detallistas conservando la pulpa aún consistente.

Con frecuencia la calidad del aguacate disminuye en el largo proceso de empaque y comercialización, sin lograr llegar a condiciones óptimas a su destino, sobre todo a mercados distantes y exigentes. Los daños mecánicos: golpes, rayones, rozaduras y hasta lesiones causadas por las uñas son defectos originados por el mal manejo de cosecha y empaque, y se perciben solamente en el mercado, puesto que son difíciles de identificar en el empaque (Valencia *et al.*, 2000).

2.2. Almacenamiento en frío

La refrigeración constituye actualmente el principal método empleado para la conservación y transporte de productos hortofrutícolas en estado fresco. Generalmente se realiza bajo atmósfera normal (refrigeración simple) o en atmósferas bajas en O₂ y ricas en CO₂ (refrigeración en atmósferas controladas). Se ha establecido que la conservación frigorífica bien llevada a cabo, permite controlar los procesos de

maduración y/o conservación con el consecuente aumento de la vida útil del producto y preservación de su calidad. Las pérdidas de peso y daños por marchitamiento debidos a la transpiración, resultan menores conforme disminuye la temperatura y aumenta la humedad relativa del aire circundante; asimismo se controlan las reacciones bioquímicas y respuestas fisiológicas inherentes a la respiración, biosíntesis y acción de etileno, y cambios en constituyentes químicos. Por otro lado, la germinación de esporas y desarrollo de micelios de los microorganismos responsables de podredumbres, resultan menores conforme es más baja la temperatura (Saucedo, 1991).

El empleo de temperaturas de acondicionamiento es una técnica que puede aplicarse durante el transporte refrigerado a largas distancias con un simple control de temperaturas, sin embargo una desventaja es que favorece el ablandamiento de los frutos, así como una pérdida de peso y un aumento en el índice de textura, principalmente después de 6 semanas de almacenamiento (Chávez *et al.*, 1991).

Otra técnica que ayuda a reducir los daños por frío, es el uso de temperaturas de preacondicionamiento que consiste en la aplicación de temperaturas elevadas (15 a 40 °C) por ciertos periodos de tiempo a los productos antes de su conservación a bajas temperaturas con lo que se logra un ligero estrés de agua en la cáscara; el cual esta relacionado con el mecanismo de resistencia a los daños por frío (Saucedo, 1992).

Algunos estudios de almacenamiento a temperaturas mínimas para aguacate indican que las temperaturas de almacenamiento óptimo varían de acuerdo a los cultivares. Algunos son intolerantes al frío, requiriendo altas temperaturas de almacenamiento

arriba de 12.8 °C otros son tolerantes al frío, y pueden ser almacenados a temperaturas bajas como 4.5 °C (Young *et al.*, 1962).

Wang (1990) mencionó que para el caso de aguacate las temperaturas cardinales son: punto de congelamiento (-5 °C), máxima temperatura (30 a 33 °C); la mínima (0 a 2 °C) para los cultivares mas tolerantes, sin embargo para los mas afectados por bajas temperaturas en su conservación es posible usar 4 a 15 °C.

Chávez *et al.* (1991) mencionan que la refrigeración de aguacate 'Hass' puede realizarse sólo por dos semanas a 2 °C con un tiempo de comercialización de 7 días y que la prolongación del tiempo de almacenamiento hasta por cuatro semanas favorece la incidencia de daños en un 10 %. Zauberman *et al.* (1977) mencionaron que a 0 °C se logra el almacenamiento por una semana, a 2 °C por dos semanas y a 4 °C de dos a cuatro semanas, dependiendo del cultivar, siendo mas tolerantes a bajas temperaturas 'Naball' y 'Hass' y el mas susceptible 'Fuerte'.

Vakis (1982) estudió el comportamiento de tres cultivares de aguacate 'Ettinger', 'Hass' y 'Fuerte', durante su almacenamiento refrigerado a 2.2, 4.4, 6.6 y 8.8 °C por 0, 1, 2, 3, 4 y 5 semanas. Encontró que el cv. Ettinger puede almacenarse por una semana a 4.4, 6.6 y 8.8 °C, sin presentar síntomas de daño por frío, el cv. Fuerte puede almacenarse por tres semanas a 4.4 °C y el cv. Hass por tres semanas a 2.2 °C o 4.4 °C sin que presenten severos daños por frío.

2.3. Desórdenes fisiológicos

Las pérdidas en poscosecha se deben fundamentalmente a enfermedades causadas por hongos, deterioro fisiológico (el cual incluye problemas de sobremadurez, frutos anormalmente blandos, decoloraciones externas y/o internas entre otros), daños mecánicos, y físicos (heridas, picaduras y golpes de diferentes tipos). Las alteraciones fisiológicas en poscosecha pueden tener su origen antes de la cosecha, inclusive en condiciones de desarrollo y manifestarse durante la cosecha, o en alguna etapa del manejo poscosecha (Colinas, 1992).

Durante el manejo de los frutos en poscosecha, almacenamiento y transporte se presentan diferentes desórdenes de tipo patológico y mecánico; la confusión en el reconocimiento del origen de síntomas en frutos de aguacate a partir de su cosecha, ha causado infinitos problemas en su industrialización y comercialización. Según Swarts (1984), los desórdenes que se pueden presentar en aguacate están clasificados en patológicos, fisiológicos y mecánicos según su origen:

Cuadro 1. Clasificación de desórdenes fisiológicos que se pueden manifestar en aguacate (Swarts, 1984).

A. Patológicos	B. Fisiológicos	C. Mecánicos
Daño externo por hongos	Daño por frío (en almacenamiento)	Daño mecánico
<i>Colletotrichum</i> spp.	Daño por helada (en el huerto)	Rozamiento
<i>Dothiorella</i> spp.	Decoloración vascular	Magulladuras
Pudrición del pedúnculo	Mancha café	Daño de lenticelas
<i>Colletotrichum</i> spp.	Pulpa gris	
<i>Dothiorella</i> spp.	Oscurecimiento o mancha de la pulpa	
<i>PhomaPsiss</i> spp.	Decoloración del mesocarpio	
<i>LasiodiPlodia</i> spp.	Mancha café	
<i>Thyronectrina</i> spp.	Oscurecimiento	
<i>Rhizopus</i> spp.		

2.4. Daño por frío

La principal limitante para la aplicación de las temperaturas de refrigeración lo constituye la aparición de daños por frío, los cuales constituyen un desorden fisiológico que afecta inicialmente la integridad y funcionamiento de las membranas celulares dando un cambio de estado físico de los ácidos grasos presentes en ésta, de líquido cristalino a gel sólido; esta primera respuesta conduce a una serie de alteraciones en el metabolismo del producto los cuales finalmente se manifiestan por varios síntomas externos que alteran la calidad del producto. La respuesta a la incidencia de daños por frío depende de diversos factores entre los que se incluyen: temperatura y tiempo de almacenamiento, especie y cultivar, grado de madurez, estado nutricional y condiciones agroclimatológicas de desarrollo, cabe señalar que estos daños pueden ocurrir en

cualquier punto de la cadena poscosecha en los que el producto se exponga a bajas temperaturas, además de que los síntomas pueden no ocurrir durante el periodo de exposición a frío, como es el caso del aguacate, en el cual los síntomas se hacen evidentes al transferir el producto a la temperatura de maduración (20 °C) o comercialización (Saucedo, 1991).

Según Morris (1982), algunos de los síntomas de daño por frío comúnmente reconocidos son los siguientes:

Cambios celulares: Estos incluyen cambios en la estructura de la membrana y su composición, plasmólisis de las células.

Metabolismo alterado: Incremento anormal de la producción de bióxido de carbono y etileno que ocurre algunas veces durante el enfriamiento. En los tejidos se ha encontrado incremento de niveles de los productos derivados de la respiración anaeróbica y otros metabolitos anormales.

Reducción del crecimiento de las plantas y muerte: con frecuencia se impide el crecimiento de las plantas y en algunos casos mueren por temperaturas bajas. Se desarrollan áreas necróticas después del enfriamiento.

Lesiones superficiales: estas incluyen hendiduras y decoloración de la superficie.

Decoloración interna: La pulpa, haces vasculares y semillas con frecuencia se tornan de color oscuro.

Susceptibilidad a la pudrición: de los diferentes cambios que ocurren se favorece el crecimiento de patógenos.

Fallas en la maduración normal: existe un bajo desarrollo de las características de sabor, aroma. Ejemplos de estas fallas se presentan en bananos y tomates. Además se puede presentar una baja relación azúcar/almidón, alta acidez y bajo pH, disminución de la biosíntesis de carotenoides, baja degradación de la clorofila, alta relación de sustancias pécticas insolubles/sustancias pécticas solubles.

Existen manifestaciones metabólicas y físicas de los daños por frío en aguacate. Las primeras consisten en una disminución del movimiento protoplasmático con lo que se disminuye la relación fósforo/oxígeno, y la fosforilación oxidativa, disminuyendo a su vez la disponibilidad de energía y generando caos metabólico total. Otra manifestación metabólica son los cambios de permeabilidad de membranas, en productos tropicales y subtropicales como el aguacate, ya que en éstos, abundan los ácidos grasos insaturados a nivel de membranas, los cuales cambian de fase al bajar la temperatura solidificándose parcialmente, lo que hace cambiar la permeabilidad o generar la ruptura de las membranas (Corrales y Lakshminarayana 1989, citado por Corrales, 1990).

En el caso de los frutos de aguacate se ha establecido que las relaciones tiempo-temperatura están fuertemente asociadas con la incidencia de daños por frío y algunos

cultivares presentan mayor sensibilidad que otros, de ahí que las condiciones de almacenamiento recomendables sean muy diferentes, aspecto que además se ve influenciado por los factores antes mencionados, y por condiciones de ventilación restringida durante el periodo de conservación y/o transporte refrigerado. La manifestación de los daños por frío en estos frutos está caracterizada por: anomalías en la maduración, reducción de la producción de etileno, tendencias atípicas del patrón de respiración, desarrollo de aromas y sabores desagradables, pardeamiento de la pulpa y manchado de la piel y haces vasculares. Respecto al manchado de tejidos se han establecido los siguientes patrones: oscurecimientos de haces vasculares “vascular blackening”, ennegrecimiento de la pulpa “pulp spot” y pardeamiento interno “internal browning” y manchado superficial “skin decoloration”, “pitting” and “cold damage” (Saucedo, 1991).

El síntoma más característico de daños por frío en aguacate es la presencia de la decoloración que se desarrolla en los haces vasculares y cuando es muy severa se prolonga hasta la pulpa como una mancha de color grisáceo detectada por un gran número de investigadores. La extensión de la mancha puede variar desde manchas poco aparentes hasta un manchado total de la pulpa dependiendo del grado de severidad del daño. En los niveles de severidad no es necesario que todo el tejido vascular oscurezca. La decoloración del mesocarpio puede ser un serio factor limitante en el mercado de los frutos de aguacate, acompañada por fallas en la maduración y problemas de deterioro microbiano (Zauberman *et al.*, 1973). Estos mismos autores mencionan que en los casos severos comúnmente ocurre: maduración heterogénea, desarrollo de sabores y olores desagradables, picaduras y pardeamiento semejante a quemaduras u oscurecimiento en

la cáscara, así mismo se facilita el desarrollo de podredumbres. Algunas veces los frutos parecen estar bien en el almacenamiento, pero muestran daño por frío cuando son transferidos a temperaturas de maduración. En frutos de aguacate cv. Ettinger los daños se manifiestan por un amarillamiento de la cáscara y en un estado más avanzado por un pardeamiento de la misma desde el ápice en dirección al extremo peduncular, mientras que para los cultivares Fuerte y Nabal los daños aparecen como hendiduras en el mesocarpio y manchas pardas oscuras en la cáscara.

El daño por frío en aguacate 'Hass' almacenado en refrigeración, se manifiesta en el mesocarpio y consiste en el oscurecimiento alrededor de los haces vasculares, desarrollo de sabores y aromas desagradables, incapacidad para madurar y mayor susceptibilidad a pudriciones (Bastida *et al.*, 1987). La susceptibilidad al daño por frío varía considerablemente, siendo menor en la zona peduncular que en la distal. En contraste, al mayor contenido de calcio se ha encontrado en la zona peduncular y el menor en la parte distal del fruto comprobando con esto que el calcio juega un papel importante en la disminución de la susceptibilidad a los daños por frío.

2.5. Permeabilidad de membranas

A nivel celular se piensa que el etileno aumenta la permeabilidad de las membranas de la célula así como la de las membranas de organelos subcelulares, haciendo más accesible el sustrato a las enzimas correspondientes. El etileno se disuelve con facilidad en lípidos (Pantastico, 1979). La permeabilidad puede estar asociada por la cantidad de solutos, incluyendo iones, aminoácidos, azúcares, pigmentos y carbohidratos.

Se ha propuesto que después de exposiciones prolongadas de especies sensibles a ciertas temperaturas, el efecto primario pueda dar lugar a la desintegración de la membrana, salida de solutos, pérdida de compartimentalización, decremento en la velocidad de la actividad oxidativa de la mitocondria, incremento de la energía de activación de las enzimas asociadas a membrana, disminución del movimiento protoplasmático, reducción en el acceso a la energía y su utilización, decremento en la velocidad de fotosíntesis, desorganización de la estructura celular y subcelular, disfunción y pérdida del balance del metabolismo, acumulación de sustancias tóxicas y manifestación de los síntomas del daño por frío (Lyons, 1972). De acuerdo con el mismo autor el incremento en la permeabilidad de la membrana acompañada por una transición de la fase lipídica puede atribuirse a varios factores: a) un decremento en el grosor de la membrana, b) cambios en la estructura de la cadena hidrocarbonada importante en la difusión a través de la membrana o c) cambios en la polaridad de componentes importantes para la entrada de compuestos permeables al interior de la membrana como consecuencia de una solidificación de los lípidos por la baja temperatura.

Martínez y Saucedo (1990) mencionan que al haber una temperatura de estrés se provoca un cambio en lípidos (ácidos grasos insaturados) de una fase semi-líquida a una semi-sólida, lo que origina cambios en la permeabilidad de la membrana a tal grado que en ocasiones se rompe; esto conduce a una salida de iones dentro de la célula lo cual ocasiona un cambio en el balance de los mismos. Esta salida de iones puede medirse por medio de la conductividad eléctrica. Estos mismos autores reportan que al aplicar $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 15 y 30 días antes de la cosecha al 0.5 % en aguacate 'Hass', tanto en ambiente como en refrigeración (3 °C durante 2, 4 y 6 semanas), se presentó una menor

salida de electrolitos en el exocarpio y mesocarpio de aguacate, con respecto al testigo, encontrando valores de 16.34 de pérdida de electrolitos hasta 31.01 % para el caso del exocarpio y de 22.82 a 39.73 % para el caso del mesocarpio.

Por otra parte Zamora (1997) encontró valores de permeabilidad de membrana para el cultivar Hass en diferentes etapas del empacado desde 5.84 % en la fase de cortadores (7 días después de la cosecha), hasta 26.59 % en la fase de tolva (5 días después de la cosecha) para el caso del exocarpio de aguacate, y de 14.87 % en la fase de tolva (5 días después de la cosecha), hasta 24.59 % en la fase camión (11 días después de la cosecha) para el mesocarpio de aguacate. Aunque no existieron diferencias en la permeabilidad desde el punto de vista estadístico.

2.6. Respiración y etileno en la maduración

Los frutos de aguacate tienden a continuar con su crecimiento mientras están adheridos al árbol y las diferencias en tamaño entre cultivares se determina más por división celular que por alargamiento celular. El patrón respiratorio del aguacate es similar en todas las etapas de su desarrollo; sin embargo el máximo climatérico aparece tempranamente. Un rasgo importante del patrón climatérico de respiración en todas los cultivares de aguacate es la caída seguida de la respiración después del corte y la rápida elevación del pico; este periodo va de 7 a 13 días en diferentes cultivares (Vakis, 1982).

Los frutos de aguacate son climatéricos por exhibir un incremento en la producción de CO₂. La respiración se divide en tres estados: el mínimo corresponde al preclimatérico; seguido del máximo climatérico; y del estado postclimatérico, caracterizado por una

disminución en la respiración. Para que se presente la maduración del fruto debe desprenderse del árbol, ya que existe un inhibidor natural de la maduración del aguacate, que puede continuar sus efectos después de las subsecuentes 24 horas de haberse cosechado (Kader, 1986).

Datos sobre el comportamiento de diferentes cultivares de aguacate ('Fuerte', 'Hass' y 'Nabal') indican la existencia de una tendencia generalizada del patrón respiratorio, es decir, un descenso de éste inmediatamente después de la cosecha, prosiguiendo una elevación al final del preclimaterio y siendo el valor del pico climatérico muy similar para los tres cultivares. La diferencia entre ellos lo marcó el periodo de tiempo requerido para llegar al pico climatérico, partiendo del tiempo de cosecha. Para el cv. Fuerte este fue alcanzado en 7 días, para 'Hass' en 13 días y para 'Nabal' en 15 días. Esta diferencia en tiempo no constituye una característica inherente a cada cultivar, ya que dentro del mismo cultivar se presentan intervalos de tiempo para madurar a medida que el fruto es cosechado con diferentes estados de madurez (Biale y Young, 1971).

Cajuste (1992) reportó picos máximos de respiración para el cultivar Hass, a los 7, 8 y 9 días de cosechados los frutos y colocados a temperatura ambiente, con valores promedio de 137, 114 y 147 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ de CO_2 , también menciona haber encontrado diferencias en los máximos picos climatéricos en función de la época de corte. Sin embargo, Meza y Robles (1996) al madurar frutos de aguacate 'Hass' a temperatura ambiente, obtuvieron registros de 49 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ de CO_2 en la fase preclimatérica elevándose hasta 120 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ de CO_2 al sexto día de evaluación. Para el caso de

etileno Zamora (1997) encontró valores de producción de etileno para el cv. Hass en diferentes etapas de la cadena de empaque de 40 a 186 $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ de C_2H_4 .

2.7. Enzimas presentes en el fruto de aguacate

Una de las primeras manifestaciones asociadas con la maduración del fruto de aguacate es el ablandamiento de éste. En dicho proceso, la serie de cambios bioquímicos y reacciones enzimáticas dan al fruto la textura cremosa característica. Estudios realizados con enzimas que participan dentro del proceso de maduración (cambio en firmeza) señalan como una de las principales a la poligalacturonasa (Bower y Cutting, 1988; Ferguson, 1984). Incrementos en la actividad de celulasa están correlacionados con incrementos en la respiración y en el ablandamiento de la fruta, esto último continúa en la fase de posclimaterio (Awad y Young 1979). A medida que el fruto va madurando (ablandando) la actividad de la enzima poligalacturonasa se va incrementando; siendo en un principio esta actividad mayor en la parte distal del fruto. En el caso de frutos inmaduros, la actividad de esta enzima puede verse afectada por la presencia de ciertos inhibidores (Biale y Young, 1971). La poligalacturonasa actúa principalmente sobre las moléculas de pectinas y es principalmente responsable de pérdidas de galactosa y arabinosa de la pared celular. La actividad de la poligalacturonasa incrementa subsecuentemente la producción de etileno (Ferguson, 1984).

Awad y Young (1979) indicaron que en aguacate la actividad de la pectinmetilesterasa es alta durante los primeros 5 días del periodo del preclimaterio, mientras que bajos

niveles de la enzima se observaron durante el principal periodo de maduración, por lo cual los cambios en la actividad de la enzima no están directamente relacionados con el ablandamiento de los frutos, sin embargo es un requisito para que actúe la poligalacturonasa.

El tejido de la fruta fresca se torna café cuando se golpea, corta o es dañada de otra manera, durante el manejo de cosecha y poscosecha. El oscurecimiento demerita la apariencia de la fruta en los mercados, la extensión de la decoloración depende no solamente de la severidad del golpe sino también del potencial de oscurecimiento de la fruta (Kader y Chordas, 1984). El potencial de oscurecimiento depende de la cantidad total de compuestos fenólicos y de los niveles de actividad de la polifenoloxidasas (PPO) EC 1.14.181, enzima que cataliza el oscurecimiento enzimático (Kader y Chordas, 1984; Bower *et al.*, 1990). El oscurecimiento de la fruta de aguacate consiste en dos fases, en la primera los monofenoles son convertidos a difenoles por medio de la hidrólisis de enzimas y después a ortoquinonas por medio de enzimas oxidasas. Durante la segunda fase, toma lugar la polimerización espontánea durante la cual se forma la melanina la cual es responsable del color oscuro (Kruger *et al.*, 1999).

El papel del calcio en mantener frutos de aguacate de buena calidad particularmente después de un periodo de refrigeración es debido a que mantiene una separación entre la enzima polifenoloxidasas y el sustrato fenolico localizado en la vacuola (Bangerth, 1979; Bower y Cutting, 1988).

2.8. Papel del calcio en postcosecha

Durante la última década se han venido realizando una serie de estudios en los que se ha puesto de manifiesto la influencia del calcio (Ca) en el control de la maduración de diversos frutos (Ferguson, 1984), así mismo se ha establecido una estrecha correlación entre el contenido de Ca y la sensibilidad a diversos desórdenes fisiológicos y patológicos como mancha amarga en manzana, corazón negro en apio, pudrición del extremo floral en sandía, rajaduras en tomate, mancha corchosa de la pera, ablandamiento peduncular de aguacate, rajaduras de crecimiento en cerezo, ablandamiento terminal en mango, los cuales se ven considerablemente reducidos con niveles adecuados de Ca (Shear, 1975).

El calcio es uno de los elementos indispensables para mantener la integridad y estabilidad de la pared y membrana celular (Poovaiah, 1988). Por otra parte, se ha encontrado que una deficiencia de este elemento causa algunos desórdenes postcosecha de aguacate (Swarts, 1984). Sin embargo, el calcio es uno de los nutrimentos de baja movilidad en los tejidos vegetales, siendo necesario desarrollar métodos para incrementar su penetración en las hojas y su posterior traslocación hacia el fruto, sin que las aspersiones foliares causen daños al follaje (Ginsberg, 1985).

Además de la acción preventiva de la acción del Ca sobre la ocurrencia de desórdenes específicos de senescencia en las frutas, hay evidencias de efectos en retardar la maduración de fruta. Esto se manifiesta en la baja respiración y producción de etileno, ablandamiento de la fruta y cambios de color. El ablandamiento del tejido de la fruta es

el principal componente de maduración, ocurrido en la mayoría de las frutas seguido de otros cambios climatéricos, como pérdidas de galactosa y arabinosa de la pared celular e incrementos de las pectinas solubles. Estos cambios están correlacionados con la progresiva disolución de la lamina media, así los principales cambios estructurales asociados con el ablandamiento son probablemente los concernientes con la pérdida de la pared, pérdida de la cohesión de las células, además de la degradación de la pared (Ferguson, 1984). Los iones de calcio forman puentes entre las moléculas de pectina en la lamina media siendo responsables de la cohesión de las células, por lo cual el ablandamiento puede ser resultado de la pérdida de calcio de la lamina media y/o pérdida de los sitios de unión en las moléculas de pectina (Stow, 1993)

Una de las funciones del calcio radica en la estructura y función de las paredes celulares. Hay tres tipos de evidencias acerca de la participación del calcio en las membranas. Primero, que bajo condiciones de deficiencia del calcio en las membranas, hay un profundo deterioro de las mismas, como se ha visto, gracias al microscopio electrónico. Segundo, hay evidencias de que el calcio altera la arquitectura de la membrana y de que su introducción en membranas artificiales, hechas de fosfolípidos, resulta en un enorme decremento de su permeabilidad al agua, y tercero, el calcio también puede alterar la absorción activa de algunos iones a través de las membranas (Poovaiah, 1979). Este mismo autor señaló que la senescencia puede ser una consecuencia del deterioro de las paredes celulares y de los organelos que contienen membranas y que el calcio como las citocininas pueden inducir el retraso de la senescencia, se ha señalado además que cada uno de los cambios asociados con el envejecimiento (cambios de pigmentación, decremento de proteínas, incremento en la

permeabilidad y un incremento en la actividad de enzimas de la pared celular), se retardan por el calcio interpretándose que los efectos fueron consecuencia de la función del calcio en el mantenimiento de la estructura celular y de la integridad de las membranas. Se han efectuado aplicaciones precosecha de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a $0.5 \text{ ml}\cdot\text{litro}^{-1}$ en aguacate 'Hass' que han demostrado que el calcio ejerce algún efecto sobre los desórdenes fisiológicos en condiciones ambientales y en refrigeración hasta por seis semanas, (Martínez y Saucedo, 1990).

Se ha reportado que aplicaciones de $10 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de nitrato de calcio incrementan la firmeza, disminuyeron las pérdidas de peso y los daños por frío de los frutos de 'Fuerte' almacenados a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 27 días siendo estadísticamente superior a los tratamientos con $30 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de nitrato de calcio, caldo bordelés y testigos (López y Cajuste, 1996). De igual manera Solís-Fraire *et al.* (1998) reportaron que con seis aspersiones foliares de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ al 1, 2 y 3 %, incrementaron los niveles de K, Ca, Mg, Fe, Zn y Mn en hoja y fruto de aguacate 'Hass'.

Escutia (1990), aplicó diferentes concentraciones de cloruro de calcio, tiempos de inmersión y días de almacenamiento refrigerado a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, en aguacate 'Fuerte', encontrando que los tratamientos que no se trataron con calcio presentaron una mayor incidencia de daños por frío y que el almacenamiento por mas de 20 días aumentó la posibilidad de daños por frío, resultando mejor el tratamiento con 3 % de cloruro de calcio durante 30 minutos de inmersión.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material Vegetal

Los frutos utilizados para esta investigación fueron de los cvs. Hass y Fuerte, provenientes de árboles tratados con diferentes concentraciones de nitrato de calcio. Estos frutos fueron obtenidos de una huerta ubicada en Coatepec Harinas, edo. de México perteneciente a la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. La cual se localiza entre las coordenadas 99° 46' 38" de latitud oeste y 18° 46' 38" latitud norte; tiene una altitud de 2,240 m, el clima es C(w)w; templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 16 °C; precipitación media de 1100 mm anuales, siendo en su mayoría entre junio y octubre, y la menor precipitación entre los meses de febrero y marzo. El suelo es Andosol de textura franco, ligeramente ácido, con alto contenido de materia orgánica (Solís-Fraire *et al.*, 1998).

3.2. Tratamientos en campo

Se realizaron aplicaciones foliares de nitrato de calcio en concentraciones de 0, 0.3, y 0.5 % adicionándoles un adherente Atlox (0.5 ml·litro⁻¹). Las aspersiones fueron a punto de goteo con una aspersora de alta presión, utilizando 5 litros por árbol. Las aplicaciones se iniciaron el 4 de mayo 2001, cuando el fruto presentaba un tamaño de 2 a 3 cm, realizando éstas cada seis semanas hasta el mes de diciembre (seis aplicaciones).

3.3. Cosecha

El 28 de enero del 2002 se realizó la cosecha de 'Fuerte' y 22 de febrero de 'Hass' los frutos se cosecharon en madurez fisiológica. La cosecha se realizó con tijera dejando solamente 0.5 cm del pedicelo-pedúnculo, posteriormente los frutos fueron trasladados al Departamento de Fitotecnia al Laboratorio de Fisiología de Frutales de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.4. Tratamientos en laboratorio

Los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente y a 5 °C por 5 semanas. Los frutos almacenados a temperatura ambiente fueron evaluados a los 0, 3, 6 y 9 días. Para el caso de los frutos almacenados en refrigeración (5 °C), se realizaron evaluaciones a las 0, 3 y 5 semanas para lo cual se utilizaron 50 frutos por fecha de evaluación de cada tratamiento. Después de cada periodo de conservación (5 °C) los frutos se expusieron a temperatura ambiente (22 °C) para evaluar el proceso de maduración a los 0, 2, 4 y 6 días. Se utilizaron 250 frutos por tratamiento.

3.5. Diseño experimental

El diseño experimental en campo fue completamente al azar con seis repeticiones, siendo un árbol la unidad experimental. En el laboratorio se utilizó un diseño experimental completamente al azar, realizando un análisis por separado para los frutos a temperatura ambiente y otro para los de refrigeración por tres y cinco semanas.

3.6. Diseño estadístico

Se utilizó un análisis de varianza y se realizó también una comparación de medias mediante la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. Se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistic Analysis System).

3.7. Variables evaluadas

3.7.1. Días a maduración

Para determinar el patrón de maduración se usó una escala subjetiva, la cual consistió en la evaluación de cambios en firmeza al tacto, para lo cual se catalogaron los frutos en tres categorías; frutos de textura dura, frutos cambiantes y frutos suaves (al alcanzar la madurez de consumo). Se estimaron diez frutos por día de evaluación para cada tratamiento, representando un fruto la unidad experimental. Las evaluaciones se realizaron diariamente. Los valores finales se presentaron como el promedio ponderado de días requeridos para la obtención de la madurez de consumo.

3.7.2. Firmeza de la pulpa

Para evaluar esta variable se utilizó un penetrómetro digital Compact Gauge (Cole Palmer) montado en una prensa manual, con punta en forma de cono altura 0.6 mm y base de 0.7 mm, la medición consistió en registrar la fuerza ejercida en newtons (N)

durante la penetración del puntal en el fruto. La medición se hizo en la parte ecuatorial, eliminando parte de la cáscara del fruto. Se evaluó en nueve frutos de cada tratamiento, cada fruto representó una repetición.

3.7.3. Pérdida fisiológica de peso

En un lote de 10 frutos de cada tratamiento se obtuvo esta variable con base al peso de los frutos de manera individual, mediante una balanza, registrándose el peso desde el momento de llegada hasta el momento de maduración del fruto. El porcentaje de pérdida de peso se cuantificó en función de la diferencia del peso inicial y aquellas registradas al final de la evaluación, quedando expresado como porcentaje con relación al valor inicial.

3.7.4. Color

Se midió el color en la epidermis del fruto por medio del colorímetro ColorTec-PCM modelo D25-PC2 (Cole Palmer), el cual generó lecturas de color conforme a las escalas Hunter Lab dando tres variables; L, a, b, cuyo principio se basa en la medición de longitudes de onda reflejadas por dos haces de color opuesto. El haz de luz reflejado por la muestra es captado por un sensor que es capaz de detectar la longitud de onda, intensidad y opacidad. Con base en estas dimensiones se determinó el tinte (Hue o ángulo de tono) y la pureza del color o croma.

A los frutos se les marco un circulo en la parte ecuatorial del exocarpio, con la finalidad de que las lecturas siempre fueran tomadas en el mismo sitio. Su cuantificación se

realizó al salir los frutos de cada tratamiento hasta su maduración. Se evaluó en diez frutos de cada tratamiento, cada fruto representó una repetición.

Los datos se expresaron en valores de L, Cromo y Hue (McGuire, 1992).

Donde luminosidad: es la capacidad de reflejar la luz a partir del valor L dado por el colorímetro. El valor de Cromo es de 0 en el centro e incrementa acorde con la distancia del centro, se obtuvo con la fórmula $c = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Ángulo de tono o Hue: se expresó en grados, mediante el cual el color puede ser rojo, amarillo, verde o azul. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula: $\text{Hue} = \tan^{-1}(b/a)$.

3.7.5. Permeabilidad de las membranas

Esta variable se determinó cortando discos de tejido del mesocarpio y exocarpio, obtenidos mediante un sacabocado, enseguida se depositó cada tipo de tejido, por separado, en 30 ml de agua destilada, se tomaron lecturas de conductividad inicial y después de tres horas. Posteriormente se expusieron a baño María durante 10 minutos, se dejó enfriar y se midió nuevamente la conductividad (Zamora, 1997).

El índice de la permeabilidad de la membrana se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$(\text{CM}/\text{CMC})100;$$

Donde CM = conductividad de la muestra antes de calentar, CMC = conductividad de la muestra después de calentar.

Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento, para cada repetición se utilizaron muestras de tres frutos. los valores finales de permeabilidad se expresaron en porcentaje.

3.7.6. Actividad de la polifenoloxidasas

La actividad de esta enzima se cuantificó mediante la metodología propuesta por Lamikara (1995), como a continuación se indica:

a) Extracción: 1 g de muestra congelada a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ se colocó en un mortero congelado, en el cual se molió la muestra, posteriormente se agregaron 5 ml de buffer Tris-HCl 125 mM a pH 7.0 con 1 % (p:v) de polivinil pirrolidona (PVP).

b) El extracto se centrifugó a $10,000 \times g$ por 10 minutos, se filtró y se realizó una segunda centrifugación por 10 minutos, el sobrenadante se utilizó para determinar la actividad de polifenoloxidasas.

c) La actividad de la polifenol oxidasas se determinó de la manera siguiente:

- A $10\text{ }\mu\text{l}$ del sobrenadante se le adicionó 1 ml de catecol y se registró la absorbancia inicial, a los 10, 30 y 60 s, el cambio de absorbancia se registró a 420 nm en un espectrofotómetro UV-VIS modelo (Perkin Elmer).
- Una unidad de la actividad de la enzima se presentó como un cambio de una unidad de absorbancia por minuto.

Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento, cada repetición estuvo formada por tres frutos.

3.7.7. Daños por frío

Esta determinación se realizó por el método de Chaplin *et al.* (1982) el cual está basado en la extracción y medición por absorbancia de los compuestos producidos por la oxidación fenólica de la pulpa de aguacate dañado. Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento, cada repetición estuvo formada por tres frutos.

A partir de una porción representativa de la pulpa tomada longitudinalmente del mesocarpio, en un mortero se formó una pasta macerada de esta muestra se tomó un gramo y se colocó en un tubo de ensaye, se le adicionaron 2 ml de metanol concentrado 2 ml de agua destilada, y 1.72 ml de cloroformo se homogenizó toda la mezcla y se centrífugo a 10.000 x *g* durante 20 minutos. Después de centrifugar, la capa superior correspondió a la mezcla emulsificadora-extractora de cloroformo-metanol-agua más los compuestos fenólicos oxidados y la inferior a la materia no soluble en esta mezcla. Los cambios de tono de la mezcla se evaluaron midiendo la absorbancia en un espectrofotómetro. Se utilizó una longitud de onda de 340 nm.

3.7.8. Identificación de desórdenes fisiológicos

La determinación de los desórdenes fisiológicos en aguacate se realizó mediante la metodología reportada por Swarts (1984), expresando los resultados en porcentaje del

total de frutos. La evaluación se realizó en nueve frutos da cada tratamiento, representando un fruto cada repetición.

3.7.9. Determinación de calcio en el fruto

Se tomó la pulpa de la parte media del fruto. El secado de las muestras se realizó en una estufa de aire forzado durante 72 h a 65 °C, posteriormente se procedió a moler la muestra. Se pesó 0.5 g de la muestra y se colocó en un tubo de ensaye al cual se le adicionaron 10 ml de ácido nítrico concentrado mas 2 ml de ácido perclórico y 1 ml de ácido sulfúrico concentrado, posteriormente se efectuó una digestión durante 5 horas. A la muestra que se obtuvo de la digestión se le adicionaron 10 ml de agua destilada, se filtró y aforó a 50 ml el extracto obtenido se colocó en frascos y se tomó 1 ml al cual se le adicionó 1 ml de oxido de lantano más 8 ml de agua destilada (Chapman y Pratt, 1979). La evaluación del calcio se realizó por espectrofotometría de absorción atómica en un espectrofotómetro Varian modelo Spectr.AA 220.

Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento, cada repetición estuvo formada por tres frutos.

3.7.10. Producción de etileno y respiración

Se estimó por cromatografía de gases por el método estático al etileno y CO₂. En un recipiente hermético de volumen conocido se colocaron tres frutos por repetición, durante una hora se tomaron 7 ml del espacio de cabeza con una jeringa hipodérmica y

se trasladaron a un vacuntainer (al vacío) los cuales se almacenaron a temperatura ambiente hasta su evaluación. Posteriormente se tomó 1 ml del espacio del vacuntainer y se inyectó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 Serie II con columna empacada tipo abierta con capa porosa de sílica fundida (PLOT) y fase estacionaria poraplot Q de 27.5 cm de largo y 0.32 mm de diámetro interno, 0.45 mm de diámetro externo y 10 μm de grosor de la película y un detector de ionización de flama (FID) y otro de conductividad térmica. La temperatura del horno fue de 80 $^{\circ}\text{C}$ y el detector de 150 $^{\circ}\text{C}$. El cromatógrafo se controló con un programa de cómputo que en el análisis mide la altura del pico de etileno y CO_2 y el área de la misma, mediante la cual se determinó la concentración en $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de cada uno de los componentes, se inyectaron como referencia etileno (INFRA) 10 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ y CO_2 (INFRA) 500 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$. En el cromatógrafo el gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$. La determinación de los gases se realizó diariamente, utilizándose tres repeticiones por tratamiento. Los valores finales se reportaron como $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ de CO_2 y $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ de C_2H_4 .

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Días a maduración en aguacate 'Fuerte'

Los frutos que fueron tratados con calcio tanto en ambiente como en refrigeración, maduraron más tarde que los testigo (Cuadro 2), siendo esto más marcado en los que tuvieron mayor concentración de calcio (0.5 %), uno de los principales eventos que se asoció con el proceso de maduración fue la producción de etileno presentándose el pico máximo de producción primero en los frutos testigo lo cual originó que maduraran más pronto que los tratamientos con calcio. Rui y Daryl, (1984); Tingwa y Young (1974) señalaron que el calcio está asociado con la producción de etileno, y que cuando el calcio se encuentra en bajas cantidades en los frutos la producción de etileno se incrementa en gran medida. Ferguson (1984) mencionó que además de la acción preventiva del Ca sobre la ocurrencia de desórdenes específicos de senescencia en las frutas, hay evidencias de efectos en retardar el porcentaje de maduración de la fruta. Los iones de calcio forman puentes entre las moléculas de pectina en la lamina media siendo responsables de la cohesión de las células, por lo cual el ablandamiento puede ser el resultado de la pérdida de calcio de la lamina media y/o pérdida de los sitios de unión en las moléculas de pectina (Stow, 1993).

También se encontró que los frutos que estuvieron a temperatura ambiente tardaron más días promedio en madurar que los frutos refrigerados durante tres y cinco semanas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Días promedio a maduración en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones pre cosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración 5 °C	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	7.0	5.3	4.6
0.3	7.8	5.7	5
0.5	8.1	5.6	5

4.2. Días a maduración en aguacate ‘Hass’

Al analizar los datos de los días promedio de maduración de los frutos de aguacate ‘Hass’ se encontró que los frutos tratados con calcio maduraron más tarde que los frutos testigo, a excepción de los frutos almacenados por cinco semanas en refrigeración. Eaks (1985) menciona que incrementos en los contenidos de calcio en los frutos retardan la maduración y senescencia. Altas concentraciones de calcio en las frutas son objetivos actuales de las producciones hortícolas ya que bajos niveles de calcio en frutas frescas están siendo asociadas con mala calidad de almacenamiento e incrementos en los porcentajes de ablandamiento de los frutos (Ferguson *et al.*, 1995).

Los frutos almacenados a temperatura ambiente requirieron de 8 (testigo) y 9 días para madurar (0.3 y 0.5 % de calcio) y los refrigerados requirieron de un menor tiempo para madurar, Hofman *et al.* (2001), indicaron que para frutos de ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente 22 °C y a 2 y 7 °C por tres y cinco semanas los días que los frutos requirieron para madurar fueron en promedio de 19 para los frutos almacenados a temperatura ambiente y de 6 días para los frutos que se mantuvieron en refrigeración

(Cuadro 2), mientras que Cajuste (1992) evaluando a 'Hass' encontró que a temperatura ambiente los frutos requirieron de 11 días para madurar, mientras que para los que se mantuvieron en refrigeración a 2 °C fue de 4 días y a 5 °C requirieron de 3 días.

Se ha observado que el calcio influye en el porcentaje de maduración de los frutos, ya que contribuye a la formación de pectatos de calcio manteniendo la estructura y dando rigidez a las células mejorando la firmeza, incrementando con esto la vida de anaquel del fruto (Shear, 1975).

Cuadro 3. Días promedio a maduración en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración 5 °C	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	8.2	4.1	4.5
0.3	8.9	4.6	4.6
0.5	9.2	4.8	4.5

4.3. Firmeza en aguacate 'Fuerte'

Los frutos almacenados a temperatura ambiente con calcio presentaron mayor firmeza, siendo estadísticamente diferentes al testigo (Cuadro 4), existen evidencias que respaldan los resultados encontrados en el presente estudio, en los cuales se ha señalado que aplicaciones de calcio en precosecha inducen a un menor daño poscosecha de frutos almacenados preservando su apariencia externa y ejerciendo además entre otras cosas su influencia incrementando la firmeza del fruto (Cline y Hanson, 1992). También se ha

reportado que aplicaciones de 10 mg·litro⁻¹ de nitrato de calcio incrementaron la firmeza de los frutos de ‘Fuerte’ almacenados a 5 °C por 27 días siendo estadísticamente superior a los tratamientos testigo, 30 mg·litro⁻¹ de nitrato de calcio y caldo bordelés, presentando valores de firmeza de 121 N (López y Cajuste, 1996).

Con lo que respecta a los frutos que estuvieron bajo refrigeración, en tres como en cinco semanas de almacenamiento el tratamiento que tuvo frutos más firmes fue el de 0.5 % de calcio, siendo estadísticamente diferente al testigo, presentando valores de firmeza de 38.03 N para tres semanas de refrigeración y 49.63 N para cinco semanas, comparado con 31.78 y 42.18 N que presentó el testigo a las 3 y 5 semanas, respectivamente. Herrero (1992) señaló que la presencia de calcio disminuye la pérdida de firmeza del fruto ya que el calcio favorece la cohesión entre células por lo cual su deficiencia en la lamina media puede contribuir al ablandamiento del fruto.

Cuadro 4. Firmeza en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración 5 °C	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	41.54 b ^z	31.78 b	42.18 b
0.3	48.34 a	33.49 b	45.84 ab
0.5	51.16 a	38.03 a	49.63 a
DMSH	6.60	3.61	6.52
CV (%)	25.04	18.68	21.81

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

En los frutos almacenados a temperatura ambiente se obtuvo un incremento significativo en el ablandamiento en función de los días de evaluación, causado por el proceso de maduración del fruto observando una drástica disminución de la firmeza en el día seis de evaluación (Cuadro 5), un día después que los frutos testigo alcanzaran la madurez de consumo y dos días después para el caso de los tratamientos con calcio esto indicó que los tratamientos con calcio al disminuir la pérdida de firmeza en los frutos retardaron su proceso de maduración, de igual manera se observó en la producción del pico máximo de etileno el cual se presentó primero en los tratamientos testigo.

El día tres de evaluación los frutos que presentaron una mayor firmeza fueron los que tuvieron 0.3 y 0.5 % de calcio (74.81 N y 75.67 N), respectivamente. Para el día seis el tratamiento con 0.5 % de calcio presentó la mayor firmeza siendo estadísticamente diferente al tratamiento testigo.

Cuadro 5. Firmeza por día de evaluación en frutos aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
	0	3	6	9
0.0	113.13 a ^z	49.10 b	2.27 b	1.65 a
0.3	113.42 a	74.81 a	2.33 ab	1.94 a
0.5	124.86 a	75.67 a	3.10 a	1.87 a
DMSH	15.31	23.08	0.78	0.98
CV (%)	11.10	29.47	25.77	45.60

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Se encontraron diferencias significativas en los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración (Cuadro 6), siendo el de 0.5 % de nitrato de calcio el mejor tratamiento en el día seis de evaluación; mientras que en los días cero y dos el tratamiento con 0.5 % de nitrato de calcio solo fue estadísticamente diferente al testigo.

En los frutos de aguacate almacenados por cinco semanas en refrigeración (Cuadro 6) se encontró que en los días dos y cuatro el mejor tratamiento fue el 0.5 % de calcio. En los frutos tratados con calcio tanto en tres como en cinco semanas de refrigeración la pérdida de firmeza se dio más lenta por lo cual estos frutos requirieron más días para madurar en comparación con el testigo.

Se observó que con el periodo de almacenamiento, el ablandamiento de los frutos fue mas rápido después de ser expuestos a temperatura ambiente, por lo cual los frutos almacenados por tres y cinco semanas duraron menos días que los frutos almacenados en ambiente, lo que pudiera indicar una afectación en las enzimas que intervienen en la maduración, en este sentido Awad y Young (1979) mencionaron que incrementos en la producción de CO₂ están correlacionados con incrementos en la actividad de celulasa y el ablandamiento de la fruta, esto se observó en los frutos refrigerados ya que éstos presentaron una mayor producción de CO₂ en comparación con los almacenados a temperatura ambiente originando que los frutos maduraran más pronto.

Cuadro 6. Firmeza por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
		0	2	4	6
3	0.0	104.71 b ^z	16.71 b	3.53 a	2.17 b
	0.3	108.91 ab	17.76 ab	4.50 a	2.78 b
	0.5	118.23 a	24.46 a	4.94 a	4.50 a
	DMSH	12.90	7.64	1.62	1.35
	CV (%)	9.91	33.05	32.04	36.34
5	0.0	101.57 a	19.92 b	5.04 b	
	0.3	107.77 a	23.65 ab	6.10 ab	
	0.5	101.57 a	28.20 a	7.63 a	
	DMSH	18.62	8.12	1.93	
	CV (%)	14.72	28.83	28.28	

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.4. Firmeza en aguacate ‘Hass’

No se encontraron diferencias entre tratamientos al analizar los datos de firmeza de los frutos de ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente y refrigeración por tres y cinco semanas (Cuadro 7). Los tratamientos con calcio muestran una tendencia a presentar una mayor firmeza en comparación con los testigos, ya que como menciona Marcelle (1995) la firmeza esta correlacionada positivamente con el contenido de calcio de los frutos, aunque no siempre presenta significancia estadística.

Cuadro 7. Firmeza en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración 5 °C	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	67.72 a ^z	58.32 a	55.33 a
0.3	71.18 a	61.59 a	55.72 a
0.5	72.95 a	63.04 a	58.04 a
DMSH	6.07	5.98	3.87
CV (%)	15.32	15.06	10.56

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Al analizar los datos de firmeza por fecha de evaluación en los frutos de ‘Hass’ (Cuadro 8) almacenados a temperatura ambiente, se encontraron diferencias entre tratamientos en el día seis y nueve de evaluación. Para el día seis el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio el cual presentó la mayor firmeza con respecto al testigo. En el día nueve los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de nitrato de calcio, lo cual indicó que los tratamientos con calcio disminuyeron la pérdida de firmeza de los frutos.

Cuadro 8. Firmeza por día de evaluación en frutos aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones pre cosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de Nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
	0	3	6	9
0.0	124.31 a ^z	110.80 a	30.40 b	5.37 b
0.3	125.01 a	114.0 a	38.78 ab	7.01 a
0.5	127.25 a	114.57 a	42.68 a	7.27 a
DMSH	13.37	19.35	9.66	1.52
CV (%)	9.05	14.53	22.02	19.74

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Se encontraron diferencias en el día cuatro de evaluación, en la firmeza de los frutos almacenados durante tres semanas, siendo mejor el 0.5 % de calcio comparado con el testigo. En las cinco semanas de almacenamiento nuevamente se detectaron diferencias significativas el día cuatro de evaluación, siendo el mejor tratamiento el de 0.5 % de calcio (Cuadro 9). Se ha señalado que el calcio afecta la maduración y firmeza de frutos de aguacate y manzana debido a que reduce los principales cambios asociados con el proceso de ablandamiento siendo éstos la pérdida de paredes celulares y la cohesión entre células, al formar parte de las pectinas de la lámina media (Witney, 1985).

En los frutos almacenados por tres y cinco semanas, se observó una disminución de la firmeza el día dos de evaluación, mientras que para los frutos almacenados a temperatura ambiente la disminución se observó el día seis de evaluación ya que en éstos frutos el proceso de maduración fue más lento.

Cuadro 9. Firmeza por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación		
		0	2	4
3	0.0	130.90 a ^z	35.15 a	8.92 b
	0.3	135.54 a	39.14 a	10.10 ab
	0.5	134.47 a	42.97 a	11.68 a
	DMSH	14.91	11.08	2.40
	CV (%)	9.47	24.08	19.98
5	0.0	139.20 a	20.18 a	6.60 b
	0.3	137.32 a	22.26 a	7.58 b
	0.5	140.51 a	23.81 a	9.80 a
	DMSH	10.02	6.54	2.04
	CV (%)	6.12	25.17	21.67

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.5. Pérdida de peso en aguacate ‘Fuerte’

Para el caso de los frutos almacenados a temperatura ambiente, los tratamientos con 0.3 y 0.5 % de calcio fueron los que presentaron una menor pérdida de peso 6.67 y 6.62 %, respectivamente (Cuadro 10). En los frutos almacenados durante tres semanas el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio el cual presentó la menor pérdida de peso 6.27 % (Cuadro 10).

Para el caso de los frutos almacenados durante 5 semanas los mejores tratamientos fueron los que tuvieron calcio los cuales fueron diferentes al testigo el cual perdió un

11.14 % de peso, en este sentido López y Cajuste (1996) encontraron que el tratamiento de 30 mg·litro⁻¹ de nitrato de calcio fue el que registró el más bajo porcentaje de pérdida de peso con 4.5 % después de 27 días de almacenamiento a 5.5 °C. Las pérdidas de agua es una de las principales causas del deterioro ya que no solamente se relacionan con pérdidas de peso sino con la textura y con la calidad nutricional (Kader 1999).

Cuadro 10. Pérdida de peso (%) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración 5 °C	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	7.88 a ^z	9.08 a	11.14 a
0.3	6.67 b	7.61 b	8.44 b
0.5	6.62 b	6.27 c	8.35 b
DMSH	0.76	0.59	0.91
CV (%)	17.68	14.52	15.94

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Analizando los datos de porcentaje de pérdida de peso por día de evaluación en los frutos de ‘Fuerte’ almacenados a temperatura ambiente, se obtuvo que a medida que pasaron los días las pérdidas de peso fueron mayores. En el día tres el tratamiento con 0.5 % de calcio fue diferente al testigo y en el nueve los mejores tratamientos fueron el de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 11). Esto indica que los frutos tratados con calcio perdieron menor peso, por lo cual requirieron mayor número de días para madurar que los testigos.

Cuadro 11. Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de Nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
	0	3	6	9
0.0	0	4.56 a ^z	8.35 a	10.74 a
0.3	0	4.06 ab	7.14 a	8.81 b
0.5	0	3.46 b	7.37 a	9.03 b
DMSH	0	1.05	1.36	1.66
CV (%)	0	23.70	16.16	15.72

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Al comparar los datos de porcentaje de pérdida de peso por fecha de evaluación en los frutos de ‘Fuerte’ almacenados en refrigeración durante tres semanas se pudo observar que para los días cero y dos de evaluación el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio (Cuadro 12), para los días de evaluación cuatro y seis los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio, los cuales fueron diferentes al testigo.

En los frutos almacenados por 5 semanas en los días 0 y 2 el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de nitrato de calcio (Cuadro 12). Los tratamientos con calcio disminuyeron las pérdidas de peso de los frutos originando que maduraran más tarde que los frutos testigo, como se señaló anteriormente. Tanto en tres como en cinco semanas en refrigeración a medida que trascurrieron las fechas de evaluación las pérdidas de peso fueron mayores, en todos los tratamientos, debido a la pérdida de agua por transpiración en los frutos (Pantastico, 1979).

Cuadro 12. Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Semanas	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
		0	2	4	6
3	0.0	3.99 a ^z	7.52 a	10.93 a	13.99 a
	0.3	3.17 b	6.39 b	9.26 b	10.62 b
	0.5	1.62 c	4.77 c	8.05 b	10.63 b
	DMSH	0.64	0.98	1.35	1.69
	CV (%)	19.75	14.29	12.99	12.63
5	0.0	7.18 a	11.16 a	14.62 a	
	0.3	6.26 a	6.26 a	12.81 ab	
	0.5	4.95 b	8.36 b	11.74 b	
	DMSH	1.16	1.71	1.96	
	CV (%)	17.07	17.64	13.54	

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.6. Pérdida de peso en aguacate ‘Hass’

No se encontraron diferencias entre tratamientos en los frutos de ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente, y en los almacenados por tres semanas en refrigeración (Cuadro 13). En los frutos almacenados por cinco semanas en refrigeración se obtuvo diferencias entre tratamientos, siendo los mejores los de 0.3 y 0.5 % de nitrato de calcio, los cuales fueron diferentes al testigo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Pérdida de peso (%) en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de Nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración 5 °C	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	8.07 a ^z	6.05 a	9.09 a
0.3	7.76 a	5.81 a	7.69 b
0.5	7.90 a	5.60 a	7.59 b
DMSH	0.82	0.70	1.00
CV (%)	16.93	19.54	20.13

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

No se observaron diferencias entre tratamientos en los frutos de ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente (Cuadro 14). La pérdida de peso a través de las fechas de evaluación se fue haciendo cada vez mayor, aunque no se observó efecto del calcio en esta variable.

Cuadro 14. Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
	0	3	6	9
0.0	0	3.98 a ^z	7.84 a	12.40 a
0.3	0	3.67 a	7.66 a	11.95 a
0.5	0	3.59 a	7.74 a	12.38 a
DMSH	0	0.60	1.39	2.07
CV (%)	0	14.65	16.19	15.30

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

En los frutos de ‘Hass’ almacenados por tres y cinco semanas en refrigeración, en el día cero de evaluación el tratamiento que presentó una menor pérdida de peso fue el de 0.5 % de calcio en comparación con el testigo (Cuadro 15). Las pérdidas de peso fueron mayores al transcurrir las fechas de evaluación ya que como señalaron Wills *et al.* (1984), las pérdidas de agua en los frutos aumentan con el tiempo, lo que representa un descenso del peso comercial y por tanto una disminución de su valor comercial.

Cuadro 15. Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Semana	Concentración de Nitrato de calcio (%)	Días de evaluación		
		0	2	4
3	0.0	3.0 a ^z	6.17 a	8.89 a
	0.3	2.63 ab	5.94 a	8.87 a
	0.5	2.07 b	5.84 a	8.89 a
	DMSH	0.81	1.31	1.54
	CV (%)	28.41	19.78	15.66
	0.0	5.91 a	9.34 a	11.76 a
5	0.3	4.7 ab	7.98 a	10.38 a
	0.5	4.23 b	7.98 a	10.56 a
	DMSH	1.35	1.81	2.16
	CV (%)	24.72	19.39	17.86
	0.0	5.91 a	9.34 a	11.76 a

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.7. Color en aguacate 'Fuerte'

No se encontraron diferencias significativas en los valores de L (brillantez del fruto) en los frutos almacenados a temperatura ambiente (Cuadro 16). No existió diferencia a temperatura ambiente en el color del exocarpio indicado por el ángulo Hue. Al analizar los valores de croma se pudo observar que los tratamientos con 0 y 0.3 % de calcio presentaron un color menos intenso, siendo estadísticamente diferentes al tratamiento con 0.5 % de calcio (Cuadro 16), esto demerito la calidad de los frutos, ya que el color de los frutos y hortalizas es uno de los principales factores que se ha correlacionado con la calidad (Kays, 1999).

Cuadro 16. Color de los frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente (22 °C)		
	L	Croma	Hue
0.0	31.05 a ^z	17.19 b	103.69 a
0.3	31.55 a	17.64 b	103.51 a
0.5	32.14 a	19.42 a	100.58 a
DMSH	1.145	1.71	5.56
CV (%)	6.82	17.79	10.21

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

No se presentaron diferencias entre tratamientos en L, Croma y Hue en los frutos de aguacate 'Fuerte' almacenados en refrigeración por 3 y 5 semanas, lo cual indicó que los tratamientos con calcio no influyeron en esta variable (Cuadro 17).

Cuadro 17. Color de los frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados en refrigeración a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Semana					
	3			5		
	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue
0.0	31.26 a ^z	16.98 a	101.0 a	30.03 a	13.74 a	100.8 a
0.3	31.72 a	16.30 a	102.6 a	29.58 a	13.66 a	104.6 a
0.5	31.62 a	17.88 a	105.6 a	29.34 a	14.03 a	103.33 a
DMSH	1.18	1.86	8.77	1.71	2.27	21.81
CV (%)	7.915	23.11	17.94	10.88	31.04	42.35

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.8. Color en aguacate ‘Hass’

No se observaron diferencias en la variable color para los frutos de ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente, lo cual indicó que el calcio no ejerció ninguna influencia en esta variable (Cuadro 18).

Cuadro 18. Color de los frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente (22 °C)		
	L	Hue	Croma
0.0	28.41 a ^z	93.94 a	13.41 a
0.3	28.23 a	94.65 a	13.83 a
0.5	28.44 a	94.56 a	12.24 a
DMSH	1.24	8.74	1.57
CV (%)	8.22	17.42	21.04

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

No se encontraron diferencias en los valores de L y Croma, tanto en los frutos de 3 como 5 semanas en refrigeración (Cuadro 19). El color del exocarpio indicado por el ángulo Hue, de los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración mostraron que los frutos con calcio mantuvieron por más tiempo su coloración, siendo diferentes al testigo (Cuadro 19). Por otra parte en los frutos almacenados por 5 semanas el tratamiento con 0.5 % de calcio fue diferente al testigo en esta misma variable. Los cambios de color en aguacate 'Hass' se relacionan con el proceso de maduración lo que indicó que los frutos tratados con calcio tardaron más días en alcanzar la madurez de consumo al respecto Kader (1999) señaló que los cambios en color asociados con la maduración pueden deberse ya sea a procesos degradativos, procesos biosintéticos a bien a ambos procesos y que la pérdida de color verde se debe fundamentalmente a la degradación estructural de la clorofila.

Cuadro 19. Color de los frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados en refrigeración a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Semana					
	3			5		
	L	Hue	Croma	L	Hue	Croma
0.0	29.35 a ^z	76.02 b	13.15 a	29.86 a	78.98 b	12.89 a
0.3	28.03 a	94.93 a	12.25 a	30.30 a	87.37 ab	14.55 a
0.5	29.40 a	92.64 a	13.65 a	30.31 a	94.87 a	13.95 a
DMSH	1.58	13.09	2.42	1.26	1.73	9.83
CV (%)	10.33	28.04	35.06	7.86	21.25	23.71

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.9. Permeabilidad de membrana en aguacate ‘Fuerte’

4.9.1. Permeabilidad de cáscara

Se observaron diferencias entre los tratamientos tanto en ambiente como en refrigeración, al analizar la permeabilidad de la cáscara de los frutos de aguacate ‘Fuerte’. Para el caso de los frutos almacenados a temperatura ambiente, tanto al evaluar la permeabilidad inicial como la de tres horas los mejores tratamientos fueron los que tuvieron 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 20). Los frutos testigo presentaron los menores niveles de calcio tanto en cáscara como en pulpa y una mayor permeabilidad de la cáscara, en este sentido se ha señalado que el calcio es uno de los constituyentes de la pared celular en forma de pectato de calcio, cuando se encuentra en bajos niveles desorganiza las células del fruto aumentando la permeabilidad (Witney, 1985). Poovaiah (1979) y Swarts (1984) señalaron que hay evidencias de que el calcio altera la arquitectura de la membrana y de que su introducción en membranas artificiales, hechas de fosfolípidos, resulta en un enorme decremento de su permeabilidad al agua.

Los datos de permeabilidad de cáscara de los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración, reflejan que el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio (Cuadro 20), tanto en los datos iniciales como en los de tres horas. Para los frutos almacenados durante 5 semanas en refrigeración los mejores tratamientos tanto en la evaluación inicial como en la de tres horas fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 20).

Los datos de permeabilidad encontrados coinciden con los reportados por Martínez y Saucedo (1990), quienes al aplicar $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 15 y 30 días antes de la cosecha al 0.5 % en aguacate ‘Hass’, tanto en ambiente como en refrigeración (3 °C, durante 2, 4 y 6 semanas), indicaron una menor salida de electrolitos en el exocarpio, de los frutos con calcio con respecto al testigo, encontrando valores de 16.34 % de pérdida de electrolitos hasta 31.01 % . En general se pudo observar que los tratamientos con calcio presentaron una menor permeabilidad de membrana en cáscara, esto se puede asociar con un menor daño por frío ya que Wang (1982) mencionó que incrementos en la permeabilidad y pérdida de electrolitos han sido positivamente correlacionados como una respuesta asociada con el daño por frío.

Cuadro 20. Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente 22 °C		Refrigeración (5 °C)			
	Inicial	3 horas	3 Semanas		5 Semanas	
			Inicial	3 horas	Inicial	3 horas
0.0	15.25 a ^z	30.68 a	12.02 a	19.13 a	12.38 a	13.01 a
0.3	12.23 b	24.66 b	11.33 a	15.93 ab	9.18 b	10.67 b
0.5	11.94 b	20.83 b	9.45 b	12.96 b	10.12 b	10.78 b
DMSH	1.80	4.76	1.44	4.10	2.05	2.20
CV (%)	13.47	18.39	12.91	24.97	16.20	15.92

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

En el día cero de evaluación se encontraron diferencias entre los tratamientos siendo menor el de 0.5 % de calcio comparado con el testigo tanto en la evaluación inicial como

en la de tres horas (Cuadro 21). En el día nueve de evaluación el valor de permeabilidad de cáscara mostró ser menor con 0.5 % de calcio comparado con el testigo (Cuadro 21) a las tres horas.

Cuadro 21. Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación							
	0		3		6		9	
	Inicial	3 horas	Inicial	3 horas	Inicial	3 horas	Inicial	3 horas
0.0	16.15 a ^z	27.51 a	17.17 a	32.08 a	11.75 a	32.92 a	15.94 a	30.21 a
0.3	14.65 ab	20.51 ab	14.63 a	30.99 a	11.05 a	28.50 a	11.17 a	18.66 ab
0.5	11.13 b	17.07 b	12.07 a	28.05 a	10.96 a	22.33 a	11.06 a	15.89 b
DMSH	3.84	7.99	5.35	7.81	2.75	14.96	5.25	14.10
CV (%)	10.99	14.70	14.61	10.26	9.76	21.39	14.49	26.07

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Al evaluar el cambio de permeabilidad de la membrana de los frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados por tres semanas en refrigeración se apreció que para el día cero de evaluación los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio, al evaluar la permeabilidad del fruto a las tres horas (Cuadro 22). Para el día cuatro y seis de evaluación el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio, comparado con el testigo (Cuadro 22). En los frutos almacenados por cinco semanas en refrigeración se encontraron diferencias significativas solamente en el día cero de evaluación, los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio, tanto en la evaluación inicial como en la de tres horas (Cuadro 22). Los tratamientos con calcio disminuyeron la

permeabilidad de la cáscara en los frutos refrigerados tanto en tres como en cinco semanas al respecto. Povaiah (1988) señaló que el calcio es esencial en mantener la estructura de membranas y paredes celulares especialmente en frutas y hortalizas que han sido almacenadas por periodos prolongados.

Cuadro 22. Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación							
	0		2		4		6	
	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h
3 semanas								
0.0	11.59 a ^z	21.56 a	10.94 a	16.32 a	11.40 a	20.79 a	14.16 a	19.05 a
0.3	11.58 a	14.28 b	10.94 a	15.71 a	11.02 ab	20.04 a	11.80 ab	13.71 ab
0.5	11.15 a	11.52 b	10.57 a	14.98 a	8.67 b	14.71 a	7.41 b	10.64 b
DMSH	1.50	3.80	3.02	3.83	2.54	18.30	5.67	6.46
CV (%)	5.25	9.60	11.14	9.89	9.80	39.46	20.35	17.82
5 semanas								
0.0	14.76 a	14.76 a	10.49 a	12.37 a	11.90 a	11.90 a		
0.3	9.62 b	9.62 b	9.76 a	12.02 a	8.15 a	11.04 a		
0.5	10.65 b	10.65 b	8.67 a	10.66 a	11.04 a	10.39 a		
DMSH	3.60	3.60	2.29	2.45	6.07	6.63		
CV (%)	12.32	12.32	9.48	8.37	23.38	23.84		

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.9.2. Permeabilidad de pulpa

Al evaluar el cambio de permeabilidad de la membrana celular en la pulpa de aguacate ‘Fuerte’, se pudo observar que en los frutos almacenados a temperatura ambiente, se

detectaron diferencias entre tratamientos, siendo los mejores los de 0.3 y 0.5 % de calcio para la evaluación inicial y el de 0.5 % de calcio comparado con el testigo para la evaluación después de 3 horas (Cuadro 23).

Para el caso de los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración durante la evaluación inicial no se presentaron diferencias sin embargo, para la evaluación después de 3 horas los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 23).

También se detectaron diferencia estadísticas entre tratamientos para los frutos almacenados por cinco semanas en refrigeración (Cuadro 23), para la evaluación inicial el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio comparado con el testigo y para la evaluación después de tres horas fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio.

Los frutos tratados con calcio presentaron una menor permeabilidad de membrana, tanto en ambiente como en refrigeración, siendo también estos frutos los que requirieron de un mayor número de días para madurar y en perder su firmeza. Singh *et al.* (1993) señalaron que en frutos como mangos y manzanas el calcio en poscosecha juega un papel importante en la conformación de membranas, fortaleciendo su integridad y manteniendo su permeabilidad selectiva ayudando al fruto a conservar por mayor tiempo su textura.

Cuadro 23. Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente 22 °C		Refrigeración 5 °C			
			3 Semanas		5 Semanas	
	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h
0.0	16.04 a ^z	32.85 a	10.22 a	21.67 a	10.39 a	23.70 a
0.3	11.52 b	28.71 ab	9.73 a	15.11 b	9.78 ab	14.99 b
0.5	10.82 b	24.18 b	9.25 a	14.26 b	9.23 b	13.77 b
DMSH	1.91	5.62	1.21	2.81	1.02	4.40
CV (%)	14.93	19.30	12.21	16.22	8.66	20.92

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Se encontraron diferencias en los datos de permeabilidad de pulpa de los frutos almacenados a temperatura ambiente, solamente los días seis y nueve de evaluación (Cuadro 24). En el día seis se encontraron diferencias significativas a las tres horas de evaluación siendo mejor tratamiento el de 0.5 % de calcio, comparado con el testigo. En el día nueve de evaluación se obtuvieron diferencias en la evaluación inicial, siendo los mejores tratamientos los de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 24).

Cuadro 24. Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones pre cosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación							
	0		3		6		9	
	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h
0.0	9.50 a ^z	21.91 a	15.63 a	35.60 a	12.98 a	42.34 a	25.61 a	31.54 a
0.3	9.95 a	16.90 a	13.49 a	34.84 a	10.17 a	30.87 ab	12.48 b	29.51 a
0.5	9.30 a	18.18 a	15.31 a	29.61 a	8.42 a	19.04 b	10.25 b	29.20 a
DMSH	2.28	9.35	5.22	25.17	5.65	16.91	4.24	15.26
CV (%)	15.54	18.54	14.07	15.04	21.44	21.95	10.50	20.25

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Al analizar los datos de permeabilidad de membrana de la pulpa de aguacate ‘Fuerte’ por tres semanas, se encontraron diferencias entre tratamientos los días cero y seis de evaluación (Cuadro 25). En el día cero de evaluación se encontraron diferencias solamente al evaluar la permeabilidad a las tres horas, siendo mejor tratamiento el de 0.5 % de calcio. Para el día seis de evaluación se encontraron diferencias solamente al evaluar la permeabilidad a las tres horas, siendo los mejores tratamientos los de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 25).

En los frutos almacenados por cinco semanas en refrigeración se encontraron diferencias en el día cero y seis de evaluación, solamente en la determinación a las tres horas siendo los tratamientos con calcio los que tuvieron menor pérdida de electrolitos (Cuadro 25). Los datos de permeabilidad de pulpa de aguacate encontrados son un poco menores a los reportados por Martínez y Saucedo (1990), quienes encontraron valores de 22.82 a 39.73 % para el caso del mesocarpio de aguacate.

Cuadro 25. Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación							
	0		2		4		6	
	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h
3 semanas								
0.0	11.28 a ^z	20.48 a	11.00 a	20.69 a	8.41 a	17.35 a	10.17 a	28.15 a
0.3	11.07 a	11.07 a	10.66 a	15.58 a	9.04 a	17.20 a	8.75 a	16.57 b
0.5	10.54 a	10.54 b	9.32 a	15.29 a	8.36 a	15.59 a	8.77 a	12.15 b
DMSH	3.25	3.25	2.14	7.00	3.52	9.65	2.82	4.47
CV (%)	11.83	13.25	8.43	15.96	16.32	25.05	12.20	9.42
5 semanas								
0	11.39 a	24.60 a	9.92 a	20.37 a	9.87 a	26.14 a		
0.3	10.96 a	14.68 b	9.06 a	16.05 a	9.34 a	14.24 b		
0.5	9.81 a	14.37 b	9.17 a	14.44 a	8.72 a	12.50 b		
DMSH	2.21	7.75	2.43	13.24	1.67	4.08		
CV (%)	8.24	17.30	10.34	31.17	7.16	9.25		

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.10. Permeabilidad de membrana en aguacate ‘Hass’

4.10.1. Permeabilidad de cáscara

Los cambios en permeabilidad de membrana en la cáscara de aguacate ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente, y refrigeración a 5 °C (3 y 5 semanas) presentaron, diferencias entre tratamientos, siendo los frutos con 0.3 y 0.5 % de calcio, tanto en la evaluación inicial como en la de tres horas, diferentes al testigo (Cuadro 26). Los tratamientos con calcio disminuyeron la pérdida de permeabilidad de membrana en

cáscara disminuyendo a la vez el proceso de maduración en los frutos. Bangerth (1979) mencionó que se han observado considerables diferencias en la integridad de membranas en frutos de manzanas y tomates tratados con calcio y sin calcio, en estos últimos primero se deteriora el retículo endoplasmico, tonoplasto y plasmalema debido a que el calcio es importante en mantener la permeabilidad de membrana.

Cuadro 26. Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente 22 °C		Refrigeración 5 °C			
			3 Semanas		5 Semanas	
	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h
0.0	22.78 a ^z	23.18 a	31.13 a	34.48 a	26.80 a	26.80 a
0.3	16.72 b	16.72 b	22.63 b	25.75 b	20.48 b	20.48 b
0.5	15.59 b	16.48 b	19.27 b	21.34 b	19.21 b	19.21 b
DMSH	3.38	3.59	5.22	5.46	4.82	4.82
CV (%)	18.57	19.23	17.83	16.68	18.10	18.10

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

La permeabilidad de membrana en la cáscara de aguacate ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente, presentó diferencias significativas el día cero de evaluación, siendo los tratamientos con 0.3 y 0.5 % de calcio los que presentaron menor salida de electrolitos, tanto en la evaluación inicial como en la de tres horas (Cuadro 27). En el día nueve de evaluación solo se presentaron diferencias en la evaluación realizada a las tres horas siendo el mejor tratamiento el de 0.5 % de calcio comparado con el testigo (Cuadro 27). Los tratamientos con calcio disminuyeron la pérdida de electrolitos en los

frutos ya que como mencionó Kirkby y Pilbeam (1984) cuando la fruta entra al proceso de maduración y senescencia se incrementa la permeabilidad de membranas y se disuelve la lamina media estos procesos se ven favorecidos en frutos que presentan bajos niveles de calcio.

Cuadro 27. Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación							
	0		3		6		9	
	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h
0.0	30.85 a ^z	30.85 a	24.89 a	24.89 a	14.83 a	15.59 a	16.15 a	20.26 a
0.3	13.27 b	13.27 b	22.58 a	22.58 a	13.27 a	13.27 a	11.79 a	17.78 ab
0.5	17.38 b	17.38 b	19.64 a	19.64 a	12.42 a	15.48 a	11.71 a	12.91 b
DMSH	9.81	9.81	10.14	10.14	5.06	7.43	5.79	7.15
CV (%)	19.10	19.10	18.10	18.10	14.97	20.02	16.72	14.71

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Los datos de permeabilidad de membrana de los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración presentaron; que en el día cero el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio comparado con el testigo, en tanto que para el día dos de evaluación a las tres horas los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 28). En el día cuatro de evaluación solo se detectaron diferencias significativas en la evaluación inicial siendo nuevamente los tratamientos de 0.3 y 0.5 % de calcio los que presentaron menor salida de electrolitos (Cuadro 28). En los frutos almacenados por cinco semanas en refrigeración, tanto en la evaluación inicial como en la de tres horas para el día cero

de evaluación los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio, siendo diferentes al testigo (Cuadro 28). Kirkby y Pilbeam (1984) mencionan que una de las principales funciones del calcio es el papel que desempeña en mantener la estabilidad de membranas y mantener la integridad de las células observando que cuando el calcio se encuentra en bajos niveles se liberan los solutos en el citoplasma, desintegrándose la estructura de la membrana.

Cuadro 28. Permeabilidad en cáscara expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación					
		0		2		4	
		Inicial	3 h	Inicial	3h	Inicial	3 h
3	0.0	35.19 a ^z	35.14 a	35.19 a	43.73 a	23.01 a	24.53 a
	0.3	30.07 ab	30.07 ab	24.30 ab	24.30 b	13.53 b	22.88 a
	0.5	23.82 b	23.82 b	18.52 b	18.52 b	15.47 b	21.70 a
	DMSH	9.17	9.81	14.65	15.17	7.49	8.57
	CV (%)	12.33	19.10	22.49	20.98	17.23	14.85
5	0.0	28.55 a	28.55 a	28.08 a	28.08	23.78 a	23.78 a
	0.3	18.17 b	18.17 b	21.61 a	21.61 a	21.67 a	21.67 a
	0.5	18.22 b	18.22 b	17.40 a	17.40 a	22.01 a	22.01 a
	DMSH	6.43	6.43	11.24	11.24	11.65	11.63
	CV (%)	11.86	11.86	20.06	20.06	20.65	20.65

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.10.2. Permeabilidad de pulpa

Los datos de permeabilidad de membrana en la pulpa de aguacate ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente mostraron que en la evaluación inicial los tratamientos con calcio fueron diferentes al testigo y para el caso de la evaluación a las tres horas el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio comparado con el testigo (Cuadro 29). En lo referente a la permeabilidad de membrana de los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración se pudo apreciar diferencias solamente en la evaluación realizada a las tres horas, siendo los tratamientos con calcio diferentes al testigo (Cuadro 29). En los frutos almacenados por cinco semanas en la evaluación inicial el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio comparado con el testigo, y para la evaluación realizada a las tres horas los tratamientos con calcio fueron mejores.

Cuadro 29. Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente 22 °C		Refrigeración 5 °C			
	Inicial	3 h	3 Semanas		5 Semanas	
			Inicial	3 h	Inicial	3 h
0.0	16.43 a ^z	24.25 a	18.38 a	24.92 a	16.64 a	26.81 a
0.3	12.44 b	21.42 ab	16.32 a	20.69 b	13.53 ab	21.51 b
0.5	12.29 b	19.42 b	14.60 a	19.40 b	12.56 b	18.14 b
DMSH	3.37	4.24	5.36	4.15	3.16	3.78
CV (%)	24.10	19.20	27.13	15.93	18.50	14.18

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

En la evaluación de la permeabilidad de membrana de la pulpa de aguacate ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente, por fechas de evaluación, no se obtuvo diferencias entre tratamientos (Cuadro 30).

Cuadro 30. Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones pre cosecha de nitrato de calcio cada seis semanas almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación							
	0		3		6		9	
	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h	Inicial	3 h
0.0	22.27a ²	25.44 a	13.70 a	24.07 a	16.93 a	31.36 a	12.81 a	16.15 a
0.3	15.47 a	23.92 a	9.56 a	19.81 a	13.38 a	30.16 a	11.79 a	11.79 a
0.5	22.27 a	21.38 a	10.40 a	21.73 a	12.35 a	22.87 a	11.71 a	11.71 a
DMSH	9.45	8.64	5.91	15.92	11.30	8.60	4.77	5.70
CV (%)	21.75	14.63	21.02	29.05	31.71	12.20	15.74	17.50

² Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Al evaluar la permeabilidad de membrana de los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración sólo se detectaron diferencias significativas en el día cuatro de evaluación siendo el tratamiento con 0.5 % de calcio mejor con respecto al testigo (Cuadro 31), esto en la evaluación realizada a las tres horas. Por otra parte en los frutos almacenados por cinco semanas se aprecian diferencias significativas el día cuatro, para la evaluación inicial los mejores tratamientos fueron los de calcio, y para la evaluación a las tres horas el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio en las otras fechas de evaluación los tratamientos con calcio presentaron menores valores de electrolitos perdidos, sin ser diferentes al testigo (Cuadro 31).

Cuadro 31. Permeabilidad en pulpa expresada en pérdida de electrolitos (%) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación					
		0		2		4	
		Inicial	3 h	Inicial	3h	Inicial	3 h
3	0.0	15.10 a ^z	18.28 a	22.96 a	28.67 a	17.07 a	28.21 a
	0.3	12.12 a	15.11 a	20.63 a	28.28 a	16.23 a	18.29 ab
	0.5	13.06 a	16.57 a	18.49 a	26.98 a	12.25 a	14.54 b
	DMSH	5.71	5.83	16.13	6.52	9.04	12.21
	CV (%)	19.97	13.97	31.11	9.17	23.76	23.91
5	0.0	13.14 a	23.92 a	20.00 a	28.55 a	16.77 a	27.95 a
	0.3	12.73 a	20.37 a	14.87 a	22.81 a	12.99 b	21.36 b
	0.5	13.53 a	22.58 a	10.81 a	18.81 a	13.05 b	13.05 c
	DMSH	4.20	7.56	10.01	11.00	3.50	2.75
	CV (%)	12.76	13.54	26.24	18.78	9.81	5.28

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.11. Actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO) en aguacate ‘Fuerte’

El análisis de varianza detectó diferencias entre tratamientos tanto en los frutos almacenados a temperatura ambiente como en refrigeración, en la actividad de la PPO. En los frutos almacenados a temperatura ambiente y a 5 °C por tres semanas los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 32). Para cinco semanas en refrigeración el mejor tratamiento fue el de 0.5 % el cual presentó los menores valores en la actividad de la enzima PPO (Cuadro 32).

Los frutos almacenados a temperatura ambiente presentaron una menor actividad de PPO que los refrigerados, esto pudo ser asociado con un daño por frío en los frutos refrigerados, ya que fueron estos los que presentaron mayores niveles de absorbancia indicando un mayor daño, en este sentido Wang (1982) señaló que una de las respuestas de los tejidos vegetales a los daños por frío incluyen la acumulación de polifenoles que favorecen el oscurecimiento de los tejidos así como también el cambio de sustancias pécticas de insolubles a solubles.

Los frutos testigo tuvieron una mayor actividad de la polifenoloxidasas, y por ende un mayor potencial de oscurecimiento, ya que como mencionaron Kader and Chordas (1984) y Bower *et al.* (1990), el potencial de oscurecimiento depende de la cantidad total de compuestos fenolicos y de los niveles de actividad de la polifenoloxidasas (PPO) EC 1.14.18.1, enzima que cataliza el oscurecimiento enzimático.

Cuadro 32. Actividad de polifenoloxidasas (U·g⁻¹de peso fresco) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones pre cosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración (5 °C)	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	937.05 a ^z	1328.46 a	1691.73 a
0.3	767.89 b	904.55 b	1000.45 b
0.5	741.39 b	717.50 b	609.45 c
DMSH	149.34	191.7	221.67
CV (%)	17.96	19.11	16.74

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Al analizar los datos por fecha de evaluación en los frutos almacenados a temperatura ambiente se pudo observar que sólo existieron diferencias entre tratamientos en el día tres de evaluación, en donde los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio, los cuales tuvieron menor actividad de la PPO (Cuadro 33).

Cuadro 33. Actividad de polifenoloxidasas ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
	0	3	6	9
0.0	1222.8 a ^z	892.66 a	862.32 a	770.4 a
0.3	799.4 a	691.58 b	841.03 a	739.6 a
0.5	1125.0 a	648.55 b	649.0 a	542.1 a
DMSH	468.91	184.37	296.41	443.75
CV (%)	17.84	9.88	15.08	25.89

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

La actividad de la polifenol oxidasa presentó diferencias en los días cuatro y seis de evaluación, durante el almacenamiento a tres semanas, siendo los mejores tratamientos los frutos que tuvieron calcio (Cuadro 34). En la evaluación de cinco semanas se detectaron diferencias entre tratamientos, para los días cero y cuatro de evaluación, donde el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio y para el día dos de evaluación fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 34).

En general se encontró que los frutos tratados con calcio presentaron una menor actividad de la enzima polifenoloxidasas, ya que como se ha señalado el papel del calcio

en mantener frutos de aguacate de buena calidad particularmente después de un periodo de refrigeración es debido a que mantiene una separación entre la enzima polifenoloxidasa y el sustrato fenólico localizado en la vacuola (Bangerth, 1979; Bower y Cutting, 1988). Se relaciona a la polifenoloxidasa, con el oscurecimiento de los frutos debido a que permite que monofenoles sean convertidos a difenoles por medio de la hidrolización de enzimas y después a ortoquinonas por medio de enzimas oxidasas, posteriormente toma lugar la polimerización espontánea durante la cual se forma la melanina siendo responsable del color oscuro (Kruger *et al.*, 1999).

Cuadro 34. Actividad de polifenoloxidasa (U·g⁻¹ de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
		0	2	4	6
3	0.0	1260.4 a ^z	1367.8 a	1048.91 a	1636.8 a
	0.3	1217.4 a	1300.3 a	422.55 b	878.0 b
	0.5	875.90 a	1163.9 a	303.89 b	526.3 0 b
	DMSH	418.55	689.64	128.57	469.26
	CV (%)	14.94	21.55	8.67	19.78
5	0.0	1581.1 a	1750.9 a	1743.2 a	
	0.3	1027.2 b	854.6 b	1119.6 b	
	0.5	547.6 c	573.4 b	707.4 c	
	DMSH	452.75	526.87	395.7	
	CV (%)	17.81	19.84	13.27	

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.12. Actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO) en aguacate 'Hass'

La actividad de PPO en los frutos de 'Hass' almacenados a temperatura ambiente, fue menor en los tratamientos con 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 35). Los frutos con 0.5 % de calcio y almacenados por tres semanas en refrigeración fueron los que presentaron menor actividad de PPO (Cuadro 35) y en los almacenados por cinco semanas los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio.

Las aspersiones de calcio en precosecha incrementaron el porcentaje de calcio en la pulpa de aguacate disminuyendo la actividad de la polifenoloxidasas ya que como señaló Saucedo (1991) el calcio reduce la oxidación y contenido de diversos compuestos fenólicos lo que evidentemente influye en la detención del oscurecimiento de los frutos.

Cuadro 35. Actividad de polifenoloxidasas ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate 'Hass' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados temperatura ambiente y a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración 5 °C	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	441.24 a ^z	457.28 a	491.70 a
0.3	373.63 b	408.36 b	356.58 b
0.5	367.01 b	354.32 c	367.30 b
DMSH	64.59	46.66	93.43
CV (%)	16.08	9.53	19.16

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Los resultados de la actividad de la PPO de los frutos de ‘Hass’ almacenados a temperatura ambiente por fecha de evaluación mostraron diferencias en el día seis de evaluación, siendo el tratamiento con 0.5 % de calcio el que presentó menor actividad de PPO en comparación con el testigo y en los demás días no se encontraron diferencias (Cuadro 36).

Cuadro 36. Actividad de polifenoloxidasas ($U \cdot g^{-1}$ de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
	0	3	6	9
0.0	635.33 a ^z	653.20 a	201.59 a	274.95 a
0.3	561.88 a	579.84 a	128.24 ab	224.55 a
0.5	561.38 a	605.29 a	100.80 b	200.60 a
DMSH	186.81	210.76	87.71	117.31
CV (%)	12.72	13.72	24.39	20.06

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

En lo que respecta a la actividad de la PPO en los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración, el análisis de varianza detectó diferencias en el día cuatro de evaluación siendo los tratamientos con 0.3 y 0.5 % de calcio los que presentaron menor actividad de PPO, respectivamente (Cuadro 37). En los frutos almacenados por cinco semanas en refrigeración, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Los tratamientos con calcio presentaron menores niveles de la enzima polifenoloxidasas, Kirkby and Pilbeam (1984) señalaron que los compuestos de melanina (oscuros) resultan

de la oxidación de fenoles los cuales se asocian con tejidos con bajos niveles de calcio, mientras que en tejidos con cantidades adecuadas de calcio la oxidación es inhibida por el calcio al mantener separada la enzima del sustrato fenólico.

Cuadro 37. Actividad de polifenoloxidasas (U·g⁻¹ de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones pre cosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación		
		0	2	4
3	0.0	558.42 a ^z	313.86 a	499.55 a
	0.3	548.46 a	306.61 a	370.02 b
	0.5	538.95 a	242.75 a	281.25 b
	DMSH	72.98	73.43	128.59
	CV (%)	5.82	10.18	13.38
5	0.0	550.73 a	530.80 a	393.57 a
	0.3	401.27 a	386.32 a	282.16 a
	0.5	460.60 a	358.24 a	283.06 a
	DMSH	244.75	200.31	116.28
	CV (%)	20.74	18.80	14.52

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

4.13. Daño por frío en aguacate ‘Fuerte’

Los resultados de la variable daño por frío, cuantificados por absorbancia (nivel de oscurecimiento de la pulpa), mostraron que no existieron diferencias significativas entre tratamientos en los frutos almacenados a temperatura ambiente, dado que estos no sufrieron este desorden. Se encontraron diferencias significativas en tres y cinco

semanas en refrigeración resultando mejores tratamientos los frutos que tuvieron 0.3 y 0.5 % de calcio, ya que presentaron menores niveles de absorbancia que el testigo (Cuadro 38).

Los resultados de la variable daño por frío, cuantificados por absorbancia (nivel de oscurecimiento de la pulpa), fueron un poco mayores a los que reportó Escutia (1990), quien aplicó diferentes concentraciones de cloruro de calcio, tiempos de inmersión y días de almacenamiento refrigerado 4 °C, en aguacate 'Fuerte' reportando valores de absorbancia de 1.071 en los frutos almacenados por 20 días y de 1.18 nm en los frutos almacenados por 40 días, encontrando que los tratamientos que no se trataron con calcio presentaron una mayor incidencia de daños por frío, resultando mejor el tratamiento con 3 % de cloruro de calcio durante 30 minutos de inmersión.

Witney *et al.* (1990) mencionaron que los efectos de los daños por frío en frutos de aguacate como producto de un periodo de almacenamiento son a nivel de membrana, provocando su ruptura y además un desorden celular que se manifiesta en la pérdida de firmeza de los frutos. Resultados similares se observaron en los frutos que no fueron tratados con calcio y almacenados en refrigeración al presentar un mayor daño por frío y una pérdida de firmeza mayor.

Cuadro 38. Daño por frío medido como absorbancia (nm) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente y 5 °C por 3 y 5 semanas.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Ambiente	Refrigeración 5 °C	
	22 °C	3 Semanas	5 Semanas
0.0	1.30 a ^z	2.52 a	2.24 a
0.3	1.28 a	2.04 b	1.87 b
0.5	1.23 a	2.04 b	1.68 b
DMSH	0.07	0.21	1.68
CV (%)	5.65	9.67	7.20

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Al analizar los datos de daño por frío, por día de evaluación en los frutos almacenados a temperatura ambiente no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, ya que estos no fueron sometidos a refrigeración, solo se muestran estos datos para tener un punto de comparación con relación a los frutos refrigerados (Cuadro 39).

Cuadro 39. Daño por frío medido como absorbancia (nm) por día de evaluación en frutos de aguacate ‘Fuerte’ tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a temperatura ambiente.

Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación			
	0	3	6	9
0.0	1.28 a ^z	1.35 a	1.25 a	1.34 a
0.3	1.30 a	1.34 a	1.15 a	1.32 a
0.5	1.21 a	1.30 a	1.17 a	1.25 a
DMSH	0.23	0.12	0.28	0.13
CV (%)	7.32	3.59	6.98	4.18

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación