

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**El calcio y su efecto en postcosecha de aguacate 'Hass' y
'Fuerte'**

TESIS

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

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

**Presenta:
Jesús Herrera Basurto**

Chapingo, Edo. de México. enero de 2007.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura

El calcio y su efecto en postcosecha de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’

La presente investigación fue realizada por Jesús Herrera Basurto, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTORA DE TESIS



Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

ASESOR



Dr. Alejandro F. Barrientos Priego

ASESORA



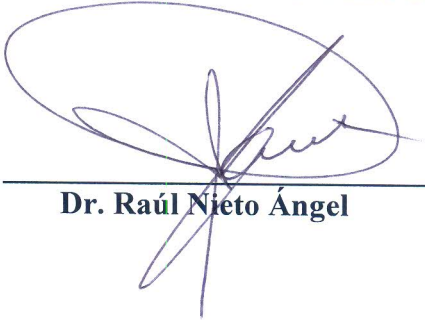
Dra. Ma. Teresa Colinas León

ASESORA



Dra. Ana María Castillo González

LECTOR EXTERNO



Dr. Raúl Nieto Ángel

AGRADECIMIENTOS

A dios todopoderoso, en primer lugar por prestarme la vida, donarme una pequeño haz de luz suficiente para el funcionamiento de mi raciocinio, sin el cual, hubiera sido imposible cumplir con esta meta: *“todo lo puedo en aquel que me fortalece (Filipenses 4:13)”*.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de los estudios de Doctorado en Ciencias en Horticultura.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), por el permiso y el apoyo económico otorgado para la realización de los estudios de Doctorado, en su quehacer de formación de recursos humanos.

A la Facultad de Agrobiología “Pte. Juárez”, dependencia que me vió nacer como profesionista y que me brindó la oportunidad de tener una mejor preparación académica.

A la Dra. Ma. Teresa Martínez Damián, por presidir el Consejo Asesor y dirigir la presente Investigación, así como por sus múltiples enseñanzas y orientaciones durante los estudios de doctorado.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego, por formar parte del Consejo Asesor y por su muy atinada asesoría en la investigación, así como por sus buenas enseñanzas y por darme la oportunidad de trabajar en el laboratorio de Fisiología de Frutales.

A la Dra. Ma. Teresa Colinas León, por formar parte del Consejo Asesor, sus múltiples asesorías para el desarrollo de la investigación sobre postcosecha, por la revisión de los escritos y por las facilidades otorgadas para trabajar en el laboratorio de usos múltiples.

A la Dra. Ana María Castillo González, por formar parte del Consejo Asesor, sus enseñanzas en nutrición, las asesorías y revisiones de los escritos, particularmente en el área de nutrición.

Al Dr. Raúl Nieto Ángel por haber formado parte del jurado como lector externo y sus valiosas sugerencias.

Al M.C. Claudio Arturo Pérez Mercado y al señor Antonio Días Santoyo: responsable y encargado del laboratorio de Nutrición de Frutales, respectivamente, por haberme brindado la oportunidad, la confianza y las facilidades para tener, prácticamente, el laboratorio a mi disposición, para realizar la parte de nutrición de la presente investigación.

A la Sra. Ángela Barrera Cortés, por su apoyo en el trabajo físico durante el desarrollo de toda la fase de laboratorio.

A la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C., por haberme proporcionado los huertos de aguacate donde se realizó la investigación.

Al Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, por permitirme realizar los estudios de doctorado.

A todos los profesores del Instituto de Horticultura y del Programa de Postgrado en Horticultura del Departamento de Fitotecnia, por sus múltiples enseñanzas durante los estudios.

Al M.C. Heladio Santacruz Ulibarri y la Dra. Ercelia Angel Palomares, por sus atinados consejos y amistad desinteresada.

A los señores Anastacio Herrera Coronel y Cecilio Bautista Bañuelos, responsables del laboratorio de Usos múltiples, del Departamento de Fitotecnia de la UACH; quienes me brindaron su apoyo.

DEDICATORIA

A dios todo poderoso, por su inmensa sabiduría y poder.

A mi madre: la Sra. **Cointa Basurto Montaña**, por haberme dado la vida y por ser el amor más grande que dios me dió, que dios la bendiga, la conserve y la cuide por siempre, con todo mi amor y eterno agradecimiento.

A la memoria de mi padre y hermano: Antonio Herrera Torres (†) y Apolonio Herrera Basurto (†), cuyo impulso para lograr el doctorado fue muy determinante.

A Guillermina Alvarez García, mi mujer y compañera, por su amor, comprensión y apoyo durante los estudios de doctorado, y por haberme dado los dos más grandes tesoros del mundo.

A mis hijos: Jesús y Paola Guillermina Herrera Alvarez, por darle sentido a mi vida y por ser los motivos más grandes de superación.

A mis hermanos: José Luis, Cupertino, Ernestina, Emilio, Nina y Ma. de los Ángeles, por su apoyo moral y ejemplos de trabajo. De igual manera, a mis cuñados, sobrinos y tíos, con mucho cariño.

A mis compañeros de generación de doctorado: Eusebio Martínez, J. Jesús Magdaleno, Juan Carlos Reyes Alemán y Jorge Ayala, por el apoyo y convivencia durante los estudios doctorales.

A mis amigos y compañeros de la Facultad de Agrobiología “Pte. Juárez”: Margarita Herrera Mares, Socorro Ruíz Armas, Socorro Esquivel Pérez, Luis Francisco Huanosto Mercado, Jorge Campos Avila, Blanca Nieves Lara Chavez, Gloria Salgado Soriano y Eva López Soto.

A todas aquellas personas de la Facultad de Agrobiología “Pte. Juárez”, y del Departamento de Fitotecnia de la UACH, que de manera involuntaria omití, pero que siempre me apoyaron.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el 3 de abril de 1965 en El Bejuco, Municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México. Estudió la carrera de Ingeniero Agrónomo con especialidad en “Fruticultura” en la Facultad de Agrobiología “Pte. Juárez” dependiente de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), de 1982 a 1987. Los estudios de Maestría en Ciencias en Fruticultura, en el Programa de Fruticultura del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México de 1996 a 1998 y los estudios de Doctorado en Horticultura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo del 2003 al 2006.

Ha laborado como académico en la Facultad de agrobiología “Pte. Juárez” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, desde el año de 1983; a partir de 1988 se ha desempeñado en actividades de docencia, principalmente en materias de Fruticultura. Ha sido organizador y coordinador de diplomados sobre fruticultura y cultivo del durazno; también ha participado en asesorías de tesis a nivel profesional.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN GENERAL	iii
GENERAL ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN GENERAL	v
Objetivos	vi
I. ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL DE HOJA, CÁSCARA Y PULPA DE AGUACATE CV. HASS	1
1.1 Resumen	2
1.2 Introducción	3
1.3 Materiales y Métodos	5
1.4 Resultados y Discusión	7
1.5 Conclusiones	15
1.6 Literatura Citada	15
II. ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL DE HOJA, CÁSCARA Y PULPA DE AGUACATE CV. FUERTE	19
2.1 Resumen	20
2.2 Introducción	21
2.3 Materiales y Métodos	23
2.4 Resultados y Discusión	25
2.5 Conclusiones	33
2.6 Literatura Citada	34
III. ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA FISIOLOGÍA POSTCOSECHA DEL FRUTO DE AGUACATE CV HASS	37
3.1 Resumen	38
3.2 Introducción	40
3.3 Materiales y Métodos	42
3.4 Resultados y Discusión	46
3.5 Conclusiones	90

3.6 Literatura Citada	91
IV. ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA FISIOLÓGÍA POSTCOSECHA DEL FRUTO DE AGUACATE CV. FUERTE	98
4.1 Resumen	99
4.2 Introducción	101
4.3 Materiales y Métodos	102
4.4 Resultados y Discusión	107
4.5 Conclusiones	146
4.6 Literatura Citada	147
V. DISCUSIÓN GENERAL	154
VI. CONCLUSIONES GENERALES	165
VII LITERATURA CITADA GENERAL	169

RESUMEN GENERAL

A fin de cuantificar el efecto de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en precosecha, sobre el contenido nutrimental en hoja, cáscara y fruto, así como su efecto sobre la vida postcosecha de los frutos de aguacate, se realizaron aplicaciones en árboles del cv. Hass y Fuerte con tres concentraciones 0, 0.3 y 0.5 %, cada quince días a partir de septiembre del 2003 hasta enero del 2004. La colecta de hoja se realizó en marzo del 2004 y enero del 2005; y la del fruto fue en abril del 2004 y en marzo del 2005 para 'Hass'. Para 'Fuerte', la cosecha se realizó en febrero del 2004 y marzo del 2005. En los frutos, además se evaluaron variables fisiológicas postcosecha. Los efectos de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no fueron evidentes en 'Hass', pero si en 'Fuerte' durante el año de aplicación, además, el contenido de calcio fue mayor al año siguiente de la aplicación en cáscara y pulpa para 'Hass', pero en 'Fuerte' sólo fue en cáscara. Durante el primer año la relación K/Ca fue más alta en hoja, cáscara y pulpa de ambos cultivares; así como también en la relación N/Ca en 'Hass'. Los frutos de 'Hass' y 'Fuerte' tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron menor pérdida de peso, mayor número de días a maduración, mantuvieron el color verde de la cáscara, registraron menor permeabilidad de membrana y tuvieron una calidad organoléptica muy parecida a la del testigo. Concluyéndose que las aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ fueron benéficas en la postcosecha de ambos cultivares.

Palabras clave adicionales: *Persea americana*, nutrición, postcosecha, disminución de daños.

GENERAL ABSTRACT

In order to quantify the effect of applied Ca foliar sprays on the nutrient content of leaf, rind and fruit, as well as on the postharvest life of the latter, preharvest foliar sprays of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ at three concentrations (0%, 0.3% and 0.5%) were applied on ‘Hass’ and ‘Fuerte’ avocado trees every fifteen days from September 2003 to January 2004. Leaves of both cultivars were sampled in March 2004 and then again in January 2005; ‘Hass’ fruit were collected in April 2004 and then in March 2005, whereas ‘Fuerte’ fruit were harvested in February 2004 and then again in March 2005. Physiological parameters of the fruit were also evaluated. The effect of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ concentrations was not evident in ‘Hass’ but was for ‘Fuerte’ during the first year. However, during the second year, the Ca content was higher in both the ‘Hass’ rind and pulp, whereas it was only higher in the ‘Fuerte’ rind. During the first year, K/Ca ratio in leaves, rind, and pulp was higher in both cultivars during the first year than in the second; the N/Ca ratio was higher in the leaves, rind and pulp of ‘Hass’ only. In both cultivars, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ treated fruit had less weight loss, the ripening period was longer, the green color of the rind lasted longer, and membrane permeability was lower than those of the untreated control; the organoleptic quality was similar in treated and non-treated fruit. This research shows preharvest foliar sprays of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ are beneficial in both Hass and Fuerte cultivars.

Additional key words: *Persea americana*, nutrition, postharvest, damage reduction.

EL CALCIO Y SU EFECTO EN POSTCOSECHA DE AGUACATE ‘HASS’ Y ‘FUERTE’

INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción mundial de aguacate se estima en 1.8 millones de toneladas anuales, de las cuales, México aporta el 40 % del volumen total, es decir, 720,000 toneladas producidas en 90,000 hectáreas en plena producción, de 120,000 hectáreas establecidas; estadísticas que continúan acaparando la atención de la actividad productora del aguacate en las distintas áreas de trabajo, principalmente con relación a la comercialización del fruto, el cual es solicitado ampliamente tanto en el mercado nacional como en el exterior (Santacruz, 2004).

Con la apertura del tratado de libre comercio en México se presentan grandes oportunidades para la comercialización del aguacate, principalmente hacia los Estados Unidos y Canadá, dado que sólo se exporta el 8 % de la producción total del país (Avila-Quezada *et al.*, 2005); es precisamente la exportación de la fruta la que se ve limitada por una serie de problemas postcosecha, dentro de los cuales se encuentra su corta vida de anaquel, situación que ha generado la aplicación de medidas como la refrigeración que permitan incrementar el tiempo de almacenamiento (Solís-Frairé *et al.*, 1998), aunque esta medida tiene como principal limitante para el almacenamiento de aguacate el desarrollo de daños por frío (Wolf *et al.*, 2003), desorden fisiológico que puede presentarse en muchos frutos tropicales y subtropicales cuando se almacena a bajas temperaturas (3 a 7 °C) por periodos largos (Hofman *et al.*, 2002).

El daño por frío es un desorden fisiológico que afecta la integridad y funcionamiento de las membranas celulares, modificando el estado de los ácidos grasos presentes de líquido cristalino a gel sólido (Saucedo-Hernández *et al.*, 2005); diversos trabajos de investigación en el tema han concluido que los bajos niveles de calcio en el fruto se encuentran asociados con la susceptibilidad del aguacate a los desórdenes como el daño por frío (Vorster *et al.*, 1989). La

presencia de desórdenes fisiológicos se ha documentado desde el siglo XIX y no fue hasta mediados del siglo XX que se asociaron con los bajos contenidos de calcio en el fruto (Penter y Stassen, 2000).

El calcio es importante en el fruto porque incrementa la estabilidad de la membrana y aumenta la resistencia de la pared celular (Penter y Stassen, 2000); por consiguiente, este elemento mineral afecta la firmeza y la senescencia del fruto por medio de la alteración de los procesos extra e intracelulares (Buccheri y Di Vaio, 2004), al grado tal, que cuando la disponibilidad de este nutrimento es inadecuada, la pared celular pierde su integridad, ocasionando desórdenes fisiológicos (Dilmaghani *et al.*, 2004), como en el caso del aguacate (Swarts, 1984). En general, los contenidos de calcio en el fruto son relativamente bajos (Tagliavini *et al.*, 2000), debido a la desequilibrada distribución del nutrimento en la planta una vez asimilado y por la lenta movilización en la hoja hacia el fruto (Penter y Stassen, 2000), es por ello que se considera que el calcio aplicado al follaje en precosecha pudiera ser una opción para hacerle llegar al fruto el calcio necesario que requiera

Saucedo-Hernández *et al.* (2005) han señalado el efecto benéfico de las aspersiones de nitrato de calcio al follaje en precosecha, sobre el incremento del nutrimento en el fruto, disminución sustancial del porcentaje de pérdida fisiológica de peso, la producción de CO₂, etileno y los daños por frío; así como el incremento de la firmeza, en frutos de aguacate cv. Fuerte, almacenados tanto en ambiente como en refrigeración.

Con base en lo anterior, los objetivos de la presente investigación fueron:

1. Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares precosecha de nitrato de calcio [Ca(NO₃)₂] sobre la concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa de aguacate cvs. Hass y Fuerte.

2. Estudiar el efecto de las aplicaciones foliares precosecha de nitrato de calcio en la calidad y fisiología postcosecha del fruto de aguacate cvs. Hass y Fuerte y su conservación mediante refrigeración.

**I. ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA
CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL DE HOJA, CÁSCARA Y PULPA DE
AGUACATE CV. HASS**

ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL DE HOJA, CÁSCARA Y PULPA DE AGUACATE CV. HASS

J. Herrera-Basurto[¶]; M. T. Martínez-Damián; A. M. Castillo-González; A. F. Barrientos-Priego; M. T.

Colinas-León

Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230, México. Correo-e: mcjhbasurto@hotmail.com ([¶]autor responsable)

RESUMEN

Con la finalidad de estudiar el efecto del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, se realizaron aspersiones foliares en árboles de aguacate cv. Hass de 9 años de edad, cuando el fruto tenía un desarrollo de 3.5 meses y 4 cm de diámetro, con tres concentraciones 0, 0.3 y 0.5 %, cada quince días a partir de la segunda quincena de septiembre del 2003 hasta principios de enero del 2004 (siendo un total de 11 aspersiones). Las colectas de hoja se realizaron en marzo del 2004 para el primer año, y en enero del 2005 para el segundo. Se evaluó la concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa. Los resultados obtenidos indicaron que no existió un incremento de la concentración de N, P, K, Ca y Mg en hoja, cáscara y pulpa por efecto de concentración; sin embargo, los nutrimentos analizados tuvieron un comportamiento distinto en cada uno de los dos años de evaluación, observándose incremento de N y K en hoja, cáscara y pulpa durante el primer año; P y Mg en hoja y P, Ca y Mg en cáscara y pulpa, respectivamente durante el segundo año. Además, las relaciones N/Ca y K/Ca fueron mayores durante el primer año.

Palabras clave adicionales: *Persea americana* Mill., $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, nutrimentos, relación N/Ca y

K/Ca.

FOLIAR ASPERSIONS OF CALCIUM NITRATE IN NUTRIENT CONTENT IN LEAF, PEEL AND PULP IN AVOCADO TREES CV. HASS

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate foliar aspersions of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ during preharvest in 9 year old avocado trees cv. Hass, when the fruits were 3.5 months old (4 cm diameter). Three concentrations 0, 0.3 and 0.5 % were applied every 15 days starting the third week in September 2003 until the first week in January 2004 (a total of 11 aspersions) . Leaf samples were taken in March 2004 in the first year and January 2005 in the second year. Nutrient evaluation was done in leaf, peel and pulp. Results obtained indicate that there is no increase in N, P, K, Ca and Mg content in leaf, peel and pulp due to the different concentrations applied; however, the nutrients analyzed showed a different behavior comparing the two years evaluated, obtaining an increase in N and K in leaf, peel and pulp during the first year; P and Mg in leaf, P, Ca y Mg in peel and pulp, respectively during the second year. Additionally, the ratios N/Ca and K/Ca were high during the first year.

Additional key words: *Persea americana* Mill., $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, nutrients, N/Ca and K/Ca ratio.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate en México comprende una superficie de 94,904 hectáreas, siendo el estado de Michoacán el principal productor con 82.7 % del total de la superficie nacional (Osuna *et al.*, 2005). Los frutos de aguacate poseen un alto valor nutritivo y de importancia tradicional en la dieta mexicana, así como para el mercado de exportación, además de ser una

fuentes de ingreso de divisas para el país. La exportación de aguacate se ve limitada por problemas en postcosecha, debido a que se trata de un fruto climatérico y esto hace que la vida de anaquel sea muy corta, lo que ha obligado a buscar métodos que permiten incrementar el periodo de almacenamiento, tal es el caso de la refrigeración, con el inconveniente de la inducción de daños por frío, un desorden fisiológico que puede hacerse presente en muchos frutos tropicales y subtropicales, lo que origina que no pueda ser almacenado a temperaturas por debajo de (7 °C) por periodos largos (Hofman *et al.*, 2002).

El desarrollo de desórdenes durante la maduración y especialmente durante el almacenamiento a bajas temperaturas, pueden ser modificados por las condiciones ambientales precosecha (Ferguson *et al.*, 1999), principalmente la nutrición mineral, un aspecto que incide sobre la calidad del fruto y la aparición de desórdenes fisiológicos, los cuales dependen tanto del contenido como del balance nutrimental que se tenga en el fruto; afectando la concentración de sólidos solubles totales que está positivamente relacionada con el contenido de potasio; además, los bajos contenidos de nitrógeno y altos niveles de calcio en el fruto durante el almacenamiento incrementan la calidad del fruto (Tagliavini *et al.*, 2000). La deficiencia nutrimental es uno de los factores que inciden en mayor grado sobre la calidad del fruto en postcosecha (Penter y Stassen, 2000). La trascendencia del calcio en los procesos fisiológicos de las plantas esta bien documentada en varios estudios (Pintro y Taylor, 2005).

Desde mediados del siglo XIX, una amplia gama de desórdenes internos en frutas y hortalizas eran considerados de índole natural, pero fue hasta los años 30s y 40s del siglo XX que dichos desórdenes se encontraron que estaban asociados con los bajos contenidos de calcio; estos trabajos han permitido relacionar que los bajos niveles de calcio estan vinculados directamente con los desórdenes como la “mancha amarga”, “mancha corchosa”, “decaimiento interno” y “decaimiento de lenticelas en frutos de manzana”, y “pudrición del extremo floral en tomate”, sandía y pimiento.

El calcio tiene como función importante el incremento de la estabilidad de las membranas y la resistencia de la pared celular (Penter y Stassen, 2000). Por consiguiente, este elemento mineral afecta firmeza y la senescencia del fruto por medio de la alteración de los procesos extra e intracelulares (Buccheri y Di Vaio, 2004). Aunque el calcio es probablemente el elemento más abundante en las plantas, los contenidos de este elemento dentro del fruto son relativamente bajos (Tagliavini *et al.*, 2000); esto es debido principalmente al lento movimiento dentro de la planta atribuido a su peso molecular (Marshner, 1986), y a la desequilibrada distribución del nutrimento en las diferentes partes de la planta (Penter y Stassen, 2000).

La aplicación de calcio en precosecha es un método más común para incrementar la concentración de calcio en frutos de manzana (Dilmaghani *et al.*, 2004) y en aguacate, la aplicación de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ al follaje ha proporcionado resultados satisfactorios, disminuyendo el porcentaje de pérdida de peso del fruto, firmeza, producción de CO_2 , etileno y los daños por frío en frutos de aguacate cv. Fuerte almacenados tanto en ambiente como en refrigeración (Saucedo-Hernández, *et al.*, 2005). Con base en lo anterior, en la presente investigación se planteó evaluar el efecto de las aplicaciones foliares precosecha de nitrato de calcio $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ sobre la concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa de aguacate ‘Hass’.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Coatepec Harinas, Estado de México, México; en una plantación de aguacatero cultivar Hass injertado sobre portainjertos provenientes de semilla de la raza Mexicana, en árboles de 9 años de edad, ubicado en la parcela “Los Encinos” del campo experimental “La Cruz” perteneciente a la Fundación Salvador Sánchez Colín (CICTAMEX, S.C.). La región se localiza entre las coordenadas $99^\circ 48.5'$ de LW y $18^\circ 54.5'$ y $18^\circ 56.3'$ de LN; a una altitud de 1,750 m. El clima es $\text{C}(\text{w}_2)\text{w}$; templado subhúmedo con lluvias en verano;

temperatura media anual de 17.7 °C; precipitación media de 1,100 mm anuales, distribuída en su mayoría entre junio y octubre. El suelo es andosol, de textura franca, ligeramente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico (Solís-Fraire *et al.*, 1998).

El $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ utilizado en las aplicaciones foliares a los árboles fue de grado reactivo, y se usaron concentraciones de 0, 0.3 y 0.5 %, considerada cada una de estas como tratamientos, las aplicaciones se realizaron cuando los frutos de aguacate tenían 3.5 meses de desarrollo, equivalente a 4 cm de diámetro. En las soluciones se adicionó un adherente, Atlox ($0.5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$) para facilitar la penetración del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. La aspersión se realizó a los árboles a punto de goteo con un aspersor utilizando la fuerza de un tractor, a una dosis de 10 litros por árbol. La primera aplicación spersión fue el 16 de septiembre del 2003 y las siguientes fueron cada 15 días hasta llegar al 10 de enero de 2004, logrando un total de 11 aplicaciones antes de la cosecha, y la hora de aplicación fue entre las 9 y 10:30 de la mañana.

El experimento se planteó en un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos 3×2 , donde los factores fueron las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.0, 0.3 y 0.5 %) y los años de evaluación (2004 y 2005), respectivamente. La unidad experimental utilizada fue un árbol con cinco repeticiones. Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza, utilizando la prueba de Tukey para la separación de medias a un nivel de $P \leq 0.05$.

La evaluación del efecto del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se hizo en hoja, cáscara y pulpa, tres meses después de realizada la última aplicación en el primer año, y al momento de la cosecha del fruto en el segundo año. Para estas evaluaciones se colectaron muestras de tres frutos por repetición en cada uno de los tratamientos, los cuales se encontraban en plena madurez fisiológica (color verde-negro en cáscara, conocido como 3/4) y 60 hojas maduras de cada planta de aproximadamente cuatro meses de edad, 15 por cada punto cardinal (Norte, Sur, Este y Oeste) expuestas en la periferia del árbol y a la misma altura, las cuales se encontraban en la posición intermedia del brote.

Ya en el laboratorio las hojas se lavaron, primero con agua potable y tres veces con agua destilada, esto para eliminar las impurezas presentes; después se secaron en estufa de aire forzado por 72 horas a 65 °C; de igual manera, las porciones de pulpa y cáscara se secaron en horno de microondas de alta temperatura por 20 minutos aproximadamente. Para la determinación de N se usó 0.1 g de muestra seca que se sometió a digestión húmeda con una mezcla de ácidos sulfúrico y salicílico. La concentración se determinó por el método de microkjeldahl. Para la determinación de P, K, Ca y Mg se utilizaron 0.5 g de muestra seca que se sometieron a digestión húmeda con ácidos nítrico, perclórico y sulfúrico. La concentración de P se determinó por el método del molibdo vanadato amarillo, la absorbancia se registró a 470 nm en un espectrofotómetro Spectronic 20 Bauch & Lomb. La concentración de K se determinó con un fotómetro de flama Corning 400. Las concentraciones de Ca y Mg se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, registrando la absorbancia en un espectrofotómetro Pye Unicam SP9 de Phillips a 422.7 y 285.2 nm, respectivamente, de acuerdo con los procedimientos indicados por Chapman y Pratt (1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa

En hoja no se encontraron diferencias entre el efecto de las concentraciones asperjadas sobre la concentración de N, P, K, Ca y Mg. El efecto generado entre años, sobre la concentración nutrimental, señaló diferencias en la concentración de N, P, K y Mg; observando que el primer año el N y K tuvieron los valores más altos, mientras que en el segundo se presentaron los valores más altos para P y Mg; además, el mismo análisis de varianza señaló que no existió interacción concentración x años para todos los nutrimentos analizados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración nutrimental (%) en hoja de aguacate ‘Hass’ por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N	P	K	Ca	Mg
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)						
	0.0	1.81 a ^z	0.402 a	2.250 a	1.776 a	0.581 a
	0.3	1.56 a	0.405 a	2.055 a	1.741 a	0.581 a
	0.5	1.86 a	0.420 a	2.204 a	1.467 a	0.558 a
	DMSH	0.3326	0.0323	0.7565	0.6437	0.0941
Año (A)						
	Año 2004	1.92 a	0.057 b	3.65 a	1.53 a	0.385 b
	Año 2005	1.57 b	0.760 a	0.68 b	1.78 a	0.761 a
	DMSH	0.2244	0.0218	0.5105	0.4344	0.0635
	CV.	17.03	7.07	31.22	34.69	14.70
	C x A	0.440 ^{ns}	0.884 ^{ns}	0.633 ^{ns}	0.925 ^{ns}	0.2754 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

En cáscara no se tuvieron diferencias entre el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ asperjadas, sobre el contenido nutrimental de los elementos estudiados; sin embargo, el efecto de los años sobre el contenido nutrimental de cáscara resultó ser significativo para el N, P, K, Ca y Mg; observándose que para N y K se tuvieron los valores más altos durante el primer año, en tanto que P, Ca y Mg tuvieron los mayores valores el segundo año de evaluación. Además, no se encontró interacción concentración x años en cáscara (Cuadro 2).

No se encontraron diferencias en el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ asperjadas sobre la concentración nutrimental en pulpa para los nutrimentos analizados. El efecto generado entre los años sobre la concentración de nutrimentos, señaló diferencias para el N, P, K, Ca y Mg; donde se observó que el N y K tuvieron los valores más altos en el primer año, en tanto que P, Ca y Mg los presentaron en el segundo; por otra parte, la interacción concentración x años en pulpa resultó ser significativa solo para N y Mg (Cuadro 3).

Cuadro 2. Concentración nutrimental (%) en cáscara de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N	P	K	Ca	Mg
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)						
	0.0	1.12 a ^z	0.395 a	4.26 a	0.181 a	0.152 a
	0.3	1.17 a	0.406 a	3.65 a	0.187 a	0.157 a
	0.5	1.06 a	0.414 a	3.53 a	0.220 a	0.144 a
	DMSH	0.1795	0.0388	1.6695	0.0423	0.0193
Año (A)						
	Año 2004	1.20 a	0.071 b	6.08 a	0.180 b	0.114 b
	Año 2005	1.03 b	0.738 a	1.55 b	0.212 a	0.188 a
	DMSH	0.1211	0.0262	1.1266	0.0285	0.0131
	CV	14.31	8.58	39.15	19.32	11.47
	C x A	0.4275 ^{ns}	0.2344 ^{ns}	0.1486 ^{ns}	0.3252 ^{ns}	0.1714 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Cuadro 3. Concentración nutrimental (%) en pulpa de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N	P	K	Ca	Mg
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)						
	0.0	0.91 a ^z	0.425 a	3.48 a	0.108 a	0.122 a
	0.3	0.99 a	0.419 a	3.47 a	0.111 a	0.112 a
	0.5	1.00 a	0.414 a	3.33 a	0.111 a	0.118 a
	DMSH	0.1748	0.0279	0.851	0.0213	0.0117
Año (A)						
	Año 2004	1.11 a	0.057 b	5.50 a	0.084 b	0.098 b
	Año 2005	0.82 b	0.781 a	1.59 b	0.135 a	0.136 a
	DMSH	0.1179	0.0188	0.5743	0.0144	0.0079
	CV	16.13	5.96	21.46	17.36	8.93
	C x A	0.036 [*]	0.813 ^{ns}	0.120 ^{ns}	0.841 ^{ns}	0.022 [*]

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

La falta de respuesta en el factor concentración en hoja, cáscara y pulpa pudo haberse debido en parte al lavado de la solución por efecto de las lluvias presentes durante los días de

aplicación (Marschner, 1986), situación que se presentó en forma extraordinaria en el año que se realizaron las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, a la presencia de capas cerosas tanto en el haz como en el envés de la hoja (Whiley *et al.*, 1988) tanto en hojas jóvenes como en las adultas, incluyendo las células guarda alrededor del estoma (Blanke y Lovatt, 1993) y a la movilidad de los nutrimentos en el floema de la planta, debido a que el calcio es uno de los iones cuyo movimiento interno es muy lento (Marschner, 1986). Además, probablemente a la tardía aplicación del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, ya que la absorción de nutrimentos en frutos es más rápida durante las primeras seis semanas después del cuajado del fruto (Partridge *et al.*, 2002). Otros factores que también pudieran estar afectando los resultados son las reservas acumuladas del árbol, producto de prácticas realizadas en años anteriores, el comportamiento de alternancia y el portainjerto pudieron contribuir a no encontrar diferencias entre las concentraciones empleadas (Sánchez y Ramírez, 2000). Estos resultados no coinciden con Solis-Fraire *et al.* (1998) quienes encontraron diferencias por las concentraciones aplicadas en hoja y pulpa de aguacate ‘Hass’, debido probablemente a la mayor concentración empleada (1, 2 y 3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) en el experimento; además, los árboles utilizados fueron de cuatro años de edad con una fase productiva inicial y los del presente experimento tenían nueve años y en plena etapa productiva. También no coinciden con lo reportado por Saucedo-Hernández *et al.* (2005) quienes encontraron diferencias debido a las concentraciones aplicadas de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en cáscara y pulpa de aguacate ‘Fuerte’; esto pudo haber sucedido por efecto del cultivar dado que ‘Fuerte’ presenta la cáscara más delgada y probablemente con mayor capacidad de absorción de nutrimentos aplicados al follaje, que el mismo ‘Hass’.

En los tres órganos analizados, el N tuvo mayor porcentaje en el primer año que en el segundo, lo cual pudo haberse debido a la mayor absorción del nutrimento de la solución del suelo por efecto de dilución en agua producto de las lluvias de la temporada, dado que flujo de masas es el mecanismo principal de entrada del nutrimento, donde el agua desempeña una

importante función (Salazar-García, 2002). El P y Mg se encontraron en mayor concentración en el segundo año, debido a las interacciones entre N x P, y N x Mg, ya que al incrementarse el N en los tejidos, el P también lo hace al crecer la raíz al segundo año, mejorando la absorción tanto de P como de Mg por efecto de mayor intercepción nutrimental (Fageria, 2001). El K presentó las máximas concentraciones durante el primer año, debido probablemente a la interacción que se presentó entre N x K, donde al incrementarse el N en los tejidos, también lo hizo el K, por absorción del suelo (Lahav y Whiley, 2002). Respecto al Ca la concentración fue mayor durante el segundo año en cáscara y pulpa debido probablemente a que este elemento se inmoviliza en la hoja mientras que los frutos en crecimiento con alta tasa metabólica lo demandan, donde el aporte de Ca dependerá directamente de la absorción por las raíces (Himelrick y McDuffie, 1983), donde probablemente se desarrollaron más durante el segundo año incrementando el área de exploración radical por efecto del incremento de N durante el primer año de evaluación (Fageria, 2001).

La falta de interacción concentración x años indica el efecto por separado de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al follaje y el año, para prácticamente todos los nutrimentos tanto en hoja, cáscara y pulpa; con excepción de N y Mg para pulpa, donde si fue influyente tanto la concentración como el año en la respuesta. En general, como se mencionó con anterioridad para la mayoría de los nutrimentos se presentó la misma tendencia dentro de cada año evaluado, lo cual pudo ser debido a la redistribución de nutrimentos de la hoja hacia el fruto la que es particularmente importante durante el crecimiento reproductivo y desarrollo del fruto (Marschner, 1986), de los cuales el N se removiliza del 50 al 70 % y el Mg del 15 al 23 %, con dirección al fruto especialmente en frutales subtropicales (Tagliavini *et al.*, 2000; Salazar-García, 2002).

Relación de nutrimentos N/Ca y K/Ca en hoja, cáscara y pulpa

El análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre las relaciones nutrimentales en hoja, cáscara y pulpa, señalaron que no se presentaron diferencias para las dos relaciones estudiadas: N/Ca y K/Ca. No obstante, el efecto de los años sobre las relaciones nutrimentales indicaron diferencias tanto para la relación N/Ca como para K/Ca en hoja, cáscara y pulpa; observándose que el primer año mostró la mayor relación N/Ca y K/Ca en los tres órganos analizados. Además no se registraron diferencias para la interacción concentración x años en ninguna de las relaciones analizadas en hoja, cáscara y pulpa (Cuadros 4, 5 y 6).

Cuadro 4. Relación de nutrimentos en hoja de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N/Ca	K/Ca
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$			
(%) (C)			
	0.0	1.11 a ^z	1.40 a
	0.3	0.97 a	1.47 a
	0.5	1.52 a	2.12 a
	DMSH	0.5555	1.3808
Año (A)			
	Año 2004	1.43 a	2.92 a
	Año 2005	0.97 b	0.41 b
	DMSH	0.3748	0.9318
	CV	41.23	74.10
	C x A	0.2014 ^{ns}	0.3477 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Cuadro 5. Relación de nutrimentos en cáscara de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N/Ca	K/Ca
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$			
(%) (C)			
	0.0	6.40 a ^z	23.96 a
	0.3	6.65 a	23.15 a
	0.5	5.15 a	16.96 a
	DMSH	1.6519	10.987
Año (A)			
	Año 2004	7.07 a	35.32 a
	Año 2005	5.06 b	7.40 b
	DMSH	1.1147	7.414
	CV	24.36	46.05
	C x A	0.4130 ^{ns}	0.1727 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Cuadro 6. Relación de nutrimentos en pulpa de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N/Ca	K/Ca
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$			
(%) (C)			
	0.0	9.58 a ^z	45.36 a
	0.3	9.75 a	36.85 a
	0.5	10.18 a	35.96 a
	DMSH	3.0189	13.868
Año (A)			
	Año 2004	13.42 a	66.72 a
	Año 2005	6.25 b	12.06 b
	DMSH	2.0371	9.3584
	CV	27.47	31.52
	C x A	0.4215 ^{ns}	0.1697 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

La relación N/Ca y K/Ca son ampliamente utilizadas para predecir la calidad del almacenamiento de los frutos, pero principalmente N/Ca (Marcelle, 1995), esta calidad es favorecida por bajos niveles de N y altas concentraciones de Ca (Tagliavini *et al.*, 2000), donde en el caso de aguacate ‘Hass’ se ha encontrado que el incremento de la severidad y la incidencia de antracnosis en frutos puede estar relacionada con la alta concentración de N en hojas; así, un alto contenido de N y una baja concentración de Ca ocasionan una relación N/Ca alta, la cual ha sido asociada con la pobre conservación de la calidad e incremento de las pudriciones postcosecha de otros cultivos como la pera. Se cree que la elevada concentración de N puede ocasionar el debilitamiento de la pared celular y así incrementar la susceptibilidad a enzimas pectolíticas de hongos (Willinghan *et al.*, 2001). La relación N/Ca tuvo dinámica creciente en función del órgano analizado: hoja, cáscara y pulpa; órganos donde se pudo observar que el porcentaje de N y Ca disminuye al pasar de hoja a cáscara y pulpa, respectivamente (Cuadros 1, 2 y 3), ocasionando con ello que la relación N/Ca fuera mayor en pulpa y menor en hoja (Cuadros 4 y 5). Es de esperarse que la relación deseada en los frutos de aguacate preferentemente sea baja, originada por los bajos niveles de N y altos de Ca (Tagliavini *et al.*, 2000), y así esperar menor severidad e incidencia de antracnosis en la postcosecha de los frutos de aguacate (Willinghan *et al.*, 2001).

La elevada concentración de K y bajo contenido de calcio incrementan la relación K/Ca del fruto, la cual ha sido correlacionada positivamente con la incidencia de desórdenes durante el almacenamiento de los frutos. Valores de la relación K/Ca de menos de 25, menos de 28 y menos de 30, se han establecido para diferentes zonas productoras de manzana (Dilmaghani *et al.*, 2004).

Los valores encontrados en hoja, cáscara y pulpa de aguacate señalaron un incremento de la relación K/Ca a medida que se pasó de hoja a cáscara y pulpa, de tal manera que la relación más alta la tuvo la pulpa, producto de la mayor concentración de K (5.50 %) y menor

concentración de Ca (0.084 %); y la proporción más baja se encontró en hoja debido a la menor concentración de K (3.65 %) y máxima de Ca (1.53 %).

CONCLUSIONES

1. Los efectos de las aplicaciones de nitrato de calcio asperjadas al árbol, no fueron evidentes en el año de aplicación.
2. El contenido de calcio fue mayor al año siguiente de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en la cáscara y pulpa de del fruto, lo cual sugiere un efecto residual.
3. Las aplicaciones de nitrato de calcio tuvieron efecto sobre la relación N/Ca y K/Ca, favoreciendo su incremento en hoja, cáscara y pulpa, el año en que se realizaron las aspersiones.

LITERATURA CITADA

- Blanke, M. M.; Lovatt, C. J. 1993. Anatomy and transpiration of the avocado inflorescence. *Annals of Botany* 71(6): 543-547
- Buccheri, M.; Di Vaio, C. 2004. Relationship among seed number, quality, and calcium content in apple fruits. *Journal of Plant Nutrition* 27(10): 1735-1746
- Chapman, H. D.; Pratt, P. F. 1991. Métodos de análisis para suelos, plantas y agua. Editorial Trillas, S.A. de C.V. D.F., México. 195 p.
- Dilmaghani, M. R.; Malakouti, M. J.; Neilsen, G. H.; Fallahi, E. 2004. Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 27(7): 1149-1162
- Fageria, N. K.; Baligar, B. C.; Jones, A. CH. 1997. Growth and mineral nutrition of field

- crops. Second Edition. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 624 p.
- Fageria, V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8): 1269-1290
- Ferguson, I.; Volz, R.; Woolf, A. 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest Biology and Technology* 15: 255-262
- Himelrick, G. D.; McDuffie, F. R. 1983. The calcium cycle: uptake and distribution in apple trees. *HortScience* 18(2): 147-150
- Hofman, P. J.; Fuchs, Y.; Milne, D. L. 2002. Harvesting, Packing, Postharvest Technology, Transport and Processing, pp. 363-401. *In: The Avocado: Botany, Production and Uses*. Wiley, A. W.; Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N. (Eds.). CABI Publishing. New York, USA.
- Lahav, E.; Wiley, A. W. 2002. Irrigation and Mineral Nutrition, pp. 259-297. *In: The Avocado: Botany, Production and Uses*. Wiley, A. W.; Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N. (eds.). CABI Publishing. New York, USA.
- Marcelle, D. R. 1995. Mineral nutrition and fruit quality. *Acta Horticulturae* 383: 219-226
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press. San Diego, Cal. USA. 889 p.
- Osuna G., J. A.; Beltrán J., A.; Vázquez V., V. 2005. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre el comportamiento postcosecha del aguacate 'Hass'. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(1): 1-8
- Partridge, C. J.; Pak, H. A.; Brookbanks, P. 2002. An investigation into the effects of preharvest sprays of calcium-containing formulations in reducing post-harvest rots in 'Hass' avocados. *Avocado Growers Association Annual Research Report* 2: 1-6.
- Penter, M. G.; Stassen, P. J. C. 2000. The effect of pre- and postharvest calcium applications on the postharvest quality of Pinkerton avocados. *South African Avocado Growers'*

Association Yearbook 23: 1-7

- Pintro, J. C.; Taylor, G. J. 2005. Calcium requirement in the background nutrient solution on growth of wheat plants using the relative addition rate technique. *Journal of Plant Nutrition* 28: 551-565
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias Instituto de la Potasa y el Fósforo A. C. Querétaro, Qro., México. 165 p.
- Sánchez G., P.; Ramírez M., P. 2000. Fertilización y Nutrición del Aguacatero, pp. 103-113. *In*: El Aguacate y su Manejo Integrado. Téliz D. (ed.). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. D.F. México.
- Saucedo-Hernández, L.; Martínez-Damián, M. T.; colinas-León, M. T.; Barrientos-Priego, A. F.; Aguilar-Melchor, J. J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate 'Fuerte'. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(1): 149-157.
- Solis-Fraire, J. J.; Barrientos-Priego, A. F.; Pérez-Mercado, C. A.; Rubí-Arriaga, M.; Martínez-Damián, M. T.; Reyes-Alemán, J. C. 1998. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(2): 113-117
- Tagliavini, M.; Zavalloni, C.; Rombola, A. D.; Quartieri, M.; Malaguti, D.; Mazzant, F.; Millard, P.; Marangoni, B. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. *Acta Horticulturae* 512: 131-140
- Whiley, A. W.; Chapman, K. R.; Saranah, J. B. 1988. Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* cv. Fuerte) during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research* 39(3): 457-467
- Willingham, L. S.; Pegg, G. K.; Cooke, W. A.; Coates, M. L.; Langdon, B. P. W.; Dean, R. J. 2001. Rootstock influences postharvest anthracnose development in 'Hass' avocado.

**II. ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA CONCENTRACIÓN
NUTRIMENTAL DE HOJA, CÁSCARA Y PULPA DE AGUACATE CV. FUERTE**

ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL DE HOJA, CÁSCARA Y PULPA DE AGUACATE CV. FUERTE

J. Herrera-Basurto[¶]; M. T. Martínez-Damián; A. M. Castillo-González; A. F. Barrientos-Priego; M. T.

Colinas-León

Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. De

México. C.P. 56230 e-mail: mcjhbasurto@hotmail.com ([¶]autor responsable)

RESUMEN

Con la finalidad de estudiar el efecto del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, se realizaron aspersiones foliares en árboles de aguacate cv. Fuerte de 9 años de edad, cuando el fruto tenía un desarrollo de 3.5 meses y 4 cm de diámetro, con tres concentraciones 0, 0.3 y 0.5 %, cada quince días a partir de la segunda quincena de septiembre del 2003 hasta principios de enero del 2004 (siendo un total de 11 aspersiones). La colecta de hoja se realizó en marzo del 2004 para el primer año, y en enero del 2005 para el segundo. Se evaluó la concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa. Los resultados obtenidos indicaron que existió incremento de la concentración de N, K y Ca en hoja; K y Mg, en cáscara; y P, Ca y Mg, en pulpa, durante los dos años evaluados. sin embargo, los nutrientes analizados tuvieron un comportamiento distinto en cada uno de los dos años de evaluación, observándose incremento de N, K y Ca en hoja, N y K en cáscara y pulpa, durante el primer año; P y Mg en hoja y pulpa; y de P, Ca y Mg en cáscara al año siguiente de las aspersiones. Además, la relación K/Ca fue mayor en el primer año, en hoja, cáscara y pulpa, mientras que N/Ca lo fue en hoja.

Palabras clave adicionales: *Persea americana* Mill., $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, nutrientes, relación N/Ca y K/Ca.

FOLIAR ASPERSIONS OF CALCIUM NITRATE IN NUTRIENT CONTENT IN LEAF, PEEL AND PULP IN AVOCADO TREES CV. FUERTE

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate foliar aspersions of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ during preharvest in 9 year old avocado trees cv. Fuerte, when the fruits were 3.5 months old (4 cm diameter). Three concentrations 0, 0.3 and 0.5 % were applied every 15 days starting the third week in September 2003 until the first week in January 2004 (a total of 11 aspersions) . Leaf samples were taken in March 2004 in the first year and January 2005 in the second year. Nutrient evaluation was done in leaf, peel and pulp. Results obtained indicate that there was increase in N, K y Ca content in leaf; K and Mg in peel; and P, Ca y Mg in pulp during two years evaluating, due to the different concentrations applied; however, the nutrients analyzed showed a different behavior comparing the two years evaluated, obtaining an increase in N, K and Ca in leaf, N and K in peel and pulp during the first year; P and Mg in leaf and pulp; and P, Ca y Mg in peel, respectively during the second year. Additionally, the ratios K/Ca were high in the first year in leaf, peel and pulp, while ratio N/Ca were high in leaf.

Additional key words: *Persea americana* Mill., $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, nutrients, ratio N/Ca y K/Ca.

INTRODUCCIÓN

El aguacate es uno de los cultivos más importantes que se desarrollan en México, Estados Unidos, República Dominicana, Brasil, Colombia y muchos otros países de Sudamérica, América Central, Islas del Caribe y Sudáfrica (Kadam y Salunkhe, 1995). México destaca como

primer productor mundial de aguacate con una producción aproximada de 1, 148, 547 ton lo que significa el 54 % del total mundial (Delgado-Camacho *et al.*, 1999). El Estado de Michoacán es el principal productor con el 82.7 % de la producción del país (Osuna *et al.*, 2005). La mayor parte de la producción del país se destina al mercado nacional, aunque es un producto de importancia económica por el ingreso de divisas para el país debido a su exportación. Sin embargo, la exportación se ve afectada por la limitada vida de anaquel y la presencia de desórdenes fisiológicos especialmente cuando se almacena a bajas temperaturas (3 a 7 °C) por periodos largos (Hofman *et al.*, 2002); por lo que la deficiencia de calcio se ha relacionado con la aparición de este tipo de desórdenes (Pintro y Taylor, 2005). Entre otras funciones el calcio es importante porque incrementa la estabilidad de la membrana y aumenta la resistencia de la pared celular (Penter y Stassen, 2000). Por consiguiente, este nutrimento afecta la firmeza y la senescencia del fruto por medio de la alteración de los procesos extra e intracelulares (Buccheri y Di Vaio, 2004). El calcio tiene una función importante en el desarrollo de la pared celular, al grado tal que cuando la disponibilidad de este nutrimento es inadecuada, la pared celular pierde su integridad, ocasionando desórdenes fisiológicos (Dilmaghani *et al.*, 2004).

El nitrato de calcio aplicado al follaje en precosecha ha proporcionado resultados satisfactorios, disminuyendo el porcentaje de pérdida de peso, firmeza, producción de CO₂, etileno y daños por frío en frutos de aguacate cv. Fuerte almacenados tanto en ambiente como en refrigeración (Saucedo-Hernández *et al.*, 2005). De lo anterior, en la presente investigación se planteó evaluar el efecto de las aplicaciones foliares precosecha de nitrato de calcio [Ca(NO₃)₂] sobre la concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa de aguacate ‘Fuerte’.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Coatepec Harinas, Estado de México, México; en una plantación de aguacatero cultivar Fuerte injertado sobre portainjertos provenientes de semilla de la raza Mexicana, en árboles de 9 años de edad, ubicado en la parcela “Los Encinos” del campo experimental “La Cruz” perteneciente a la Fundación Salvador Sánchez Colín (CICTAMEX, S.C.). La región se localiza entre las coordenadas 99° 48.5' de LW y 18° 54.5' y 18° 56.3' de LN; a una altitud de 1,750 m. El clima es C(w₂)w; templado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual de 17.7 °C; precipitación media de 1,100 mm anuales, distribuída en su mayoría entre junio y octubre. El suelo es andosol, de textura franca, ligeramente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico (Solís-Fraire *et al.*, 1998).

El Ca(NO₃)₂ utilizado en las aplicaciones foliares a los árboles fue de grado reactivo, y se usaron concentraciones de 0, 0.3 y 0.5 %, considerada cada una de estas como tratamientos, las aplicaciones se realizaron cuando los frutos de aguacate tenían 3.5 meses de desarrollo, equivalente a 4 cm de diámetro. En las soluciones se adicionó un adherente, Atlox (0.5 ml·l⁻¹) para facilitar la penetración del Ca(NO₃)₂. La aspersion se realizó a los árboles a punto de goteo con un aspersor utilizando la fuerza de un tractor, a una dosis de 10 litros por árbol. La primera aplicación spersion fue el 16 de septiembre del 2003 y las siguientes fueron cada 15 días hasta llegar al 10 de enero de 2004, logrando un total de 11 aplicaciones antes de la cosecha, y la hora de aplicación fue entre las 9 y 10:30 de la mañana.

El experimento se planteó en un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos 3 x 2, donde los factores fueron las concentraciones de Ca(NO₃)₂ (0.0, 0.3 y 0.5 %) y los años de evaluación (2004 y 2005), respectivamente. La unidad experimental utilizada fue un árbol con cinco repeticiones. Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza, utilizando la prueba de Tukey para la separación de medias a un nivel de $P \leq 0.05$.

La evaluación del efecto del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se hizo en hoja, cáscara y pulpa, tres meses después de realizada la última aplicación en el primer año, y al momento de la cosecha del fruto en el segundo año. Para estas evaluaciones se colectaron muestras de tres frutos por repetición en cada uno de los tratamientos, los cuales se encontraban en plena madurez fisiológica (color verde-negro en cáscara, conocido como 3/4) y 60 hojas maduras de cada planta de aproximadamente cuatro meses de edad, 15 por cada punto cardinal (Norte, Sur, Este y Oeste) expuestas en la periferia del árbol y a la misma altura, las cuales se encontraban en la posición intermedia del brote.

Ya en el laboratorio las hojas se lavaron, primero con agua potable y tres veces con agua destilada, esto para eliminar las impurezas presentes; después se secaron en estufa de aire forzado por 72 horas a 65 °C; de igual manera, las porciones de pulpa y cáscara se secaron en horno de microondas de alta temperatura por 20 minutos aproximadamente. Para la determinación de N se usó 0.1 g de muestra seca que se sometió a digestión húmeda con una mezcla de ácidos sulfúrico y salicílico. La concentración se determinó por el método de microkjeldahl. Para la determinación de P, K, Ca y Mg se utilizaron 0.5 g de muestra seca que se sometieron a digestión húmeda con ácidos nítrico, perclórico y sulfúrico. La concentración de P se determinó por el método del molibdovanadato amarillo, la absorbancia se registró a 470 nm en un espectrofotómetro Spectronic 20 Bauch & Lomb. La concentración de K se determinó con un fotómetro de flama Corning 400. Las concentraciones de Ca y Mg se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, registrando la absorbancia en un espectrofotómetro Pye Unicam SP9 de Phillips a 422.7 y 285.2 nm, respectivamente, de acuerdo con los procedimientos indicados por Chapman y Pratt (1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa

El análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el contenido nutrimental de la hoja permitió observar que no se encontraron diferencias para el contenido de N, P, K, Ca y Mg durante los dos años de evaluación. Sin embargo, el efecto de los años sobre la concentración nutrimental en hoja, señaló diferencias para N, P, K, Ca y Mg; determinándose que en el primer año se tuvieron los valores más altos de concentración para N, K y Ca, con 2.16, 3.32 y 2.18 % respectivamente, en tanto que en el segundo año los valores altos fueron para P y Mg, con 0.781 y 0.698 % respectivamente. Además, el análisis de varianza señaló que la interacción concentración x años resultó no significativa para todos los nutrimentos analizados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración nutrimental (%) en hoja de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N	P	K	Ca	Mg
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)						
	0.0	1.82 a ^z	0.413 a	1.93 a	1.88 a	0.548 a
	0.3	1.91 a	0.426 a	2.10 a	2.07 a	0.591 a
	0.5	1.79 a	0.404 a	2.05 a	1.94 a	0.546 a
	DMSH	0.2821	0.0384	0.399	0.5871	0.1007
Año (A)						
	Año 2004	2.16 a	0.047 b	3.32 a	2.18 a	0.424 b
	Año 2005	1.52 b	0.781 a	0.74 b	1.76 b	0.698 a
	DMSH	0.1903	0.0259	0.2692	0.3962	0.068
	CV	13.67	8.29	17.58	26.68	16.05
	C x A	0.5993 ^{ns}	0.1704 ^{ns}	0.4889 ^{ns}	0.8644 ^{ns}	0.6054 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Al analizar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el contenido nutrimental en cáscara se observó que se encontraron diferencias para el K y Mg; señalando que tanto la concentración de K como de Mg se incrementaron en la medida que lo hicieron las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, detectando que el efecto de la concentración de 0.5 % tuvo los valores más altos con 5.33 y 0.242 % para K y Mg respectivamente; en tanto que el efecto de la concentración 0.0 % (testigo) presentó los valores más bajos con 3.20 y 0.177 %. El análisis del efecto de los años sobre el contenido nutrimental de la cáscara, señaló diferencias para los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg; determinando N y K fueron los de mayor concentración durante el primer año con 1.44 y 5.82 %, respectivamente; en tanto que P, Ca y Mg presentaron los mayores valores hasta el segundo año de evaluación, con 0.750, 0.258 y 0.283 % respectivamente. Además, el análisis de varianza mostró que la interacción concentración x años resultó significativa para Ca, y altamente significativa para K y Mg (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración nutrimental (%) en cáscara de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N	P	K	Ca	Mg
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)						
	0.0	1.32 a ^z	0.391 a	3.20 c	0.243 a	0.177 b
	0.3	1.35 a	0.427 a	3.96 b	0.247 a	0.231 a
	0.5	1.33 a	0.419 a	5.33 a	0.236 a	0.242 a
	DMSH	0.1477	0.085	0.5935	0.0272	0.0126
Año (A)						
	Año 2004	1.44 a	0.074 b	5.82 a	0.226 b	0.150 b
	Año 2005	1.22 b	0.750 a	2.51 b	0.258 a	0.283 a
	DMSH	0.0997	0.0573	0.4005	0.0184	0.0085
	CV	9.90	18.45	12.75	10.06	5.19
	C x A	0.4750 ^{ns}	0.1690 ^{ns}	0.0001**	0.0068*	0.0001**

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Mediante el análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la concentración nutrimental de la pulpa de los frutos evaluados, se determinó que se presentaron diferencias para el P, Ca y Mg; observándose que el efecto de la concentración de 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, fue la que promovió los máximos valores con 0.446, 0.106 y 0.157 % para P, Ca y Mg, respectivamente, aunque el efecto de la concentración 0.0 % (testigo) tuvo un comportamiento igual. El efecto de los años sobre el contenido de nutrimentos en la pulpa del fruto, señaló diferencias para los nutrimentos N, P, K, y Mg ; observando que N y K tuvieron los valores más altos en el primer año con 1.07 y 6.62 %, respectivamente; mientras que el P y Mg lo hicieron hasta el segundo año de evaluación, con 0.771 y 0.150 %, respectivamente. Además, análisis de varianza señaló que la interacción concentración x años resultó significativa para el Ca y altamente significativa para el Mg (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración nutrimental (%) en pulpa de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N	P	K	Ca	Mg
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)						
	0.0	1.01 a ^z	0.426 ab	4.43 a	0.093 ab	0.139 b
	0.3	0.98 a	0.419 b	3.51 a	0.078 b	0.125 b
	0.5	1.04 a	0.446 a	4.14 a	0.106 a	0.157 a
	DMSH	0.1491	0.0267	1.0381	0.0199	0.0151
Año (A)						
	Año 2004	1.07 a	0.089 b	6.62 a	0.094 a	0.130 b
	Año 2005	0.95 b	0.771 a	1.43 b	0.090 a	0.150 a
	DMSH	0.1006	0.018	0.7005	0.0134	0.0102
	CV	13.16	5.55	23.07	19.32	9.64
	C x A	0.7123 ^{ns}	0.6964 ^{ns}	0.0639 ^{ns}	0.0078 *	0.0008 *

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

La falta de respuesta en el factor concentración en hoja, cáscara y pulpa pudo haberse debido en parte al lavado de la solución por efecto de las lluvias presentes durante los días de aplicación (Marschner, 1986), situación que se presentó en forma extraordinaria en el año que se realizaron las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, a la presencia de capas cerosas tanto en el haz como en el envés de la hoja (Whiley *et al.*, 1988) tanto en hojas jóvenes como en las adultas, incluyendo las células guarda alrededor del estoma (Blanke y Lovatt, 1993), y a la movilidad de los nutrimentos en el floema de la planta, debido a que el calcio es uno de los iones cuyo movimiento interno es muy lento (Marschner, 1986). Además, probablemente a la tardía aplicación del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, ya que la absorción de nutrimentos en frutos es más rápida durante las primeras seis semanas después del cuajado del fruto (Partridge *et al.*, 2002). Otros factores que también pudieron estar afectando los resultados son las reservas acumuladas del árbol, producto de prácticas realizadas en años anteriores, el comportamiento de alternancia y el portainjerto pudieron contribuir a no encontrar diferencias entre las concentraciones empleadas (Sánchez y Ramírez, 2000). Estos resultados no coinciden con Solis-Fraire *et al.* (1998) quienes encontraron diferencias por las concentraciones aplicadas en hoja y pulpa de aguacate ‘Hass’, debido probablemente a la mayor concentración empleada (1, 2 y 3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) en el experimento; además, los árboles utilizados fueron de cuatro años de edad con una fase productiva inicial y los del presente experimento tenían nueve años y en plena etapa productiva. También no coinciden con lo reportado por Saucedo-Hernández *et al.* (2005) quienes encontraron diferencias por efecto de las concentraciones aplicadas de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el contenido nutrimental en cáscara y pulpa de aguacate ‘Fuerte’; lo cual pudo haber sucedido por efecto de la etapa de desarrollo del fruto al momento de la aplicación de los tratamientos, como ya fue señalado con anterioridad.

El efecto de los años sobre el contenido nutrimental de los tres órganos analizados, manifestó que el N tuvo mayor porcentaje en el primer año que en el segundo, lo cual pudo haberse debido a la mayor absorción del nutrimento de la solución del suelo por efecto de

dilución en agua producto de las lluvias de la temporada, dado que el flujo de masas es el mecanismo principal de entrada del nutrimento, donde el agua desempeña una importante función (Salazar-García, 2002). El P y Mg se encontraron en mayor concentración en el segundo año, debido a las interacciones entre N y P, y N y Mg, debido a que al incrementarse el N en los tejidos, el P también lo hace al crecer la raíz al segundo año, mejorando la absorción tanto de P como de Mg por efecto de mayor intercepción nutrimental (Fageria, 2001). El K presentó las máximas concentraciones durante el primer año, debido probablemente a la interacción que se presentó entre N y K donde al incrementarse el N en los tejidos, también lo hizo el K, por absorción del suelo (Lahav y Whiley, 2002). Respecto al Ca la concentración fue mayor durante el segundo año en cáscara debido probablemente a que este elemento se inmoviliza en la hoja y los frutos en crecimiento con alta tasa metabólica lo demandan, el aporte de Ca dependerá directamente de la absorción por las raíces (Himelrick y McDuffie, 1983) que desarrollaron más durante el segundo año incrementando el área de exploración radical por efecto del incremento de N durante el primer año de evaluación (Fageria, 2001).

La interacción concentración x años señaló que las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al follaje, siguieron la misma tendencia dentro de cada año evaluado, tanto en hoja como en cáscara y pulpa para P, K y Ca, y en hoja y cáscara para N y Mg. No obstante, esta misma interacción en pulpa para N y Mg señaló que las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ asperjadas al follaje, no tuvieron la misma tendencia dentro de cada año evaluado, lo cual pudo haberse debido a la redistribución de nutrimentos de la hoja hacia el fruto que es particularmente importante durante el crecimiento reproductivo, principalmente del fruto (Marschner, 1986), de los cuales el N se removiliza del 50 al 70 % y el Mg del 15 al 23 %, con dirección al fruto principalmente en frutales subtropicales (Tagliavini *et al.*, 2000; Salazar-García, 2002). Esta cantidad de nutrimentos removidos, además de los extraídos por la raíz y acumulados en el fruto,

podieron haber influido al momento del análisis, para que la interacción concentración x años haya sido significativa.

Relación de nutrimentos N/Ca y K/Ca en hoja, cáscara y pulpa

El efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la relación de nutrimentos, particularmente sobre N/Ca y K/Ca en la hoja y pulpa de aguacate ‘Fuerte’, señaló que no se encontraron diferencias para las relaciones consideradas, en ambos órganos de la planta. El efecto de los años sobre las relaciones nutrimentales estudiadas, indicó diferencias para la relación K/Ca, tanto para hoja como para la pulpa de aguacate; donde se determinó que el primer año presentó el máximo valor de relación (1.57); además, no se observaron diferencias para la interacción concentración x años en ninguna de las relaciones analizadas, tanto en hoja como en pulpa (Cuadro 4 y 5).

Cuadro 4. Relación de nutrimentos en hoja de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N/Ca	K/Ca
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			
	0.0	1.04 a ^z	1.03 a
	0.3	0.94 a	0.97 a
	0.5	1.08 a	1.07 a
	DMSH	0.5425	0.3609
Año (A)			
	Año 2004	1.02 a	1.57 a
	Año 2005	1.03 a	0.48 b
	DMSH	0.3661	0.2436
	CV	47.28	31.33
	C x A	0.8183 ^{ns}	0.9142 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Cuadro 5. Relación de nutrimentos en pulpa de aguacate ‘Fuerte’ por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N/Ca	K/Ca
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			
	0.0	10.98 az	48.96 a
	0.3	13.61 a	50.19 a
	0.5	10.60 a	37.40 a
	DMSH	3.6878	15.469
Año (A)			
	Año 2004	12.55 a	74.75 a
	Año 2005	10.91 a	16.29 b
	DMSH	2.4885	10.438
	CV	28.13	30.42
	C x A	0.0223 ^{ns}	0.1002 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

El análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre las relaciones nutrimentales N/Ca y K/Ca en la cáscara del aguacate ‘Fuerte’, indicó diferencias en la relación K/Ca; determinando que el efecto de la concentración de 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentó el valor más alto (22.33), con respecto al efecto de la concentración 0.0 % (testigo); teniendo un comportamiento distinto entre el efecto de las dos concentraciones. El análisis del efecto de los años sobre las relaciones nutrimentales en la cáscara de aguacate, señaló diferencias en las relaciones N/Ca y K/Ca; determinándose que el primer año presentó los valores de relación más altos (6.52 y 25.62) para N/Ca y K/Ca, respectivamente. Además, el análisis de varianza señaló diferencias altamente significativas en la interacción concentración x años sólo para la proporción K/Ca (Cuadro 6).

Cuadro 6. Relación de nutrimentos en cáscara de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, en dos años de evaluación.

Factor	nivel	N/Ca	K/Ca
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			
	0.0	5.71 a ^z	13.81 c
	0.3	5.63 a	16.99 b
	0.5	5.63 a	22.33 a
	DMSH	1.1304	3.0187
Año (A)			
	Año 2004	6.52 a	25.62 a
	Año 2005	4.80 b	9.80 b
	DMSH	0.7628	2.037
	CV	17.87	15.26
	C x A	0.0861 ^{ns}	0.0001 ^{**}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, ^{*}; no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

La relación N/Ca y K/Ca son ampliamente utilizadas para predecir la calidad del almacenamiento de los frutos, pero principalmente N/Ca (Marcelle, 1995), esta calidad es favorecida por bajos niveles de N y altas concentraciones de Ca (Tagliavini *et al.*, 2000), donde en el caso de aguacate ‘Hass’ se ha encontrado que el incremento de la severidad y la incidencia de antracnosis en frutos puede estar relacionada con la alta concentración de N en hojas; así, un alto contenido de N y una baja concentración de Ca ocasionan una relación N/Ca alta, la cual ha sido asociada con la pobre conservación de la calidad e incremento de las pudriciones postcosecha de otros cultivos como la pera. Se cree que la elevada concentración de N puede ocasionar el debilitamiento de la pared celular y así incrementar la susceptibilidad a enzimas pectolíticas de hongos (Willinghan *et al.*, 2001). La relación N/Ca tuvo dinámica creciente en función del órgano analizado: hoja, cáscara y pulpa, durante el año de las aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; órganos donde se pudo observar que el porcentaje de N y Ca disminuye al pasar de hoja a cáscara y pulpa (Cuadros 1, 2 y 3) ocasionando con ello que la relación N/Ca sea mayor

en la pulpa y menor en hoja (Cuadros 4, 5 y 6). Es de esperarse que la relación deseada en los frutos de aguacate preferentemente sea baja, originada por los bajos niveles de N y altos de Ca en el fruto (Tagliavini *et al.*, 2000), y así esperar menor severidad e incidencia de antracnosis en la postcosecha de los frutos (Willinghan *et al.*, 2001).

La elevada concentración de K y bajo calcio incrementan la relación K/Ca del fruto, la cual ha sido correlacionada positivamente con la incidencia de desórdenes durante el almacenamiento de los frutos. Valores para la relación K/Ca de menos de 25, menos de 28 y menos de 30, se han establecido para diferentes zonas productoras de manzana (Dilmaghani *et al.*, 2004).

Los valores encontrados en hoja, cáscara y pulpa de aguacate señalaron un incremento de la relación K/Ca a medida que se pasó de hoja a cáscara y pulpa, respectivamente, de tal manera que la relación más alta la tuvo la pulpa, producto de la mayor concentración de K (6.62 %) y menor concentración de Ca (0.094 %); y la proporción más baja se encontró en hoja debido a la menor concentración de K (3.32 %) y máxima de Ca (2.18 %).

CONCLUSIONES

1. Los efectos de las concentraciones de nitrato de calcio asperjadas al follaje de árboles de aguacate 'Fuerte', fueron evidentes en el año de aplicación. Observándose incremento de N, K y Ca en hoja; y N y K en cáscara y pulpa.
2. El contenido de P y Mg en hoja y pulpa; y de P, Ca y Mg en cáscara, fue mayor al año siguiente de las aspersiones de nitrato de calcio al follaje.
3. Las concentraciones de nitrato de calcio tuvieron efecto sobre la relación K/Ca, favoreciendo su incremento en hoja, cáscara y pulpa; y sobre la relación N/Ca en cáscara durante el año en que se realizaron las aspersiones.

LITERATURA CITADA

- Delgado-Camacho, G.; Castillo-González, A. M.; Avitia-García, E.; Rubí-Arriaga M. 1999. Contenido de azúcares solubles en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacatero (*Persea americana* Mill.). Revista Chapingo Serie Horticultura 5(2): 77-81
- Blanke, M. M.; Lovatt, C. J. 1993. Anatomy and transpiration of the avocado inflorescence. Annals of Botany 71(6): 543-547
- Buccheri, M.; Di Vaio, C. 2004. Relationship among seed number, quality, and calcium content in apple fruits. Journal of Plant Nutrition 27(10): 1735-1746
- Chapman, H. D.; Pratt, P. F. 1991. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Agua. Editorial Trillas, S.A. de C.V. México, D.F. 195 p.
- Dilmaghani, M. R.; Malakouti, M. J.; Neilsen, G. H.; Fallahi, E. 2004. Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Irán. Journal of Plant Nutrition 27(7): 1149-1162
- Fageria, V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. Journal of Plant Nutrition 24(8): 1269-1290
- Himelrick, G. D.; Mcduffie, F. R. 1983. The calcium cycle: uptake and distribution in Apple trees. HortScience 18(2): 147-150
- Hofman, P. J.; Fuchs, Y.; Milne, D. L. 2002. Harvesting, Packing, Postharvest Technology, Transport and Processing, pp. 363-401. In: The Avocado: Botany, Production and Uses. Whiley A. W.; Schaffer B. and Wolstenholme B. N. (Eds). CABI Publishing. New York, USA.
- Kadam, S. S.; Salunkhe, K. D. 1995. Avocado. Pp: 363-375. In: Handbook of Fruit Science and Technology. Production, Composition, Storage and Processing. Salunke K. D. and Kadam S. S. (Eds). Marcel Dekker, Inc. New York, USA.

- Lahav, E.; Whiley, A. W. 2002. Irrigation and Mineral Nutrition, pp. 259-297. *In: The Avocado: Botany, Production and Uses*. Whiley, A. W.; Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N. (Eds). CABI Publishing. New York, USA.
- Marcelle, D. R. 1995. Mineral nutrition and fruit quality. *Acta Horticulturae* 383: 219-226
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press. San Diego, Calif. USA. 889 p.
- Osuna G., J. A.; Beltrán J., A.; Vázquez V., V. 2005. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre el comportamiento postcosecha del aguacate 'Hass'. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(1): 1-8
- Partridge, C. J.; Pak, H. A.; Brookbanks, P. 2002. An investigation into the effects of preharvest sprays of calcium-containing formulations in reducing post-harvest rots in 'Hass' avocados. *Avocado Growers Association Annual Research Report* 2: 1-6
- Penter, M. G.; Stassen, P. J. C. 2000. The effect of pre- and postharvest calcium applications on the postharvest quality of Pinkerton avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 23: 1-7
- Pintro, J. C.; Taylor, G. J. 2005. Calcium requirement in the background nutrient solution on growth of wheat plants using the relative addition rate technique. *Journal of Plant Nutrition* 28: 551-565
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias Instituto de la Potasa y el Fósforo A. C. México. 165 p.
- Sánchez G., P.; Ramírez M., P. 2000. Fertilización y Nutrición del Aguacatero. pp. 103-113. *In: El Aguacate y su Manejo Integrado*. Téliz D. (Ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. D.F., México.
- Saucedo-Hernández, L.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M. T.; Barrientos-Priego, A. F.;

- Aguilar-Melchor, J. J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate 'Fuerte'. Revista Chapingo. Serie Horticultura 11(1):149-157.
- Solis-Fraire, J. J.; Barrientos-Priego, A. F.; Pérez-Mercado, C. A.; Rubí-Arriaga, M.; Martínez-Damián, M. T.; Reyes-Alemán, J. C. 1998. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Revista Chapingo. Serie Horticultura 4(2): 113-117
- Tagliavini, M.; Zavalloni, C.; Rombola, A. D.; Quartieri, M.; Malaguti, D.; Mazzanti, F.; Millard, P.; Marangoni, B. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. Acta Horticulturae 512: 131-140
- Whiley, A. W.; Chapman, K. R.; Saranah, J. B. 1988. Water loss by floral structures of avocado (*Persea Americana* cv. Fuerte) during flowering. Australian Journal of Agricultural Research 39(3): 457-467

**III. ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA FISIOLOGÍA
POSTCOSECHA DEL FRUTO DE AGUACATE CV. HASS**

ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA FISIOLOGÍA
POSTCOSECHA DEL FRUTO DE AGUACATE CV. HASS

**J. Herrera-Basurto[¶]; M. T. Martínez-Damián; A. F. Barrientos-Priego; M. T. Colinas-León; A. M.
Castillo-González**

**Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. De
México. C.P. 56230 e-mail: mcjhbasurto@hotmail.com ([¶]autor responsable)**

RESUMEN

Con la finalidad de estudiar el efecto de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en precosecha, sobre la vida postcosecha de frutos, se realizaron aplicaciones en árboles de aguacate cv. Hass con tres concentraciones 0, 0.3 y 0.5 %, cada quince días a partir de la segunda quincena de septiembre del 2003 hasta principios de enero del 2004 (siendo un total de 11 aspersiones). Las cosechas se realizaron en marzo del 2004 para el primer año, y en enero del 2005 para el segundo. Una vez cosechados los frutos se almacenaron a temperatura ambiente (22 °C) y a 5 °C por 3 y 5 semanas, realizando evaluaciones a las 0, 3 y 5 semanas. Los resultados obtenidos indicaron que las aspersiones precosecha de nitrato de calcio al 0.3 y 0.5 % , en los frutos almacenados tanto en ambiente como en refrigeración, favorecieron la disminución del porcentaje de pérdida de peso del fruto, incrementaron los días a maduración, mantuvieron por mayor tiempo el color verde de la cáscara, presentaron la menor salida de electrolitos, ocasionaron el menor grado de oscurecimiento enzimático, retrazaron la producción de etileno en su pico climatérico, observaron menor incidencia de desórdenes fisiológicos en frutos almacenados a 5 °C por 5 semanas y tuvieron una calidad organoléptica muy parecida a la del testigo.

Palabras clave adicionales: *Persea americana* Mill., postcosecha, refrigeración, calidad, daño por frío, producción de etileno y respiración.

FOLIAR SPRAYS OF CALCIUM NITRATE IN POSTHARVEST PHYSIOLOGY OF CV.
HASS AVOCADO FRUIT

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate foliar aspersions of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ during preharvest in 9 year old avocado trees cv. Fuerte, when the fruits were 3.5 months old (4 cm diameter). Three concentrations 0, 0.3 and 0.5 % were applied every 15 days starting the third week in September 2003 until the first week in January 2004 (a total of 11 aspersions). Fruit harvest was in March the first year and January 2005 the second year. Fruits were stored at ambient temprature (22 °C) and at 5 °C for 3 and 5 weeks, evaluations were done at 0, 3 and 5 weeks. Results obtained indicate that preharvest sprays of calcium nitrate at 0.3 and 0.5% in stored fruits under ambient and low temprature induced decrease in fruit weight loss, increasing days to ripening, mantaining green color for a longer time, electrolyte llkege was reduced, generating lower enzymatic browning, and retarding ethylene production at the climatecteric peek. Fruits also showed a lower incidence physiological disorders in stored fruits at 5 °C for 5 weeks and had an organoleptic quality very similar to the control.

Additional key words: *Persea americana* Mill., postharvest, refrigeration, quality, chilling injury, ethylene production and respiration.

INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un frutal que se extiende, en forma natural, desde la región montañosa del Este y Centro de México, hasta Guatemala y la costa del Pacífico de América Central (Knight, 2002). La importancia de esta especie radica en el aprovechamiento de su fruto, ya que es utilizado como alimento por su alto valor nutritivo así como por las divisas que aporta al país por los altos volúmenes del mercado de exportación; por consiguiente, el aguacate es uno de los frutales más importantes que se cultivan en México ya que de los 1.8 millones de toneladas de frutos de aguacate producidas a nivel mundial, México produce 720,000 toneladas, equivalente al 40 % del total mundial; el cual ubica al país como primer productor (Santacruz, 2004). En México la explotación comercial del aguacate se realiza en 16 estados, pero solo cinco son los que producen los volúmenes más significativos: Michoacán, Nayarit, Estado de México, Sinaloa, Puebla y Morelos (Solís-Frairé *et al.*, 1998; Salazar-García *et al.*, 2004), donde los principales cultivares son ‘Hass’, ‘Fuerte’ y ‘Colín-V33’ entre otros (Solís-Frairé *et al.*, 1998).

Con la apertura del tratado de libre comercio en México se presentan grandes oportunidades para la comercialización del aguacate, principalmente hacia los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, dado que apenas se exporta el 8 % de la producción total del país (Ávila-Quezada *et al.*, 2005); sin embargo, pueden ocurrir importantes pérdidas de calidad del fruto si no se aplican los procedimientos correctos de almacenamiento, sobre todo en el transporte cuando las distancias a recorrer son mayores entre los sitios de producción o empaque y el lugar de consumo (Hofman *et al.*, 2002). Es por lo anterior que la exportación de aguacate implica una serie de problemas postcosecha en función de la vida de anaquel tan limitada que posee el fruto, por lo que se requiere prolongar el periodo de almacenamiento mediante la refrigeración (Solís-Frairé *et al.*, 1998) con el inconveniente de la presencia de daños por frío en

la pulpa, desorden fisiológico que puede presentarse en muchos frutos tropicales y subtropicales, y uno de los ejemplos es el aguacate, que al almacenarse a bajas temperaturas (3 a 7 °C) por periodos largos (Hofman *et al.*, 2002).

El daño por frío es un desorden fisiológico que afecta la integridad y funcionamiento de las membranas celulares, modificando el estado de los ácidos grasos de líquido cristalino a gel sólido (Saucedo-Hernández *et al.*, 2005); no obstante, la trascendencia del calcio en los procesos fisiológicos de las plantas ha sido bien documentada en varios estudios relacionados con la membrana (Pintro y Taylor, 2005).

Una gran cantidad de desórdenes internos en frutas y hortalizas fueron considerados desde el siglo XIX, de índole natural, y no es sino hasta mediados del siglo XX cuando se identificaron estos desórdenes con los bajos contenidos de calcio y en como se ha vinculado positivamente los bajos niveles de calcio en el fruto con desórdenes como la “mancha amarga”, “mancha corchosa”, “decaimiento interno” y “decaimiento de lenticelas en manzana” y “pudrición del extremo floral en tomate”, sandía y pimiento (Penter y Stassen, 2000).

El calcio en la fisiología del fruto es importante porque incrementa la estabilidad de la membrana y aumenta la resistencia de la pared celular (Penter y Stassen, 2000); por consiguiente, este elemento mineral afecta la firmeza y la senescencia del fruto por medio de la alteración de los procesos extra e intracelulares (Buccheri y Di Vaio, 2004), ya que a una baja concentración de este elemento, la pared celular pierde su integridad, ocasionando desórdenes fisiológicos en manzano (Dilmaghani *et al.*, 2004), y en aguacate (Swarts, 1984). Los contenidos de calcio dentro del fruto son relativamente bajos (Tagliavini *et al.*, 2000); debido principalmente al lento movimiento dentro de la planta atribuido a su peso molecular (Marshner, 1986), y a la desequilibrada distribución del nutrimento en las diferentes partes de la planta (Penter y Stassen, 2000).

La aplicación de nitrato de calcio asperjado al follaje en precosecha ha proporcionado resultados satisfactorios, ya que disminuye la pérdida de peso, firmeza, producción de CO₂, etileno y daños por frío en frutos de aguacate cv. Fuerte, almacenados tanto a condición ambiental como en refrigeración (Saucedo-Hernández *et al.*, 2005). En la presente investigación se evaluó el efecto del nitrato de calcio [Ca(NO₃)₂] asperjado al follaje en la calidad y fisiología postcosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ a diferentes temperaturas de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Coatepec Harinas, Estado de México, México; en una plantación de aguacatero cultivar Hass injertado sobre portainjertos provenientes de semilla de la raza Mexicana, en árboles de 9 años de edad, ubicado en la parcela “Los Encinos” del campo experimental “La Cruz” perteneciente a la Fundación Salvador Sánchez Colín (CICTAMEX, S.C.). La región se localiza entre las coordenadas 99° 48.5’ de LW y 18° 54.5’ y 18° 56.3’ de LN; a una altitud de 1,750 m. El clima es C(w₂)w; templado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual de 17.7 °C; precipitación media de 1,100 mm anuales, distribuída en su mayoría entre junio y octubre. El suelo es andosol, de textura franca, ligeramente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico (Solís-Fraire *et al.*, 1998).

El Ca(NO₃)₂ utilizado en las aplicaciones foliares a los árboles fue de grado reactivo, y se usaron concentraciones de 0, 0.3 y 0.5 %, considerada cada una de estas como tratamientos, las aplicaciones se realizaron cuando los frutos de aguacate tenían 3.5 meses de desarrollo, equivalente a 4 cm de diámetro. En las soluciones se adicionó un adherente, Atlox (0.5 ml·l⁻¹) para facilitar la penetración del Ca(NO₃)₂. La aspersión se realizó a los árboles a punto de goteo con un aspersor utilizando la fuerza de un tractor, a una dosis de 10 litros por árbol. La primera aplicación spersión fue el 16 de septiembre del 2003 y las siguientes fueron cada 15 días hasta

llegar al 10 de enero de 2004, logrando un total de 11 aplicaciones antes de la cosecha, y la hora de aplicación fue entre las 9 y 10:30 de la mañana.

El experimento se planteó en un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos 3 x 2, donde los factores fueron las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.0, 0.3 y 0.5 %) y los años de evaluación (2004 y 2005), respectivamente. La unidad experimental utilizada fue un árbol con cinco repeticiones. Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza, utilizando la prueba de Tukey para la separación de medias a un nivel de $P \leq 0.05$.

El 14 de abril del 2004 se realizó la primer cosecha de fruto y el 7 de marzo del 2005 la segunda para la evaluación de efectos residuales; posteriormente los frutos se trasladaron para su evaluación al laboratorio. Se almacenaron a temperatura ambiente hasta su maduración y a 5 °C por 3 y 5 semanas, respectivamente; después de cada uno de los periodos de almacenamiento, los frutos se expusieron a maduración a temperatura ambiente a 22 °C. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 3 x 3, donde los factores fueron las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0, 0.3 y 0.5 %) y las condiciones de almacenamiento a 5 °C (0, 3 y 5 semanas) para el primer año de evaluación, y en un diseño experimental completamente al azar para comparar concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0, 0.3 y 0.5 %) durante el segundo año, con el propósito de evaluar efectos residuales de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ del año anterior (debido a la carencia de fruto en esa temporada). Las variables medidas fueron: pérdida de peso, firmeza, días a maduración, color, permeabilidad de membrana, actividad de la enzima polifenoloxidasas, potencial de oscurecimiento enzimático, daño por frío, producción de etileno, respiración, desórdenes fisiológicos y evaluación sensorial.

El porcentaje de pérdida diaria de peso acumulado, se determinó mediante la diferencia del peso inicial y final durante el tiempo del experimento. La firmeza se evaluó con un penetrómetro digital Compact Gauge (Cole Palmer) montado en una prensa manual, la medición consistió en registrar la fuerza ejercida en kilogramos (kg) durante la penetración del puntal en el

fruto. La medición se hizo en la parte ecuatorial, eliminando parte de la cáscara del fruto. Para estimar el patrón de maduración de los frutos se usó una escala subjetiva que consistió en evaluar los cambios en firmeza al tacto clasificados en tres categorías: frutos de textura dura, frutos cambiantes y frutos suaves (al alcanzar la madurez de consumo), se evaluaron nueve frutos por tratamiento en cada una de las formas de almacenamiento, siendo 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.

El color se midió en la cáscara del fruto mediante un colorímetro ColorTec-PCM modelo D25-PC2 (Cole Palmer), el cual generó lecturas de color en tres variables: L, a y b. Los datos se expresaron en valores de L, Croma y Hue (McGuire, 1992); donde $\text{croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$ y $\text{Hue} = \tan^{-1}(b/a)$. A los frutos se les marcó un círculo en la parte ecuatorial de la cáscara, con la finalidad de que las lecturas fueran tomadas siempre en el mismo sitio; la medición se realizó al salir los frutos de cada tratamiento y hasta su maduración, evaluando nueve frutos por tratamiento, donde cada fruto representó una repetición. La permeabilidad de las membranas se determinó mediante el puente de conductividad eléctrica Hoffmann Pinther serie 21828, cortando discos de tejido de cáscara y pulpa con un sacabocados, colocándolos en 30 ml de agua destilada tomando lecturas de conductividad eléctrica inicial, una hora y tres horas después. Posteriormente los discos se expusieron a baño maría durante 10 minutos, se dejó enfriar y se midió nuevamente la conductividad (Zamora, 1997), el índice de permeabilidad de la membrana se obtuvo al dividir la conductividad de la muestra antes de calentar entre la conductividad de la muestra después de calentar, multiplicado por 100. Se utilizaron nueve repeticiones por tratamiento, siendo un fruto la unidad experimental. Los datos de permeabilidad se expresaron en porcentaje.

La actividad de la polifenoloxidasa (PPO) se determinó mediante la metodología descrita por Lamikanra (1995) donde la enzima se extrajo a partir de 1 g de muestra congelada a -80°C , la cual se colocó en un mortero congelado, se molió y posteriormente se agregaron 5 ml de

buffer Tris-HCl 125 mM a pH 7.0 con 1 % (p:v) de pilivinilpirrolidona (PVP). El extracto se centrifugó a 10,000 x 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, la reacción consistió en 1 ml de catecol + 10 µl del sobrenadante; se midió el cambio de absorbancia en 1 minuto en un espectrofotómetro Termo Spectronic modelo Génesis 10 UV. Una unidad de la actividad de la enzima se presentó como un cambio de una unidad de absorbancia por minuto. El potencial de oscurecimiento enzimático y compuestos fenólicos se realizó mediante la aplicación de catecol para valorar la actividad de la polifenoloxidasas y el contenido de compuestos fenólicos, mediante el uso de nitrato de sodio, urea, ácido acético glacial e hidróxido de sodio, estableciendo una escala cualitativa del 1 a 5, donde 1 representa el menor oscurecimiento o bien la menor actividad de la polifenoloxidasas y 5 el mayor oscurecimiento o bien la mayor actividad de la polifenoloxidasas. Posteriormente ambos valores (uno de la escala para la polifenoloxidasas y el otro de los compuestos fenólicos) se sumaron, representando en conjunto el potencial de oscurecimiento, considerando los compuestos fenólicos bajos si la suma es menor de 2, moderado si es de 2 a 4, alto si se ubica de 5 a 7 y muy alto si excede de 7 (Kader y Chordas, 1984).

El daño por frío se determinó por el método de Chaplin *et al.* (1982). Se evaluó a partir de una porción representativa de 1 g de pulpa, se formó una pasta macerada en un mortero y 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 centrifugó 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 Spectronic 20 (Bauch & Lomb). Se utilizó una longitud de onda de 340 nm. El etileno y CO₂ se estimaron

por cromatografía de gases por el método estático, en un recipiente hermético de volumen conocido, se colocaron tres frutos por repetición, durante una hora se tomaron 5 ml del espacio de cabeza con una jeringa hipodérmica y se transfirió a un vial (vacuntainer® al vacío). Se tomó 1 ml del espacio del vacuntainer y se inyectó en un cromatógrafo de gases marca Varian modelo 3400 con una columna Poropak 80/100 de 2 m x 1/8"; la temperatura del horno aplicada a la columna fue de 80 °C y la del detector de 150 °C. El cromatógrafo se controló con un programa de cómputo que en el análisis mide la altura del pico de etileno y CO₂, y el área de la misma, mediante la cual se determinó la concentración en mg·L⁻¹ de cada uno de los componentes, se inyectaron como referencia etileno (INFRA) 103 mg·litro⁻¹ y CO₂ (INFRA) 399 mg·litro⁻¹. En el cromatógrafo el gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 ml·min⁻¹.

La determinación de los desórdenes fisiológicos se realizó mediante la comparación de los frutos de cada una de las condiciones de almacenamiento con el manual de medición del aguacate (White *et al.*, 2001). La evaluación sensorial se realizó cuando los frutos de cada tratamiento y tipo de almacenamiento llegaron a la madurez de consumo. Se trabajó con un panel de 35 personas con la finalidad de llevar a cabo un análisis descriptivo cuantitativo, y con los resultados obtenidos se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar la preferencia del producto por los consumidores (Meilgaard *et al.*, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de peso

El análisis del efecto de las concentraciones de Ca(NO₃)₂ sobre la pérdida de peso del fruto, señaló diferencias sólo para la última fecha de evaluación (sexto día), observándose que los frutos que recibieron la concentración de 0.5 % de Ca(NO₃)₂, tuvieron menor porcentaje de pérdida de peso, con respecto a los frutos que se les aplicó la concentración de 0.0 % (testigo). La respuesta de los frutos a las condiciones de almacenamiento, señaló que el efecto de la

condición ambiente favoreció que los frutos tuvieran el menor porcentaje de pérdida de peso, durante todas las evaluaciones realizadas (seis en total), con respecto a el efecto de la condición 5 semanas a 5 °C. El efecto ocasionado en los frutos por las tres condiciones de almacenamiento fue diferente, en las distintas fechas de evaluación. Además, la interacción concentración x almacenamiento no fue significativa en ninguna de las evaluaciones realizadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Pérdida de peso acumulado (%) en frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)							
	0.0	4.65 a ^z	5.56 a	6.78 a	7.78 a	8.90 a	10.07 a
	0.3	4.38 a	5.17 a	6.34 a	7.18 a	8.19 a	9.23 ab
	0.5	4.28 a	5.06 a	6.15 a	6.98 a	7.92 a	8.94 b
	DMSH	0.654	0.7324	0.8251	0.90	1.0179	1.1117
Almacenamiento (A)							
	Ambiente	0.70 c	1.50 c	2.66 c	3.73 c	5.03 c	6.19 c
	3 semanas a 5 °C	4.61 b	5.38 b	6.51 b	7.52 b	8.42 b	9.49 b
	5 semanas a 5 °C	8.02 a	8.91 a	10.10 a	10.69 a	11.56 a	12.56 a
	DMSH	0.654	0.7324	0.8251	0.90	1.0179	1.1117
	CV	22.61	21.36	19.71	18.89	18.75	18.13
	C x A	0.8610 ^{ns}	0.9405 ^{ns}	0.9448 ^{ns}	0.8905 ^{ns}	0.8380 ^{ns}	0.7577 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

En el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, sobre la pérdida de peso del fruto de aguacate, determinándose diferencias sólo para la última fecha de evaluación (noveno día), donde se observó que el efecto de la concentración de 0.5 % $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la pérdida de peso de los frutos, expresó el menor porcentaje, con respecto al efecto de la concentración 0.0 % (testigo); concentraciones que propiciaron efectos distintos en los frutos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Pérdida de peso acumulado (%) en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
0.0	0.72 a ^z	2.3 a	3.3 a	3.8 a	4.7 a	5.3 a	6.7 a	7.7 a	8.9 a
0.3	0.66 a	2.1 a	3.0 a	3.5 a	4.3 a	4.9 a	6.1 a	6.9 a	8.0 ab
0.5	0.63 a	2.0 a	2.9 a	3.3 a	4.1 a	4.6 a	5.8 a	6.6 a	7.6 b
DMSH	0.1014	0.3115	0.4585	0.5503	0.7027	0.7971	1.001	1.1332	1.3203
CV	13.67	13.0	13.37	13.95	14.46	14.45	14.47	14.47	14.59

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

El análisis conjunto de los dos años sobre el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y de los años sobre la pérdida de peso en fruto, señaló diferencias para los dos factores; observando que los frutos que recibieron la concentración 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, tuvieron menor porcentaje de pérdida de peso, con respecto a los frutos que recibieron la concentración de 0.0 % (testigo); concentraciones que tuvieron efectos distintos en los frutos. El análisis del efecto de los años sobre la pérdida de peso, determinó diferencias para los frutos de la mayoría de las fechas de evaluación, observando menor pérdida de peso en los frutos del segundo año. Finalmente, la interacción concentración x años no fue significativa en las evaluaciones realizadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Pérdida de peso acumulado (%) en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)									
	0.0	0.73 a ^z	2.0 a	3.1 a	4.0 a	5.2 a	6.2 a	7.6 a	8.7 a
	0.3	0.66 ab	1.7 b	2.8 ab	3.5 b	4.5 b	5.4 b	6.5 b	7.5 b
	0.5	0.63 b	1.6 b	2.6 b	3.2 b	4.2 b	4.9 b	6.0 b	6.9 b
	DMSH	0.08	0.25	0.36	0.47	0.62	0.74	0.90	1.04
Años (A)									
	Año 2004	0.69 a	2.14 a	3.06 a	3.73 a	5.02 a	6.19 a	7.35 a	8.52 a
	Año 2005	0.66 a	1.49 b	2.65 b	3.52 a	4.32 b	4.90 b	6.14 b	6.96 b
	DMSH	0.06	0.17	0.24	0.32	0.42	0.50	0.61	0.71
	CV	16.3	17.3	15.6	16.2	16.5	16.7	16.5	16.7
	C x A	0.95 ^{ns}	0.89 ^{ns}	0.63 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.19 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Como puede observarse en los resultados, el efecto de las concentraciones sobre la pérdida de peso del fruto no fue diferente, principalmente cuando los años se analizaron por separado (Cuadros 1 y 2); aunque, cuando el análisis incluyó los resultados de los dos años, las concentraciones tuvieron un efecto distinto en los frutos, destacando el efecto de las concentraciones 0.5 y 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nitrato de calcio (Cuadro 3). Estos resultados señalan el efecto que posiblemente tuvo el calcio en el fruto manteniendo la estabilización de la estructura y funcionamiento de la membrana (Ferguson y Drøback, 1988), dado que en ausencia de calcio la membrana pierde su función permitiendo la salida de agua y solutos del citoplasma (Kirkby y Pilbeam, 1984), pero además, la pérdida de agua después de la cosecha afecta la calidad del aguacate a través de un efecto sobre la velocidad de maduración y/o un efecto sobre la incidencia de pudriciones (Lallum *et al.*, 2004). Por otra parte, la pérdida de agua es una de las principales causas de deterioro de los frutos ya que no sólo afecta directamente mediante pérdidas cuantitativas, sino que lo hace también de manera indirecta con pérdidas de apariencia,

textura y calidad nutricional (Kader, 1986). Los resultados aquí encontrados son afines con lo señalado por Saucedo-Hernández *et al.* (2005), quienes encontraron que los tratamientos que menores pérdidas de peso tuvieron en frutos de aguacate ‘Fuerte’ fueron las concentraciones de 0.3 y 0.5 %.

Las condiciones de almacenamiento señalaron menor pérdida de peso en los frutos al ambiente que en los refrigerados 3 y 5 semanas a 5 °C, en razón de que los frutos que se encontraban almacenados a bajas temperaturas al permanecer en frío presentaron una disminución de la actividad metabólica y consecuentemente de la transpiración; pero al momento de interrumpir la refrigeración y colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales, dicha actividad metabólica, que permanecía latente se reactivó, siendo más acelerada en los frutos que permanecieron mayor tiempo en refrigeración; razón por la cual, la pérdida de peso fue mayor en los frutos almacenados por 5 semanas a 5 °C (Zauberman *et al.*, 1977).

La falta de interacción entre concentraciones x almacenamiento y concentraciones x años, indica un efecto totalmente separado de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al follaje tanto con las condiciones de almacenamiento, como con los años.

Firmeza

Durante el primer año el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la firmeza del fruto de aguacate, no señalaron diferencias en su comportamiento; sin embargo, al analizar el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la firmeza, se observó que los tres tipos de almacenamiento tuvieron efecto distinto sobre la firmeza; observándose que la condición ambiente presentó los valores más altos con respecto a los frutos almacenados 5 semanas a 5 °C, en todas las fechas evaluadas. Además, el análisis de varianza indicó que la interacción concentración x almacenamiento no fue significativa, durante las evaluaciones realizadas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Determinación de firmeza (kg) en frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$					
(%) (C)					
	0.0	9.80 a ^z	5.28 a	3.14 a	0.37 a
	0.3	10.39 a	5.32 a	4.02 a	0.57 a
	0.5	10.30 a	6.07 a	3.55 a	2.46 a
	DMSH	1.4225	1.6483	4.1894	2.5889
Almacenamiento (A)					
	Ambiente	15.21 a	13.96 a	10.27 a	2.12 a
	3 semanas 5 °C	14.39 a	2.43 b	0.20 b	0.15 b
	5 semanas 5 °C	0.90 b	0.28 c	0.24 b	NO
	DMSH	1.4225	1.6483	4.1894	1.7264
	CV	11.62	24.63	97.38	147.58
	C x A	0.786 ^{ns}	0.866 ^{ns}	0.966 ^{ns}	0.0986 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Durante el segundo año sólo fue posible analizar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la firmeza del fruto, encontrándose diferencias sólo para la segunda fecha de evaluación (día tres), donde se observó que los frutos que recibieron la concentración de 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron la mayor firmeza, seguido de los que se asperjaron con la concentración de 0.0 % (testigo) y finalmente, de los frutos que recibieron la concentración de 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. (Cuadro 5).

No se encontraron diferencias durante el análisis que incluyó los resultados de los dos años sobre la firmeza del fruto, por efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; sin embargo, cuando se analizó el efecto de los años sobre la firmeza, se observaron diferencias en la primera y tercera fecha de evaluación (días uno y tres), donde se presentó la tendencia de los frutos a obtener los máximos valores en el segundo año. Respecto a la interacción concentración x años, esta resultó ser no significativa durante las cinco fechas de evaluación realizadas (Cuadro 6).

Cuadro 5. Determinación de firmeza en (kg) frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 9
0.0	17.26 a ^z	15.93 ab	14.24 a	3.94 a	0.20 a
0.3	16.17 a	14.78 b	14.52 a	5.07 a	0.28 a
0.5	17.12 a	17.03 a	15.40 a	3.94 a	0.32 a
DMSH	2.564	2.2318	2.0535	7.9376	0.1441
CV	9.01	8.30	8.26	108.83	31.63

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 6. Determinación de firmeza (kg) en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 9
Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)						
	0.0	15.89 a ^z	14.75 a	11.66 a	2.44 a	0.21 a
	0.3	15.75 a	14.31 a	12.59 a	2.78 a	0.26 a
	0.5	16.72 a	15.96 a	12.75 a	5.07 a	0.29 a
	DMSH	2.4695	1.795	6.6865	6.5885	0.1037
Años (A)						
	Año 2004	15.21 b	13.96 b	10.27 a	2.12 a	0.23 a
	Año 2005	17.04 a	16.05 a	14.39 a	4.74 a	0.28 a
	DMSH	1.6468	1.197	4.4589	4.3935	0.0692
	CV	9.94	7.76	35.18	124.57	26.00
	C x A	0.6494 ^{ns}	0.3523 ^{ns}	0.7736 ^{ns}	0.7814 ^{ns}	0.2619 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de Ca(NO₃)₂ por años de evaluación.

A pesar de que se ha mencionado que el calcio juega un papel muy importante en la estructura de la pared celular y que por medio de ello contribuye a la firmeza de los tejidos del fruto (Alcaraz-Lopez *et al.*, 2004) las concentraciones no tuvieron efecto consistente sobre la firmeza del fruto, aún y cuando con 0.3 y 0.5 % de Ca(NO₃)₂ la mayor parte de los días evaluados presentaron mayor firmeza que los frutos sin aplicación (0.0 %) (Cuadros 4, 5 y 6);

sólo en la segunda fecha evaluada (día tres), los frutos con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, presentaron el valor más alto de firmeza durante el segundo año, hecho que pudo haberse debido al efecto del calcio aplicado durante las aspersiones en precosecha, en función de que la firmeza del fruto es una variable que se encuentra correlacionada positivamente con el contenido de calcio de los frutos, aunque no siempre presenta significancia estadística (Marcelle, 1995).

Las condiciones de almacenamiento señalaron mayor firmeza en los frutos almacenados al ambiente que en los refrigerados 3 y 5 semanas a 5 °C después del periodo de almacenamiento, en razón de que los frutos almacenados a bajas temperaturas mientras permanecieron en frío la actividad metabólica se redujo, pero al momento de colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales, dicha actividad que permanecía latente se reactivó, siendo más fuerte en los frutos que permanecieron mayor tiempo en refrigeración; por ello, el ablandamiento y la consecuente maduración de los frutos fue más acelerada en aquellos que permanecieron mayor tiempo en refrigeración, como los almacenados por 5 semanas a 5 °C (Zauberman *et al.*, 1977). Además, es bien sabido que la hidrólisis de la pared celular se encuentra involucrada en el ablandamiento de los frutos climatéricos por la solubilización de hemicelulosas y pectinas insolubles que constituyen las reservas de monosacáridos para la respiración (Fallahi *et al.*, 1997).

Estos resultados coinciden con lo señalado por Saucedo-Hernández *et al.* (2005) quienes mencionan que los frutos de aguacate ‘Fuerte’ que tuvieron tratamiento con calcio en precosecha, presentaron mayor firmeza que los testigos; de igual manera coinciden con lo establecido por López y Cajuste (1996) quienes incrementaron la firmeza de los frutos de aguacate almacenados a 5 °C mediante la aplicación de nitrato de calcio. Además, se sabe que el calcio retarda el ablandamiento de los frutos de manzana mediante la detención de la degradación de los polímeros de la pared celular y también desempeña una importante función

en la unión célula a célula, fenómeno que es importante para mantener la textura del fruto (Fallahi *et al.*, 1997).

La falta de interacción de las concentraciones x almacenamiento y de las concentraciones x años en la firmeza del fruto, indica un efecto totalmente separado de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tanto con las condiciones de almacenamiento, como con los años, para todas las fechas de evaluación.

Maduración

Al analizar los días promedio de maduración de los frutos de aguacate durante el primer año, se observó que los frutos asperjados con 0.5 y 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ maduraron ligeramente más tarde que los frutos sin tratar (testigo); esto significó 0.5 días más tarde que el testigo tanto en la condición ambiental como en la de 3 semanas a 5 °C; sin embargo, en la condición 5 semanas a 5 °C la diferencia fue de 1.0 días a favor de los frutos que recibieron $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. En la evaluación del segundo año, la tendencia de la respuesta de los frutos se mantuvo, observándose que aquellos que recibieron 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron el mayor número de días a maduración, con respecto a los frutos sin tratar (testigo), en la única evaluación que se realizó en la condición ambiente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Días a maduración de frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados en diferentes ambientes, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio al follaje, durante el primer y segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Ambiente	3 semanas 5 °C	5 semanas 5 °C	Ambiente
	Primer año			Segundo año
0.0	7.0	4.5	4.0	7.0
0.3	7.5	5.0	5.0	8.5
0.5	7.5	5.0	5.0	9.0

La pared celular de las plantas superiores esta compuesta de tres tipos principales de polisacáridos: celulosa, hemicelulosa y pectinas, siendo estas últimas las responsables de la resistencia y flexibilidad de los órganos no lignificados, así como de la maduración de los frutos (Van Cutsem y Messiaen, 1993); la maduración y senescencia de los frutos son reguladas por el calcio mediante su función en el ligamiento de polisacáridos y proteínas de la pared celular (Kadir, 2004). Las concentraciones empleadas de calcio tuvieron efecto sobre los días a maduración de los frutos en cada una de las condiciones de almacenamiento empleadas y durante los dos años de evaluación, dado que la velocidad de ablandamiento del fruto depende del contenido de calcio del mismo (Fallahi *et al.*, 1997), de esta forma los frutos que recibieron las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.3 y 0.5 %) presentaron mayor número de días a maduración (Cuadro 7).

Durante el segundo año en la condición ambiente y en la comparación de resultados de los dos años en la misma condición, se observó un efecto mayor de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en los frutos que se asperjaron con 0.5 % , respecto al testigo (Cuadro 7); calcio que probablemente se incrementó en los frutos del segundo año, en función de que se ha señalado que los incrementos en los contenidos de calcio en los frutos retardan la maduración y la senescencia (Eaks, 1985). Estos resultados concuerdan con lo señalado por Penter y Stassen (2000) quienes señalaron que las aplicaciones de calcio en postcosecha han dado buenos resultados en aguacate logrando aumentar el tiempo a maduración de los frutos; debido a que, cuando se incrementa el nivel de calcio en los frutos se mejora la vida de almacén (Wójcik y Lewandowski, 2003).

Las condiciones de almacenamiento señalaron que los frutos de ambiente presentaron el mayor número de días promedio a maduración, que los frutos refrigerados 3 y 5 semanas a 5 °C, en razón de que los tiempos de maduración de los frutos de aguacate disminuyen con el incremento de la temperatura, después de haber sido sometidos a un periodo de frío (Dixon *et al.*,

2003); además de que los frutos almacenados a bajas temperaturas mientras permanecieron en frío la actividad metabólica se redujo, pero al término de la refrigeración y de colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales (22 °C), dicha actividad que permanecía latente se reactivó; es por ello que, los frutos refrigerados maduraron primero, requiriendo menor número de días para madurar (Zauberman *et al.*, 1977). Los resultados coinciden con lo establecido por Cajuste *et al.* (1994), quienes obtuvieron una reducción de los días a maduración a medida que se incrementó el tiempo de frigoconservación, acentuándose aún más en los frutos almacenados a 5 °C. Estos resultados están dentro del tiempo de 6 a 12 días que el aguacate requiere para llegar a la maduración a 20 °C (Eaks, 1980).

Color

El análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el color de la cáscara del fruto durante el primer año, señaló diferencias para el ángulo Hue en la segunda fecha de evaluación (día tres), donde se observó que los frutos asperjados con 0.3 % $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron el máximo valor y se comportaron diferente que los frutos de las otras dos concentraciones (Cuadro 8). También se presentaron diferencias en los frutos por efecto de las condiciones de almacenamiento, en L, Croma y el ángulo Hue para todas las evaluaciones realizadas; observándose que los máximos valores de L, Croma y el ángulo Hue, fueron para la condición ambiente, la cual fue diferente de las dos condiciones restantes (Cuadros 8 y 9). La interacción concentración x años resultó no significativa en las evaluaciones realizadas (Cuadros 8 y 9).

Cuadro 8. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 1			Día 3	
	0.0	29.1 a ^z	17.8 a	114.0 a	26.3 a	13.3 a	84.4 b
	0.3	27.4 a	17.3 a	117.2 a	26.3 a	15.3 a	107.8 a
	0.5	27.8 a	14.8 a	112.6 a	25.2 a	13.0 a	80.5 b
	DMSH	1.8401	3.8668	19.494	1.5282	2.9304	20.467
Almacenamiento (A)							
	Ambiente	27.9 b	21.8 a	132.8 a	28.2 a	16.5 a	112.6 a
	3 semanas 5 °C	30.3 a	17.4 b	116.0 a	25.3 b	13.7 ab	92.9 a
	5 semanas 5 °C	26.2 b	10.6 c	95.0 b	24.3 b	11.4 b	67.2 b
	DMSH	1.8401	3.8668	19.494	1.5282	2.9304	20.467
	CV	10.03	35.62	26.11	9.03	32.33	34.55
	C x A	0.134 ^{ns}	0.169 ^{ns}	0.342 ^{ns}	0.253 ^{ns}	0.843 ^{ns}	0.447 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Cuadro 9. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	L	Croma	Hue
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 5	
	0.0	24.1 a ^z	11.1 a	80.1 a
	0.3	24.8 a	11.4 a	73.5 a
	0.5	24.4 a	11.3 a	80.2 a
	DMSH	1.6486	2.7475	18.443
Almacenamiento (A)				
	Ambiente	26.6 a	13.4 a	110.1 a
	3 semanas 5 °C	23.3 b	10.7 ab	67.2 b
	5 semanas 5 °C	23.2 b	9.8 b	56.6 b
	DMSH	1.6486	2.7475	18.443
	CV	10.35	37.13	36.30
	C x A	0.7379 ^{ns}	0.1114 ^{ns}	0.1369 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

En el segundo año sólo se evaluó el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el color de los frutos, donde se encontraron diferencias para L y Croma, observándose que los frutos asperjados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron los valores más altos con respecto a los frutos sin tratar (testigo) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de valuación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue	L	Croma
		Día 1			Día 3			Día 5
0.0	30.6 b ^z	22.0 a	130.6 a	28.2 b	16.0 b	119.2 a	28.7 b	13.2 b
0.3	32.5 ab	21.5 a	127.5 a	32.7 a	19.6 ab	100.9 a	32.1 a	20.5 a
0.5	34.5 a	21.9 a	114.7 a	34.0 a	24.7 a	112.1 a	34.0 a	22.5 a
DMSH	2.9635	6.8661	30.59	3.3228	6.2383	27.036	2.9779	5.3574
CV	8.19	28.33	22.19	9.45	27.9	22.01	8.48	25.73
	Hue	L	Croma Día 7	Hue	L	Croma Día 9	Hue	
0.0	111.6 a	26.5 b	19.0 a	108.1 a	25.4 a	8.9 b	75.5 a	
0.3	92.6 a	29.3 ab	14.9 a	86.2 a	25.2 a	11.1 ab	76.9 a	
0.5	109.8 a	31.3 a	15.7 a	100.7 a	26.7 a	13.6 a	61.4 a	
DMSH	19.732	3.1802	5.745	29.405	2.5564	4.235	39.034	
CV	16.99	9.84	31.19	26.95	8.92	33.87	49.38	

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Cuando el análisis de los resultados de la variable color incluyó los datos de los dos años, se observó que tanto el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, como de los propios años de evaluación, sobre el color de los frutos, presentó diferencias tanto en L como en Croma, donde se observó que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron los máximos valores, con respecto a los frutos del testigo, teniendo un comportamiento diferente. El análisis del efecto de los años sobre el color de los frutos señaló diferencias para L, Croma y el ángulo Hue; donde se

observó que los frutos del segundo año tuvieron los valores más altos en los tres componentes del color, y tuvieron un comportamiento distinto a los frutos del primer año (Cuadros 11 y 12). Además, el análisis de varianza indicó que la interacción concentración x años resultó ser significativa tanto para L, como para Croma, en la segunda fecha de evaluación (día tres), así como en L, en la tercera fecha de evaluación (día cinco) (Cuadros 11 y 12).

Cuadro 11. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 1			Día 3	
	0.0	28.9 a ^z	23.5 a	130.1 a	28.6 a	17.0 a	117.9 a
	0.3	30.6 a	20.7 a	126.2 a	30.4 a	17.2 a	108.9 a
	0.5	31.1 a	21.7 a	125.4 a	30.8 a	20.7 a	108.3 a
	DMSH	2.3777	5.2034	20.539	2.2325	4.1039	20.794
Años (A)							
	Año 2004	27.9 b	21.8 a	132.8 a	28.2 b	16.5 b	112.6 a
	Año 2005	32.5 a	22.1 a	121.6 a	31.7 a	20.1 a	110.8 a
	DMSH	1.6141	3.5321	13.942	1.5155	2.7858	14.115
	CV	9.74	29.30	20.02	9.23	27.72	23.08
	C x A	0.165 ^{ns}	0.523 ^{ns}	0.177 ^{ns}	0.0004 ^{**}	0.0103*	0.227 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Cuadro 12. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 5			Día 7	
	0.0	28.0 b ^z	12.8 b	115.1 a	25.1 b	13.9 a	81.8 a
	0.3	28.9 ab	16.9 ab	102.8 a	25.6 ab	12.9 a	74.6 a
	0.5	30.6 a	19.1 a	104.8 a	27.7 a	13.6 a	81.2 a
	DMSH	2.5374	4.1835	19.47	2.1668	3.8003	25.239
Años (A)							
	Año 2004	26.6 b	13.4 b	110.1 a	23.0 b	10.7 b	61.9 b
	Año 2005	31.7 a	19.0 a	105.1 a	29.2 a	16.3 a	96.5 a
	DMSH	1.7224	2.8398	13.216	1.4709	2.5797	17.133
	CV	10.76	31.91	22.44	10.27	34.81	39.50
	C x A	0.0191*	0.545 ^{ns}	0.086 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.367 ^{ns}	0.478 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

El análisis del color es con frecuencia una consideración importante para determinar la eficacia de una variedad de tratamientos postcosecha (McGuire, 1992), ya que durante la maduración del fruto, la cáscara del aguacate ‘Hass’ cambia de verde a morado-negro (Cox *et al.*, 2004).

Los resultados del primer año de evaluación indican que los frutos que recibieron 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ mantuvieron por mayor tiempo el color verde de la cáscara, impidiendo el cambio que señala Cox *et al.* (2004) durante el proceso de maduración del fruto de aguacate. Por su parte, los resultados del segundo año y los de los dos años juntos, indican que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron mayor brillantez e intensidad del color verde de los frutos. Como puede observarse en los resultados, las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron efecto sobre la permanencia de la brillantez, intensidad y tonalidad verde, representado por los altos valores de L, Croma y del ángulo Hue en los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, respecto a los frutos sin tratar; debido a que el color verde del fruto se ha correlacionado con el contenido de calcio del

mismo, dado que en frutos con altos niveles de calcio el color verde permanece por mayor tiempo (Marcelle, 1995) y a que el calcio retarda los cambios de color en el fruto (Ferguson, 1984); aunque estos cambios pueden deberse tanto a procesos de degradación como a procesos biosintéticos o bien a ambos (Kader, 1999). No obstante, los valores de L, Croma y Hue disminuyeron a medida que el fruto maduraba en cada concentración y año evaluado (Cox *et al.*, 2004).

Los efectos de las condiciones de almacenamiento sobre el color de la cáscara, indicaron que la condición ambiente favoreció en los frutos la permanencia de la brillantez, intensidad y tonalidad verde, representados por los altos valores de L, Croma y del ángulo Hue en los frutos evaluados; aún y cuando durante la maduración se presentaron cambios de color, los cuales pudieron ser atribuidos a cambios en la concentración de clorofila y antocianinas que se presentan durante el proceso normal de maduración del fruto (Cox *et al.*, 2004); aunque esos cambios pueden ser más acentuados en frutos que hayan estado en refrigeración, en razón de que los frutos almacenados a bajas temperaturas tuvieron su actividad metabólica reducida, pero al término de la refrigeración y de colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales (22 °C), dicha actividad que permanecía latente se reactivó, siendo más acelerada en los frutos que permanecieron almacenados por mayor tiempo; es por ello que, los frutos refrigerados durante 5 semanas a 5 °C no pudieron mantener la brillantez, intensidad y tonalidad verde, los cuales disminuyeron rápidamente en los frutos después de su periodo de frío (Cuadros 8 y 9). (Zauberman *et al.*, 1977). La falta de interacción entre los factores concentraciones x almacenamiento en L, Croma y Hue, señala que las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al fruto, no tuvieron participación en el efecto que las condiciones de almacenamiento efectuaron sobre la brillantez, intensidad y tonalidad verde de los frutos, durante su almacenamiento respectivo; en tanto que, la interacción concentraciones x años en L y Croma indicaron una

participación de las concentraciones junto con los años, sobre el efecto de la brillantez e intensidad del color en los frutos evaluados.

Permeabilidad de membrana

Durante el primer año de evaluación se presentaron diferencias en el efecto de las concentraciones sobre la permeabilidad de la membrana en cáscara, observándose que los frutos tratados con 0.5 y 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron los porcentajes de permeabilidad más bajos, con respecto a los frutos sin tratar (0.0 %), en las evaluaciones de la primer fecha (día uno) al inicio de la evaluación y en la segunda fecha (día tres) dos horas después del inicio. Respecto al efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la permeabilidad de membrana en cáscara, se encontraron diferencias, durante la primera evaluación (día uno) al inicio de la misma y dos horas después, en la segunda evaluación (día tres) una y dos horas después del inicio y finalmente, en la tercera evaluación (quinto día) una y dos horas después del inicio; donde se observó que los frutos de la condición ambiente tuvieron los valores más bajos de permeabilidad de membrana, con respecto a los frutos de la condición 5 semanas a 5 °C, teniendo un comportamiento diferente. El análisis de varianza indicó que la interacción concentraciones x almacenamiento resultó significativa en cáscara para las fechas de evaluación uno, dos y tres, días uno, tres y cinco, respectivamente (Cuadro 13).

En la evaluación de la pulpa durante el primer año, se encontraron diferencias entre el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la permeabilidad de la membrana, para la segunda fecha de evaluación evaluación (día tres) al inicio, una y dos horas después, así como en la tercera fecha (quinto día) al inicio de la evaluación, observándose en todas ellas que los frutos con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron el menor porcentaje de permeabilidad de membrana, con respecto a los frutos sin tratar (0.0 %), teniendo un comportamiento diferente. Respecto al efecto de las condiciones de almacenamiento, se presentaron diferencias durante la primer fecha de

evaluación (día uno) una y dos horas después del inicio, durante la segunda y tercera fecha de evaluación (días tres y cinco) al inicio, una y dos horas después; en donde se observó que los frutos de la condición ambiente tuvieron porcentajes de permeabilidad menor, con respecto a los frutos de la condición 5 semanas a 5 °C, presentando un comportamiento diferente. Además, el análisis de varianza indicó que la interacción concentraciones x almacenamiento resultó ser no significativa para la pulpa (Cuadro 14).

Cuadro 13. Permeabilidad de membrana (%) en cáscara de frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 1			Día 3			Día 5	
	0.0	8.3 a ^z	14.1 a	16.6 a	3.4 a	12.8 a	24.9 a	0.0 a	17.8 a	25.8 a
	0.3	0.0 b	5.4 a	14.8 a	0.9 a	13.6 a	20.7 ab	0.0 a	14.0 a	24.8 a
	0.5	0.0 b	9.7 a	21.7 a	0.0 a	6.3 a	18.2 b	0.86 a	14.5 a	22.3 a
	DMSH	3.3192	14.142	8.4939	5.6512	7.9205	5.8257	1.7944	4.91	4.7647
Almacenamiento (A)										
	Ambiente	0.0 b	15.1 a	4.8 c	1.2 a	3.6 b	10.3 c	0.0 a	11.9 b	18.9 b
	3 semanas 5 °C	0.0 b	4.6 a	19.8 b	0.0 a	10.7 ab	21.8 b	0.0 a	17.6 a	25.3 a
	5 semanas 5 °C	8.3 a	9.5 a	28.5 a	3.1 a	18.4 a	31.8 a	0.86 a	16.9 a	28.8 a
	DMSH	3.3192	14.142	8.4939	5.6512	7.9205	5.8257	1.7944	4.91	4.7647
	CV	99.33	120.13	39.75	320.50	60.10	22.70	519.61	26.33	16.26
	C x A	.0001**	0.757 ^{ns}	0.601 ^{ns}	0.791 ^{ns}	0.034*	0.142 ^{ns}	0.433 ^{ns}	0.029*	0.869 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Durante el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones sobre la permeabilidad de la membrana en cáscara, análisis que indicó diferencias para la quinta fecha de evaluación (noveno día) dos horas después del inicio, donde se observó que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron menor porcentaje de permeabilidad de membrana y fue diferente de las otras dos concentraciones; (Cuadro 15).

Cuadro 14. Permeabilidad de membrana (%) en pulpa de frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 1			Día 3			Día 5	
	0.0	15.8 a ^z	24.1 a	32.8 a	23.8 a	37.8 a	51.4 a	26.1 a	42.7 a	62.1 a
	0.3	11.0 a	18.8 a	29.0 a	22.2 a	37.0 ab	49.8 a	19.5 b	38.0 a	53.3 a
	0.5	14.5 a	20.7 a	33.0 a	15.5 b	31.9 b	44.1 b	16.1 b	37.6 a	58.0 a
	DMSH	6.5996	9.0083	5.096	5.7246	5.4286	5.1701	5.2617	8.7044	12.508
Almacenamiento (A)										
	Ambiente	16.6 a	18.4 b	16.1 c	8.9 b	15.4 b	16.8 c	15.8 b	25.1 c	35.5 b
	3 semanas 5 °C	12.0 a	14.0 b	21.3 b	26.3 a	43.7 a	58.8 b	16.5 b	41.9 b	72.9 a
	5 semanas 5 °C	12.8 a	31.0 a	57.5 a	26.2 a	47.5 a	69.7 a	29.5 a	51.3 a	65.1 a
	DMSH	6.5996	9.0083	5.0996	5.7246	5.4286	5.1701	5.2617	8.7044	12.508
	CV	39.64	35.29	13.38	23.15	12.67	8.86	21.18	18.32	17.96
	C x A	0.520 ^{ns}	0.409 ^{ns}	0.359 ^{ns}	0.773 ^{ns}	0.071 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.177 ^{ns}	0.569 ^{ns}	0.614 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Cuadro 15. Permeabilidad de membrana (%) en cáscara de frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
		Día 7			Día 9	
0.0	0.0 a ^z	21.35 a	29.38 a	2.1 a	17.47 a	25.2 a
0.3	2.5 a	20.23 a	24.81 a	5.5 a	20.48 a	23.9 a
0.5	3.84 a	15.36 a	20.89 a	0.0 a	10.89 a	15.0 b
DMSH	9.9917	10.282	9.6768	8.8253	10.814	7.7595
CV	279.95	32.09	22.91	205.12	39.35	21.46

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

El análisis del efecto de las concentraciones sobre la permeabilidad de membrana en pulpan, señaló diferencias para la segunda fecha de evaluación (día tres) al inicio y una hora después; observándose que los frutos sin tratamiento (0.0 %) de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron los

máximos valores de permeabilidad de membrana, con respecto a los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, presentando un comportamiento diferente (Cuadro 16).

Cuadro 16. Permeabilidad de membrana (%) en pulpa de frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
		Día 1			Día 3			Día 5	
0.0	13.96 a ^z	16.62 a	18.42 a	14.97 a	18.59 a	21.53 a	13.68 a	17.57 a	18.82 a
0.3	13.74 a	16.35 a	18.54 a	12.36 b	18.48 a	21.28 a	12.49 a	16.53 a	17.02 a
0.5	12.03 a	15.66 a	18.28 a	12.24 b	15.10 b	18.42 a	12.12 a	13.82 a	16.74 a
DMSH	2.8752	4.4987	5.0321	1.9718	3.1198	4.3849	1.8511	4.1102	3.2504
CV	12.86	16.44	16.19	8.85	10.63	12.73	8.59	15.24	10.98

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Cuando el análisis incluyó los valores de los dos años evaluados, el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la permeabilidad de membrana en cáscara señaló diferencias para la primer fecha de evaluación (día uno) al inicio, donde se observó que los frutos sin tratamiento (testigo) de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron el máximo porcentaje de permeabilidad de membrana, con respecto a los frutos de tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.3 y 0.5 %), cuyo comportamiento fue diferente (Cuadro 17). El análisis del efecto de los años sobre la permeabilidad de la membrana en cáscara señaló diferencias para la primer fecha de evaluación (día uno) dos horas después del inicio, en la tercera fecha (quinto día) una y dos horas después del inicio y finalmente en la quinta fecha (séptimo día) dos horas después del inicio, donde pudo observarse que los frutos evaluados en el primer año siempre tuvieron los máximos valores, teniendo un comportamiento diferente con los frutos del segundo año. El análisis de varianza realizado en cáscara señaló que la interacción concentraciones x años resultó ser significativa para la primer fecha de evaluación (día uno) al inicio de la misma (Cuadros 17 y 18).

Cuadro 17. Permeabilidad de membrana (%) en cáscara de frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 1			Día 3			Día 5	
	0.0	12.4 a ^z	12.4 a	14.8 a	1.8 a	4.1 a	11.0 a	0.0 a	10.9 a	15.5 a
	0.3	2.6 b	6.4 a	15.3 a	0.0 a	2.2 a	5.3 a	0.0 a	2.4 a	13.3 a
	0.5	2.5 b	10.9 a	23.8 a	3.0 a	4.3 a	4.6 a	0.0 a	7.2 a	8.4 a
	DMSH	9.6203	18.703	12.111	7.7595	10.807	11.634	0.0	9.1866	10.209
Años (A)										
	Año 2004	8.3 a	15.1 a	28.5 a	1.2 a	3.6 a	10.3 a	0.0 a	11.9 a	18.9 a
	Año 2005	3.5 a	4.7 a	7.4 b	2.0 a	3.5 a	3.6 a	0.0 a	1.8 b	6.0 b
	DMSH	6.4153	12.472	8.0765	5.1745	7.207	7.7583	0.0	6.1261	6.8078
	CV	105.56	121.92	43.67	308.23	195.96	107.8	0.0	86.53	53.19
	C x A	0.001**	0.233 ^{ns}	0.812 ^{ns}	0.273 ^{ns}	0.626 ^{ns}	0.210 ^{ns}	0.0	0.400 ^{ns}	0.427 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Cuadro 18. Permeabilidad de membrana (%) en cáscara de frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 7			Día 9	
	0.0	2.0 a ^z	17.4 a	22.7 a	3.3 a	14.1 a	23.7 a
	0.3	5.5 a	19.2 a	22.6 a	7.0 a	15.5 a	21.7 a
	0.5	3.2 a	11.8 a	20.3 a	2.3 a	14.2 a	18.2 a
	DMSH	10.148	10.046	6.5068	9.3566	7.0115	6.2351
Año (A)							
	Año 2004	3.65 a	13.4 a	24.5 a	4.3 a	14.0 a	21.3 a
	Año 2005	3.52 a	18.8 a	19.2 b	4.2 a	15.3 a	21.1 a
	DMSH	6.7674	6.6995	4.3391	6.2395	4.6757	4.1579
	CV	183.53	40.38	19.29	142.10	31.02	19.04
	C x A	0.357 ^{ns}	0.972 ^{ns}	0.709 ^{ns}	0.473 ^{ns}	0.352 ^{ns}	0.153 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Cuadro 19. Permeabilidad de membrana (%) en pulpa de frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 1			Día 3			Día 5	
	0.0	14.2 a ^z	16.1 a	18.1 a	13.1 a	16.1 a	18.0 a	16.8 a	24.5 a	32.0 a
	0.3	14.5 a	17.0 a	19.7 a	11.9 a	16.5 a	18.8 a	12.9 a	18.4 a	21.2 a
	0.5	15.6 a	17.7 a	20.1 a	7.8 a	15.5 a	17.2 a	13.3 a	19.3 a	27.1 a
	DMSH	3.4549	4.016	4.6134	6.5058	2.5156	2.7299	4.6841	9.9857	18.005
Años (A)										
	Año 2004	16.6 a	18.4 a	21.3 a	8.9 a	15.4 a	16.8 b	15.8 a	25.1 a	35.5 a
	Año 2005	12.9 b	15.4 b	17.3 b	13.0 a	16.6 a	19.2 a	12.9 a	16.3 b	18.0 b
	DMSH	2.3039	2.6781	3.0765	4.3384	1.6776	1.8205	3.1236	6.659	12.007
	CV	15.14	15.35	15.48	38.42	10.15	9.81	21.15	31.21	43.60
	C x A	0.035*	0.563 ^{ns}	0.541 ^{ns}	0.129 ^{ns}	0.083 ^{ns}	0.303 ^{ns}	0.431 ^{ns}	0.341 ^{ns}	0.544 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Durante el análisis de los dos años, el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la permeabilidad de membrana en pulpa, indicó diferencias para la quinta fecha de evaluación (día 9) dos horas después del inicio; observándose que los frutos sin tratamiento (testigo) tuvieron el mayor valor de permeabilidad de membrana y fueron diferentes de los frutos de las dos concentraciones restantes (Cuadro 20).

El análisis de los efectos de los años sobre la permeabilidad de la membrana en pulpa, señaló diferencias para todas las fechas de evaluación; donde se observó que el porcentaje de permeabilidad fue más alto en los frutos evaluados en el primer año, teniendo un comportamiento diferente con los del segundo (Cuadros 19 y 20). Además, el análisis de varianza realizado en pulpa, indicó que la interacción concentración x años resultó ser significativa sólo en la primera evaluación (día uno) (Cuadros 19 y 20).

Cuadro 20. Permeabilidad de membrana (%) en pulpa de frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	Inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 7			Día 9	
	0.0	20.6 a ^z	34.0 a	50.9 a	23.6 a	46.1 a	67.6 a
	0.3	25.2 a	38.4 a	51.8 a	21.0 a	41.0 a	61.9 ab
	0.5	23.8 a	32.2 a	42.0 a	21.0 a	45.1 a	55.8 b
	DMSH	18.819	22.632	27.21	10.67	12.245	11.198
Año (A)							
	Año 2004	31.6 a	28.4 a	47.0 a	25.6 a	51.9 a	59.5 a
	Año 2005	14.8 b	41.3 a	49.4 a	18.1 b	36.3 b	64.0 a
	DMSH	12.55	15.092	18.145	7.1152	8.1653	7.4673
	CV	52.59	42.09	36.61	31.59	18.02	11.76
	C x A	0.131 ^{ns}	0.078 ^{ns}	0.077 ^{ns}	0.061 ^{ns}	0.124 ^{ns}	0.542 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

La presencia del climaterio respiratorio junto con la degradación enzimática de la pared celular, son eventos que señalan la posibilidad de cambios en las membranas de los frutos maduros de aguacate (Dallman *et al.*, 1988); debido a que el mayor sitio de acción del calcio durante la maduración y senescencia del fruto, es sobre la estructura y funcionamiento de la membrana; a este elemento se le ha considerado un importante agente mediador del control del metabolismo de las células vegetales (Ferguson, 1984); por otra parte, la asociación del calcio con los fosfolípidos y las proteínas de membrana, es determinante para mantener la integridad y el control de funciones asociadas con la membrana (Anderson y Campbell, 1995).

Sin embargo, a pesar de haberse presentado un proceso normal de maduración en los frutos evaluados, se observó que las concentraciones de calcio no tuvieron efecto consistente sobre la permeabilidad de membrana en cáscara y pulpa en ninguno de los años evaluados; a pesar de que en algunas evaluaciones se observó que las concentraciones de 0.3 y 0.5 % de calcio presentaron menor salida de electrolitos (Cuadros 13-20), ya que como se ha mencionado,

el calcio mantiene la integridad de la membrana plasmática y el proceso de osmoregulación (Anderson y Campbell, 1995), aunque también cuando la fruta entra en proceso de maduración y senescencia el indicador más obvio de cambios en permeabilidad es el incremento de solutos que señala pérdida de la permeabilidad de la membrana (Ferguson, 1984), además se sabe también que el calcio desempeña un papel regulatorio del metabolismo (Kay y Higgs, 2002).

El efecto de las condiciones de almacenamiento sobre los frutos fue más consistente, debido a que la condición ambiente fue la que propició menor salida de electrolitos de las células de los frutos, expresada por los bajos valores de permeabilidad, lo cual pudo haberse debido a que el calcio también desempeña un papel importante en la transducción de señales bajo ambientes de estrés y la estabilización celular de la estructura de la membrana (Gao *et al.*, 2004), lo cual explica la significancia de la interacción concentración x almacenamiento; ya que la baja temperatura induce alteraciones en la composición física del contenido de lípidos de la membrana plasmática, incrementando la proporción de fosfolípidos y la permeabilidad de la membrana (Shen y Yan, 2002).

La significancia de la interacción concentraciones x almacenamiento señala una participación conjunta tanto de las concentraciones como de las condiciones de almacenamiento sobre la permeabilidad de la membrana en cáscara. Respecto a la interacción concentraciones x años que resultaron significativas, señalan un efecto de los años junto con las concentraciones sobre la permeabilidad de membrana en cáscara y pulpa

Actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO)

El análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la actividad enzimática de la PPO en la pulpa de los frutos, no señaló diferencias. Sin embargo, el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la actividad enzimática de los frutos, presentaron diferencias durante la primer y tercera fecha de evaluación (días uno y tres), donde se pudo observar que los frutos

almacenados en la condición ambiente presentaron la menor actividad enzimática, con respecto a los frutos de la condición 5 semanas a 5 °C, cuyo comportamiento fue diferente. Además, el análisis de varianza indicó que la interacción concentraciones x almacenamiento no resultó significativa (Cuadro 21).

Cuadro 21. Actividad de la enzima polifenoloxidasas ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate ‘Hass’ en tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)					
	0.0	164.61 a ^z	180.78 a	126.48 a	162.67 a
	0.3	162.54 a	177.16 a	168.22 a	151.82 a
	0.5	198.60 a	175.25 a	164.50 a	173.36 a
	DMSH	66.60	41.80	46.00	43.30
Almacenamiento (A)					
	Ambiente	135.16 b	147.97 b	151.79 a	154.69 a
	3 semanas 5 °C	165.85 ab	181.60 ab	154.12 a	170.55 a
	5 semanas 5 °C	224.75 a	203.61 a	153.29 a	
	DMSH	66.60	41.80	46.00	29.30
	CV	47.07	29.14	37.20	26.43
	C x A	0.441 ^{ns}	0.334 ^{ns}	0.960 ^{ns}	0.299 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Para el segundo año de evaluación sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, donde el análisis señaló que no se encontraron diferencias (Cuadro 22).

No se encontraron diferencias durante el análisis de valores de los dos años, del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la actividad enzimática de los frutos. No obstante, mediante el análisis del efecto de los años sobre la actividad de la PPO, se determinaron diferencias en los frutos para todas las fechas de evaluación, donde se observó que la actividad

de la enzima PPO fue mayor en los frutos del primer año, y tuvieron comportamiento distinto de los frutos del segundo año (Cuadro 23). Respecto a la interacción concentraciones x años, el análisis de varianza indicó que no fue significativa para las diferentes fechas de evaluación (Cuadro 23).

Cuadro 22. Actividad de la enzima polifenoloxidasas ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 9
0.0	67.3 a ^z	76.8 a	61.9 a	79.0 a	58.0 a
0.3	68.6 a	52.2 a	68.2 a	67.1 a	73.2 a
0.5	44.4 a	76.0 a	69.0 a	58.4 a	76.0 a
DMSH	27.60	27.50	65.90	29.40	35.80
CV	27.16	23.83	58.78	25.57	30.69

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A:

Cuadro 23. Actividad de la enzima polifenoloxidasas ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor nivel	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)				
0.0	115.5 a ^z	107.6 a	86.0 a	114.1 a
0.3	80.3 a	99.8 a	121.0 a	110.7 a
0.5	98.5 a	120.6 a	123.9 a	107.6 a
DMSH	74.90	38.50	54.90	24.80
Años (A)				
Año 2004	136.2 a	150.4 a	154.3 a	153.4 a
Año 2005	60.1 b	68.3 b	66.4 b	68.2 b
DMSH	50.50	26.00	37.00	16.70
CV	68.31	31.47	44.51	20.00
C x A	0.326 ^{ns}	0.521 ^{ns}	0.309 ^{ns}	0.371 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Desde hace tiempo se sabe que el ión calcio se encuentra relacionado con muchos procesos fisiológicos fundamentales de las plantas, tales como paredes celulares, membranas, cromosomas y activación enzimática, entre otros (Tingwa y Young, 1974); el manchado de la pulpa es un desorden fisiológico causado por la enzima polifenoloxidasas, el cual disminuye considerablemente la calidad postcosecha del fruto (Bower *et al.*, 2000). Sin embargo, durante la investigación se observó que las concentraciones de calcio no tuvieron efecto sobre la actividad de la polifenoloxidasas, lo cual no coincide con Rensburg y Engelbrecht (1985) quienes aplicaron soluciones con calcio en frutos de aguacate ‘Fuerte’ en postcosecha y encontraron que los tratamientos que incluían calcio suprimieron la oxidación de fenoles producida por la actividad de la polifenoloxidasas; de igual manera, no coinciden con lo señalado por Saucedo-Hernández *et al.* (2005) quienes asperjaron frutos de aguacate ‘Fuerte’ en precosecha con soluciones de calcio y encontraron una menor actividad de polifenoloxidasas en los mismos.

Respecto a las condiciones de almacenamiento, se observó que los resultados coinciden con lo establecido por Truter *et al.* (1991) quienes almacenaron frutos de aguacate ‘Fuerte’ a 5.5 °C y observaron que la actividad enzimática de los frutos en refrigeración se incrementó drásticamente después de colocarlos a madurar a temperatura ambiente, mientras que la actividad de los no refrigerados fue significativamente menor. Al comparar los años se observa menor actividad enzimática en el segundo que en el primero, esto puede deberse al incremento del calcio observado en el análisis nutrimental de los frutos evaluados en el segundo año, ya que el calcio mantiene una separación entre la enzima polifenoloxidasas y el sustrato fenólico (Bower y Cutting, 1988).

Oscurecimiento enzimático y compuestos fenólicos de la pulpa

El efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el oscurecimiento enzimático de los frutos, durante el primer año, señaló diferencias para los frutos evaluados en la segunda fecha

/día 3), donde se observó que los frutos sin tratamiento de calcio [0.0 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] expresaron el máximo valor de oscurecimiento enzimático, con respecto a los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; presentando un comportamiento distinto. El efecto de las condiciones de almacenamiento sobre el oscurecimiento enzimático de los frutos, señaló diferencias para las fechas de evaluación dos y tres (días tres y cinco), donde se observó que los frutos almacenados al ambiente presentaron los valores más bajos de oscurecimiento enzimático, con respecto a los frutos almacenados en la condición de almacenamiento 5 semanas a 5 °C, los cuales tuvieron un comportamiento diferente. Respecto a la interacción concentración x ambiente, el análisis de varianza señaló que no fue significativa en ninguna de las evaluaciones realizadas (Cuadro 24).

Cuadro 24. Oscurecimiento enzimático y compuestos fenólicos en frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$				
(%) (C)				
	0.0	4.0 a ^z	4.1 a	3.3 a
	0.3	3.4 a	3.3 b	3.6 a
	0.5	3.2 a	3.1 b	3.7 a
	DMSH	1.2891	0.6549	0.8967
Almacenamiento (A)				
	Ambiente	3.0 a	3.0 b	2.6 b
	3 semanas 5 °C	4.1 a	3.6 a	3.8 a
	5 semanas 5 °C	3.5 a	3.8 a	4.2 a
	DMSH	1.2891	0.6549	0.8967
	CV	30.13	15.47	20.74
	C x A	0.556 ^{ns}	0.736 ^{ns}	0.623 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Para el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones sobre el potencial de oscurecimiento de los frutos, determinándose diferencias para la cuarta fecha de

evaluación (día 7); en la cual se observó que los frutos sin tratamiento de calcio (0.0 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) presentaron el máximo valor de oscurecimiento, con respecto a los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; teniendo un comportamiento distinto (Cuadro 25).

Cuadro 25. Oscurecimiento enzimático y compuestos fenólicos en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
0.0	4.6 a ^z	3.4 a	3.6 a	5.4 a
0.3	3.0 a	4.2 a	4.0 a	4.8 ab
0.5	3.0 a	4.0 a	4.0 a	3.0 b
DMSH	1.63	2.4835	1.7996	2.0664
CV	27.34	38.06	27.12	27.83

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

El análisis de los dos años, para determinar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el oscurecimiento enzimático de los frutos, señaló diferencias para la segunda fecha de evaluación (día 3), en donde se observó que los frutos sin tratamiento de calcio (0.0 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) presentaron el máximo valor de oscurecimiento, respecto a los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; teniendo un comportamiento diferente. El efecto de los años sobre el oscurecimiento enzimático no se vió reflejado en los frutos de las dos evaluaciones, al no encontrar diferencias entre los efectos de los años.. El análisis de varianza no fue significativo para la interacción concentración x años en ninguna de las fechas de evaluación realizadas (Cuadro 26).

Cuadro 26. Oscurecimiento enzimático y compuestos fenólicos en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)					
	0.0	4.5 a ^z	4.3 a	4.0 a	4.0 a
	0.3	2.6 a	3.8 a	4.1 a	2.5 a
	0.5	2.8 a	2.8 b	4.3 a	4.0 a
	DMSH	1.8511	0.7261	1.8511	1.5824
Años (A)					
	Año 2004	3.0 a	3.6 a	4.2 a	3.0 a
	Año 2005	3.6 a	3.6 a	4.1 a	4.0 a
	DMSH	1.2344	0.4842	1.2344	1.0553
	CV	36.05	12.85	28.84	29.35
	C x A	0.892 ^{ns}	0.023*	0.768 ^{ns}	0.362 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

El potencial de oscurecimiento enzimático depende de la suma total de valores tanto de los compuestos fenólicos como de la actividad de la polifenoloxidasas; de tal forma que el potencial de oscurecimiento se considera bajo si la suma de ambos es menor de dos, moderado si es de dos a cuatro, alto si se ubica de cinco a siete y muy alto si excede de siete (Kader y Chordas, 1984). En los frutos de aguacate evaluados se observó un potencial de oscurecimiento moderado, el cual no fue afectado por las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ de manera consistente; sin embargo, 0.5 % fue la concentración que presentó menor oscurecimiento tanto en el primero como en el segundo año de evaluación, así como en la comparación de los años; estos resultados coinciden con lo señalado por Rensburg y Engelbrecht (1985), quienes encontraron que los tratamientos con calcio aplicados a los frutos de aguacate ‘Fuerte’ en postcosecha, suprimieron la oxidación de fenoles y también redujeron el contenido total fenólico; dado que, el oscurecimiento enzimático es una función tanto de la acción de la polifenoloxidasas como de la concentración de los componentes fenólicos presentes en el fruto (Coseteng y Lee, 1987).

El efecto de las condiciones de almacenamiento sobre el oscurecimiento enzimático, permitieron observar que los frutos de la condición ambiente presentaron los valores más bajos de oscurecimiento, con respecto a los frutos sometidos a refrigeración; estos resultados concuerdan con lo establecido por Truter *et al.* (1991) quienes almacenaron frutos de aguacate ‘Fuerte’ a 5.5 °C y observaron que la actividad enzimática de los frutos en refrigeración se incrementó drásticamente después de colocarlos a madurar a temperatura ambiente, mientras que la actividad de los no refrigerados fue significativamente menor; ya que es sabido que el oscurecimiento enzimático es el resultado de la oxidación de componentes fenólicos por la enzima polifenoloxidasas (Hansch y Boynton, 1986).

Daños por frío

No se encontraron diferencias en el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el daño por frío en los frutos, durante el primer año de evaluación. Sin embargo, el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre el daño por frío, registró diferencias para la segunda y tercera fecha de evaluación (días 3 y 5), en las que se observó que los frutos almacenados en la condición ambiente, tuvieron los valores mínimos de absorbancia, con respecto a los frutos almacenados en la condición de 5 semanas a 5 °C, entre los cuales hubo un comportamiento distinto. Además, el análisis de varianza señaló que la interacción concentraciones x almacenamiento resultó ser no significativa (Cuadro 27).

Durante el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, sobre el daño por frío en los frutos, encontrando diferencias para la primera fecha de evaluación (día uno); en la cual se observó que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron el mínimo valor de absorbancia, con respecto a los frutos sin tratar (0.0 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), presentando un comportamiento distinto. (Cuadro 28).

Cuadro 27. Daño por frío (absorbancia a 340 nm) en frutos de aguacate ‘Hass’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)				
	0.0	0.98 a ^z	0.76 a	0.92 a
	0.3	0.81 a	0.69 a	0.92 a
	0.5	0.95 a	1.08 a	0.65 a
	DMSH	0.519	0.6237	0.4224
Almacenamiento (A)				
	Ambiente	1.0 a	0.43 b	0.37 b
	3 semanas 5 °C	0.76 a	0.87 ab	1.05 a
	5 semanas 5 °C	0.98 a	1.23 a	1.07 a
	DMSH	0.519	0.6237	0.4224
	CV	46.98	61.15	42.15
	C x A	0.035*	0.704 ^{ns}	0.106 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Cuadro 28. Daño por frío (absorbancia a 340 nm) en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 9
0.0	0.96 a ^z	0.53 a	0.49 a	0.02 a	0.75 a
0.3	0.70 ab	0.59 a	0.26 a	0.31 a	0.60 a
0.5	0.15 b	0.30 a	0.62 a	0.05 a	0.71 a
DMSH	0.5877	0.4853	0.706	0.4939	0.6032
CV	57.46	60.00	90.83	221.76	52.01

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Mediante el análisis de los datos de los dos años, para determinar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el daño por frío en los frutos, se encontraron diferencias para la primera y quinta fecha de evaluación (días 1 y 9); en las que se observó que los frutos sin tratamiento de calcio (0.0 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), presentaron los máximos valores de absorbancia con respecto a los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, los cuales tuvieron un comportamiento distinto. Respecto al efecto de los años sobre el daño por frío, se encontraron diferencias para la mayoría de las fechas de evaluación; en las que pudo observarse los valores más bajos de absorbancia para los frutos del segundo año, y tuvieron un comportamiento distinto de los del primero. También se pudo observar que la interacción concentración x años, resultó ser no significativa durante todas las evaluaciones realizadas (Cuadro 29).

Cuadro 29. Daño por frío (absorbancia a 340 nm) en frutos de aguacate ‘Hass’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor nivel	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 9
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)					
0.0	0.98 a ^z	0.78 a	0.74 a	0.49 a	1.20 a
0.3	0.74 ab	0.94 a	0.74 a	0.19 a	0.57 ab
0.5	0.46 b	0.75 a	0.89 a	0.36 a	0.47 b
DMSH	0.3676	0.5393	0.6279	0.6002	0.656
Años (A)					
Año 2004	1.00 a	1.23 a	1.05 a	0.67 a	0.73 a
Año 2005	0.45 b	0.41 b	0.53 b	0.03 b	0.76 a
DMSH	0.2451	0.3596	0.4187	0.4002	0.4374
CV	32.64	42.43	51.52	110.63	56.74
C x A	0.744 ^{ns}	0.218 ^{ns}	0.3226 ^{ns}	0.398 ^{ns}	0.088 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

La principal limitante para el almacenamiento del aguacate a bajas temperaturas es el desarrollo de daños por frío (Wolf *et al.*, 2003), por lo que diversos trabajos de investigación en

el tema han concluido que los bajos niveles de calcio en el fruto, se encuentran asociados con la susceptibilidad del aguacate a los daños por frío (Vorster *et al.*, 1989). A pesar de ello, los resultados indicaron que las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al follaje no tuvieron efecto sobre el daño por frío en los frutos de aguacate ‘Hass’ evaluados durante el primer año, aún y cuando se ha señalado que desórdenes como el daño por frío se reducen considerablemente en frutos con alto contenido de calcio (Shear, 1975).

Sin embargo, en el segundo año, durante el primer día de evaluación, y en la comparación de años, en los días primero y noveno de evaluación, el efecto de las concentraciones señalaron que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron el valor más bajo de absorbancia, aunque, cabe señalar que estos frutos no fueron almacenados en refrigeración; no obstante, la metodología aplicada para la determinación de daño por frío señaló que los frutos sin tratamiento de calcio (testigo) presentaron elevados valores de absorbancia; al respecto Witney *et al.* (1990) señalan que los bajos niveles de calcio en el fruto de aguacate se han asociado con varias características indeseables del fruto, como el daño por frío. Estos resultados concuerdan parcialmente con lo señalado por Saucedo-Hernández *et al.* (2005) quienes encontraron diferencias en los daños por frío en frutos de aguacate ‘Fuerte’ por efecto de la aplicación de concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, siendo 0.5 % la concentración que menor valor de absorbancia tuvo.

Respecto al efecto de las condiciones de almacenamiento se observó que los frutos de la condición ambiente presentaron los mínimos valores de absorbancia y los frutos almacenados a 3 y 5 semanas tuvieron valores superiores, ya que como se ha señalado, el calcio desempeña una función importante en la susceptibilidad a daños por frío en aguacate almacenado a bajas temperaturas (Chaplin y Scot, 1980). Estos resultados concuerdan con lo establecido por Cajuste *et al.* (1994) quienes encontraron que el almacenamiento del fruto de aguacate ‘Hass’ por un

periodo de cuatro y seis semanas condujo a un marcado incremento en los daños por frío a la temperatura de 5 °C.

Además, los frutos del segundo año tuvieron los valores de absorbancia más bajos y aunque no fueron almacenados a bajas temperaturas, la respuesta de esta variable pudo haberse debido al incremento del contenido de calcio en los frutos del segundo año, lo que puede concordar con lo señalado por Eaks (1985) quien establece que los bajos niveles de calcio en aguacate se han asociado con la susceptibilidad a los daños por frío.

El hecho de que las interacciones concentración x almacenamiento y concentración x años fueran no significativas, indicaron un efecto separado de las concentraciones, de las condiciones de almacenamiento y de los años, sobre el efecto de los daños por frío en los frutos de aguacate.

Producción de etileno

Durante el primer año se observó que los frutos con o sin tratamiento de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron un incremento en la producción de etileno, alcanzando su máximo el quinto día de evaluación con $239.24 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para los frutos sin tratar (testigo), el séptimo día con $256.4 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para los de la concentración 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, y el sexto día con $176.27 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para los frutos que recibieron 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (Figura 1).

Para el segundo año, también se presentó la misma tendencia hacia el incremento en la tasa de producción de etileno en todos los frutos evaluados, presentándose un máximo de $162.27 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ en el sexto día para los frutos sin tratar (testigo), $150.64 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ el séptimo día para los frutos de la concentración de 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y finalmente de $119.39 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para los frutos que recibieron 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en el séptimo día (Figura 2).

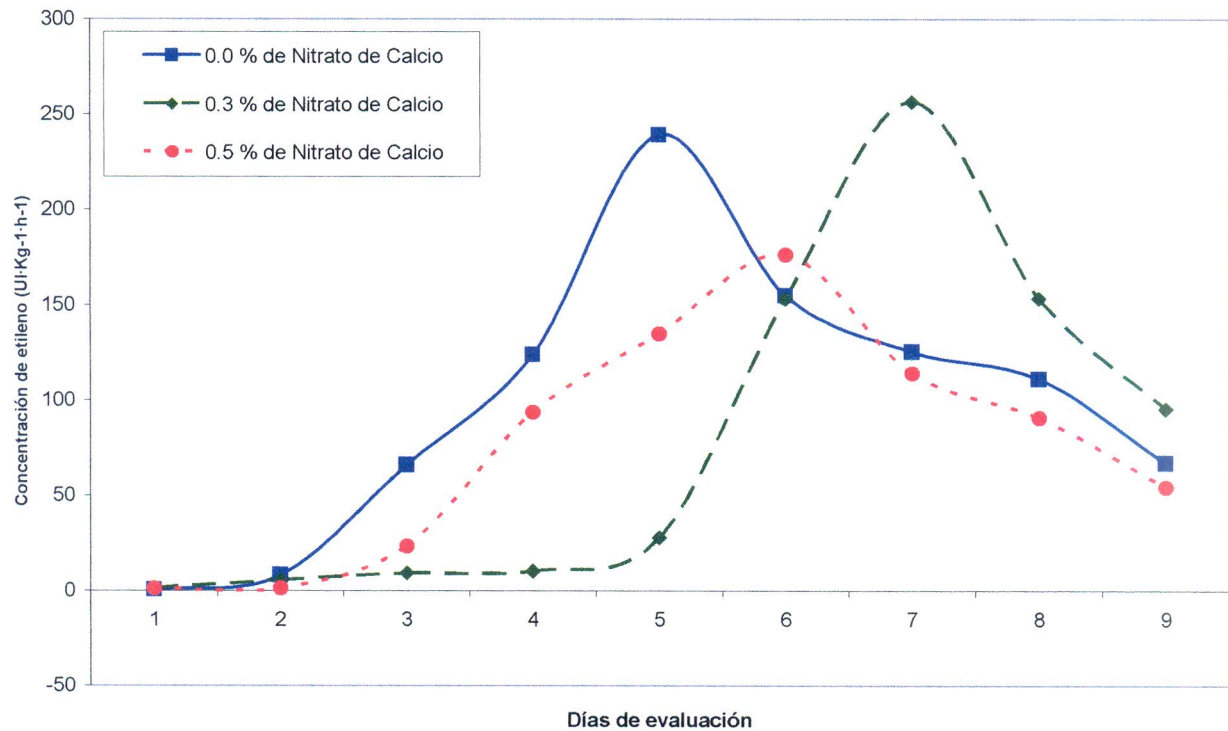


Figura 1. Producción de etileno en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados al ambiente (22 °C), por efecto de la aspersión de nitrato de calcio al follaje durante el primer año de evaluación.

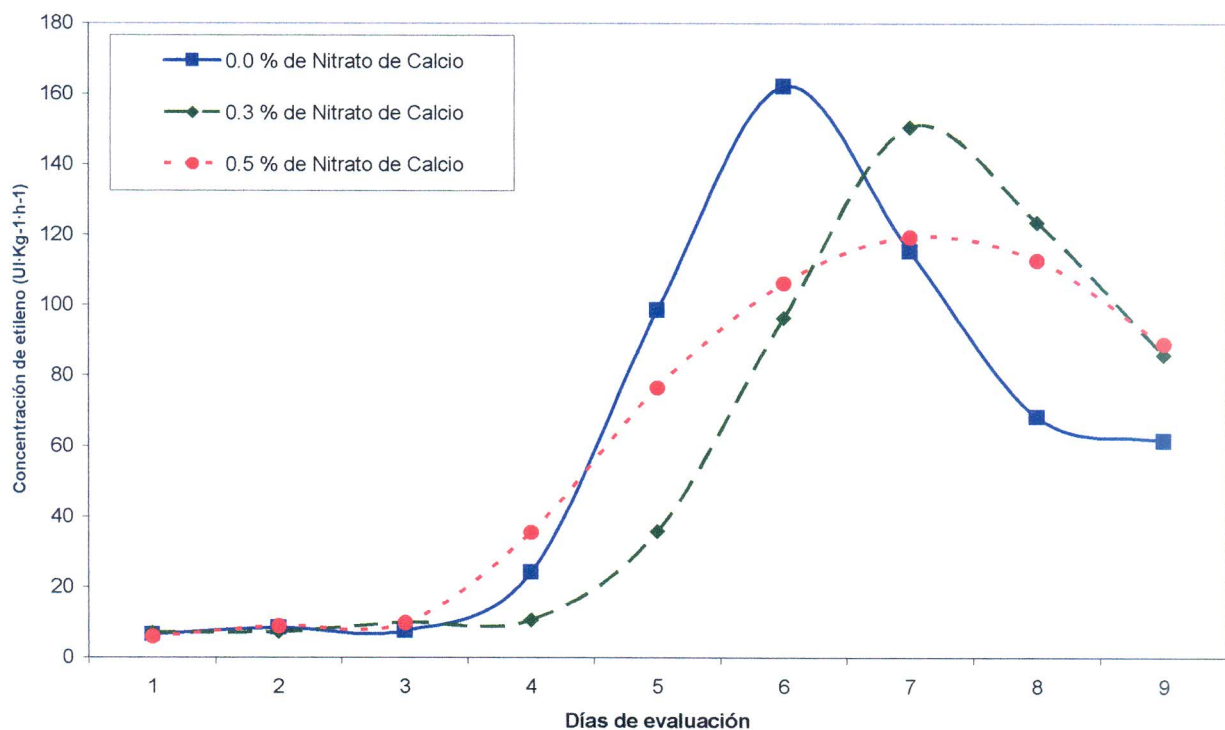


Figura 2. Producción de etileno en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados al ambiente (22 °C), por efecto de la aspersión de nitrato de calcio al follaje durante el segundo año de evaluación.

La fisiología de las plantas es influenciada profundamente por el nivel de calcio durante su crecimiento y desarrollo; además, se sabe que el incremento en el contenido de calcio del fruto reduce la velocidad de producción de etileno (Eaks, 1985); esto quedó de manifiesto en los resultados obtenidos debido a que las concentraciones que tenían calcio retardaron de uno a tres días la máxima producción de etileno en los frutos, tanto en el primero como en el segundo año; debido a que como lo menciona Marcelle (1995), el calcio retrasa la producción de etileno retardando ligeramente la elevación del climaterio y disminuyendo el máximo climaterio.

Aún y cuando el climaterio se retrasó por las concentraciones que tenían calcio (0.3 y 0.5 %), durante el primer año se alcanzó al séptimo y sexto día en los frutos tratados con 0.3 y 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, mientras que la maduración a 22 °C se logró a los 7.5 días, es decir 0.5 y 1.5 días después del máximo climaterio; en tanto que en el segundo año, los frutos tratados con las mismas concentraciones tuvieron su máximo climaterio durante el séptimo día, y la maduración correspondiente se alcanzó a los 7.5 y 8 días; es decir 0.5 y 1.0 días después de alcanzar su máximo climaterio. Los frutos con la concentración de 0.0 % (testigo) por su parte, logró su máximo climaterio el día cinco y su maduración el día siete, teniendo una diferencia de dos días entre el máximo climaterio y la maduración, durante el primer año; en tanto que en el segundo, el máximo climaterio fue logrado el día seis y su maduración respectiva el día 7.5, es decir 1.5 días después de haber logrado su máximo climaterio, ya que como lo menciona Kadir (2004), el calcio regula la maduración del fruto y prolonga la vida postcosecha, además de que la maduración lenta del fruto se manifiesta en baja velocidad de respiración y reducida producción de etileno. Además, el etileno es una hormona reguladora de la maduración del fruto, que también es responsable de una gran variedad de procesos, entre los cuales se incluye el aumento de la respiración, la producción de etileno autocatalítico, cambios en color, textura, aroma y sabor (Oetiker y Yang, 1995). Por otra parte, el aguacate es un fruto climatérico caracterizado

por una producción súbita de etileno, el cual se asocia con la maduración acelerada del fruto (Jeong *et al.*, 2003).

Producción de CO₂

No se encontraron diferencias en el efecto de las concentraciones de Ca(NO₃)₂ sobre la respiración del fruto, durante el primer año de evaluación. Sin embargo, se observó que la máxima producción de CO₂ se presentó durante el sexto día en los frutos de las tres concentraciones, donde los frutos tratados con 0.3 % de Ca(NO₃)₂ tuvieron el máximo valor (78.0 mg·kg⁻¹·h⁻¹), seguido de los frutos sin tratar (70.2 mg·kg⁻¹·h⁻¹) y finalmente de los frutos tratados con 0.5 % de Ca(NO₃)₂ (67.8 mg·kg⁻¹·h⁻¹) (Figura 3).

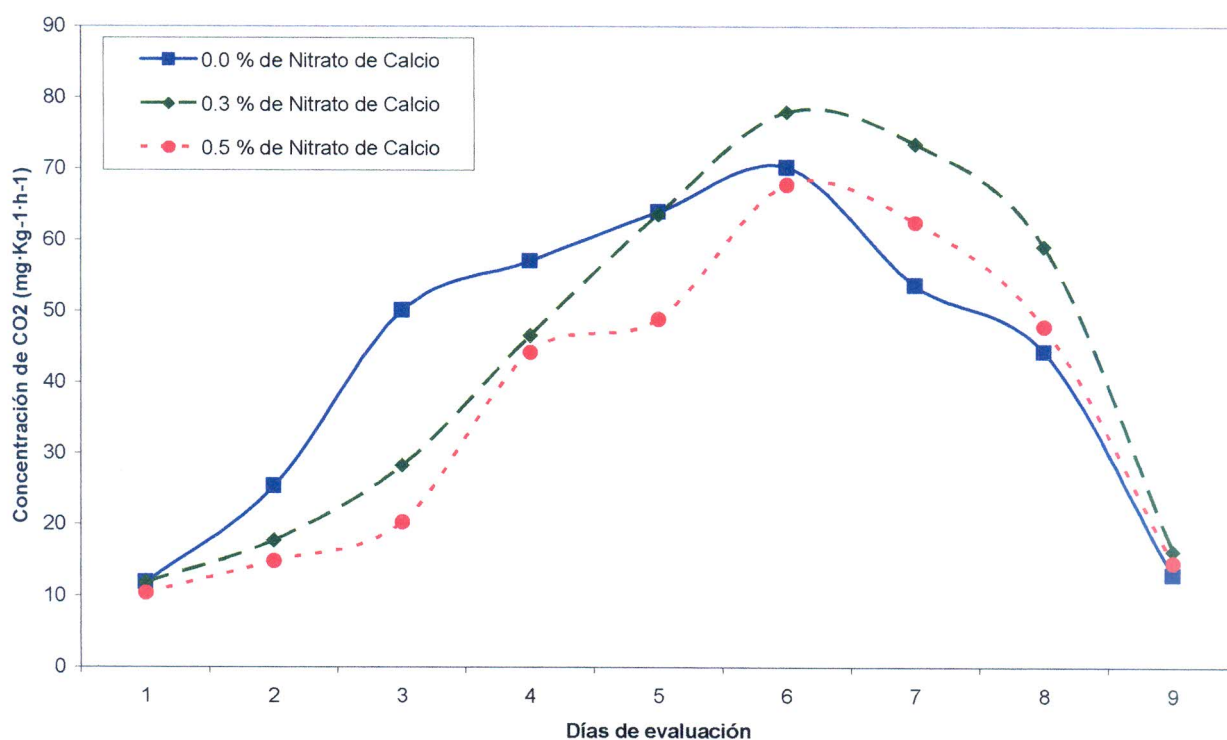


Figura 3. Producción de CO₂ en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados al ambiente (22 °C), por efecto de la aspersión de nitrato de calcio al follaje durante el primer año de evaluación

Para el segundo año no se encontraron diferencias en el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la producción de CO_2 . Sin embargo, la mayor producción de CO_2 por los frutos, tuvo lugar durante el sexto día de evaluación, observándose que en el tratamiento testigo se presentó el mayor valor con $106.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, seguido de los frutos tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ con $105.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ y finalmente de los que recibieron 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, con $104.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Figura 4).

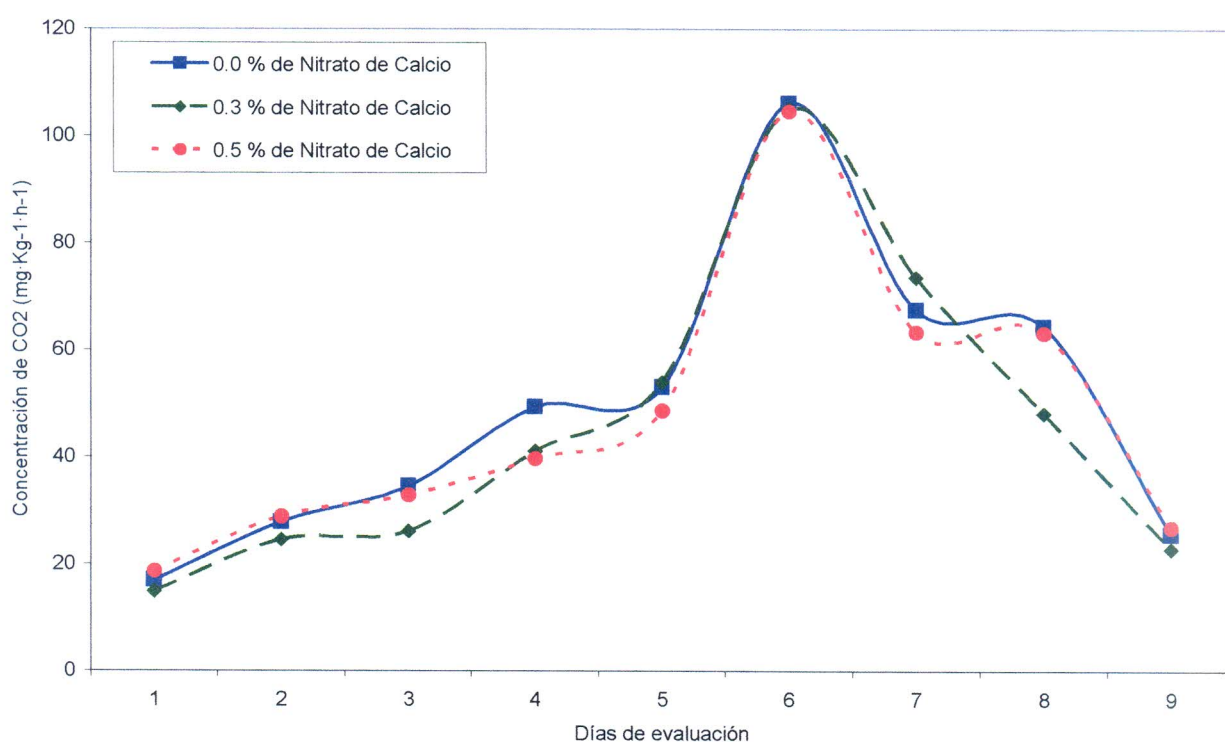


Figura 4. Producción de CO_2 en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados al ambiente (22°C), por efecto de la aspersión de nitrato de calcio al follaje durante el segundo año de evaluación.

Después de la cosecha, los frutos respiran componentes (carbohidratos y lípidos) derivados de la asimilación de nutrimentos durante el crecimiento del fruto sobre la planta, esta respiración, proporciona la energía necesaria para mantener los procesos fisiológicos del fruto, de tal manera que un incremento de la actividad respiratoria puede reducir la calidad del fruto (Blanke, 1995); por otra parte, el calcio regula la maduración del fruto manifestada como una

baja velocidad de respiración (Kadir, 2004). No obstante, los resultados manifiestan que las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no tuvieron efecto sobre la respiración del fruto durante los dos años de evaluación, dado que el climaterio se presentó durante el sexto día para las tres concentraciones evaluadas, aún y cuando en el segundo año, los frutos del tratamiento testigo tuvieron la mayor cantidad de CO_2 producido (), el cual fue igual a los valores obtenidos con las dos concentraciones de calcio 0.3 y 0.5 %. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Lallum *et al.* (2004) quienes establecieron que el incremento de la respiración se encuentra asociado con el pico de producción de etileno y que el incremento de los picos tanto del etileno como de la respiración juntos son referidos al llamado climaterio de los frutos. En estos resultados se observó el incremento de la respiración de los frutos, durante el sexto día en los dos años y en las tres concentraciones empleadas; esto representa 1, 1.5 y 1.5 días a la maduración en los frutos del primer año para las concentraciones 0.0 (testigo), 0.3 y 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, mientras que para el segundo representan 1.5, 1.5 y 2 días, respectivamente, para las mismas concentraciones. Estos resultados no concuerdan con lo señalado por Eaks (1985) quien mencionó que los incrementos de calcio en el fruto reducen la velocidad de respiración y la producción de etileno, debido a que las concentraciones promovieron el incremento respiratorio en el mismo día durante los dos años de evaluación. Por otra parte, Awad y Young (1979) mencionaron que existe una relación estrecha entre el aumento de la respiración, la producción de etileno, y el incremento de las enzimas depolimerizadoras de la pared celular y su efecto final en la maduración del fruto; de igual manera Hertog *et al.* (2002) encontraron una estrecha relación cuantitativa entre la respiración del fruto de aguacate ‘Hass’ y la pérdida de peso, cambio de color, y el ablandamiento del fruto, entre otros.

Desórdenes fisiológicos

Durante el primer año, el análisis de los efectos de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la presencia de desórdenes fisiológicos en los frutos, no señaló diferencias para los frutos almacenados al ambiente, ni para los de 3 semanas a 5 ° C; sólo para aquellos que estuvieron en refrigeración 5 semanas a 5 °C en la variable pudriciones de cuello (“stem rots”), en donde se observó mayor incidencia en los frutos del testigo, con respecto a los frutos tratados con la concentración 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, los cuales tuvieron un comportamiento diferente. (Cuadro 30). Para el segundo año los frutos sólo se almacenaron al ambiente y la prueba de medias no señaló diferencias entre el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, sobre los desórdenes fisiológicos presentes durante esta ultima evaluación.

Cuadro 30. Desórdenes fisiológicos en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados a 5 °C por 5 semanas, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Pudriciones de cuello (“Stem rots”)	Pardeamiento vascular (“Vascular browning”)	Pudriciones de pulpa (“Body rots”)
0.0	0.5a ^z	0.57a	1.07a
0.3	0.0 b	0.64a	0.07a
0.5	0.14ab	0.14a	0.57a
DMSH	0.4937	0.5011	1.2092
CV	168.87	81.19	155.12

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Sólo los frutos almacenados en refrigeración por mayor tiempo (5 semanas a 5 °C) fueron los que manifestaron la presencia de desórdenes fisiológicos por el efecto de las bajas temperaturas sobre el fruto de aguacate, debido a que cada sistema biológico tiene su intervalo óptimo de temperaturas, las cuales si son significativamente incrementadas o reducidas pueden aparecer desórdenes fisiológicos, los cuales ocasionan daños a las células (Lee y Young, 1984);

además, las bajas temperaturas son la causa de la perturbación de la membrana celular e inducción de cambios en el nivel de calcio del citosol que precede a la respuesta fisiológica, donde la membrana celular es la principal parte dañada durante el estrés por baja temperatura (Gao *et al.*, 2004). Por otra parte, la proliferación de desórdenes como la mancha amarga en manzana se inicia con la reducción de la concentración de calcio extracelular a niveles críticos, seguido por la disfunción y rompimiento de la célula (Ferguson *et al.*, 1995).

De acuerdo con Buccheri y Di Vaio (2004) la deficiencia de calcio en el fruto de manzana se ha visto directamente ligada con la incidencia de diferentes desórdenes durante el almacenamiento; también se ha señalado que los frutos con bajo contenido de calcio son sensibles a muchos desórdenes fisiológicos y patológicos y tienen una limitada vida de anaquel (Wójcik y Lewandowski, 2003). Puede observarse que en los frutos almacenados por 5 semanas, las concentraciones con calcio (0.3 y 0.5 %) presentaron menor incidencia de desórdenes, esto puede ser debido a que el calcio también mitiga el daño ocasionado por el estrés por enfriamiento, desempeñando un papel importante en la tolerancia de plantas de clima cálido al frío (Taylor y Locascio, 2004).

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Cajuste *et al.* (1994) quienes encontraron que los frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados por 4 y 6 semanas a 5 °C presentaron la mayor cantidad de daños por frío. De igual manera concuerdan con lo mencionado por Lee y Young (1984), los que señalaron que los frutos de aguacate almacenados por más de 20 días a 6 °C desarrollaron desórdenes fisiológicos como la decoloración gris de los tejidos del mesocarpio.

Prueba organoléptica

Durante el primer año se presentaron diferencias para los frutos tratados con las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ para los frutos almacenados al ambiente y en los refrigerados 5 semanas a 5 °C, no así en los almacenados en refrigeración por 3 semanas a 5 °C. En los frutos

almacenados al ambiente se presentaron diferencias en las variables viscosidad, maduración, sabor y aceptabilidad general y en los de 5 semanas a 5 °C sólo en la variable color; observándose en todas estas variables evaluadas que sólo con el testigo fueron diferentes a lo obtenido con la concentración 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (Cuadro 31). En el segundo año los frutos sólo fueron almacenados al ambiente (22 °C), encontrándose diferencias en la variable aroma, donde sólo los frutos del testigo fueron diferentes a los tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (Cuadro 31).

Cuadro 31. Prueba organoléptica en frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados al ambiente (22 °C), y en refrigeración por cinco semanas a 5 °C, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante dos años de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Primer año				
	Viscosidad	Maduración	Sabor	Aceptabilidad	Color
	Ambiente				5 semanas a 5 °C
0.0	0.0 % = 0.3 %	0.0 % = 0.3 %	0.0 % = 0.3 %	0.0 % = 0.3 %	0.0 % = 0.3 %
0.3	0.0 % ≠ 0.5 %	0.0 % ≠ 0.5 %	0.0 % ≠ 0.5 %	0.0 % ≠ 0.5 %	0.0 % ≠ 0.5 %
0.5	0.3 % = 0.5 %	0.3 % = 0.5 %	0.3 % = 0.5 %	0.3 % = 0.5 %	0.3 % = 0.5 %
	*	*	*	*	*
	Segundo año				
	Aroma				
	Ambiente				
0.0	0.0 % ≠ 0.3 %				
0.3	0.0 % = 0.5 %				
0.5	0.3 % = 0.5 %				
	*				

* significativo al 5 % de probabilidad

La calidad de los frutos maduros asperjados con calcio en precosecha, se determinó mediante una prueba organoléptica, participando 35 catadores, la cual se realizó con el apoyo de una escala preestablecida compuesta de cinco valores (1 = malo, 2 = regular, 3 = bueno, 4 = muy bueno, y 5 = excelente); con la finalidad de observar posibles diferencias en las preferencias de los catadores sobre una determinada concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, debido a que se sabe que la

maduración de los frutos involucra una serie de complejos eventos bioquímicos durante los cuales los tejidos experimentan cambios programados en textura, aroma, coloración, sabor y firmeza (Chernys y Zeevaart, 2000).

Los resultados indicaron diferencias en las variables viscosidad (contenido de aceite al paladar), maduración (suavidad del tejido), sabor (característico del cultivar Hass), aceptabilidad general (combinación de todas las variables en una sola) y color (tonalidad característica de la pulpa de un fruto maduro del cultivar Hass) durante el primer año en los frutos almacenados al ambiente (22 °C) y en los almacenados en refrigeración por 5 semanas a 5 °C; variables en las que los catadores calificaron con los valores más altos a los frutos del tratamiento testigo, con respecto a los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, presentando un comportamiento distinto; esto es, que los valores obtenidos por los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ fueron los más bajos, situación que nos permite determinar que los catadores encontraron diferencias entre consumir frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y los que no recibieron calcio durante las aspersiones en precosecha, encontrando una preferencia marcada hacia los frutos sin tratar (Cuadro 31). A pesar de que se observó una diferencia acentuada entre los frutos de la concentración 0.0 % (testigo) y los tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, los frutos tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron un comportamiento igual a los del testigo, concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ que eventualmente podría ser aplicada sin que el consumidor pudiera notar la diferencia, entre consumir un fruto tratado con calcio (0.3 %) y aquel que no lo está (testigo), con la ventaja adicional de que el calcio regula la maduración del fruto, controla la acción de las enzimas, afecta la tasa respiratoria y la producción de etileno (Dris y Niskanen, 1997), en otras palabras el calcio altera todos los procesos celulares asociados con senescencia (Tomala, 1997).

Durante el segundo año, se encontraron diferencias sólo para la variable aroma (olor característico de la pulpa del aguacate ‘Hass’ maduro) en los frutos almacenados al ambiente (22 °C), donde los valores asignados a los frutos por los catadores fueron mayores para los del

tatamiento testigo, seguido por los frutos con 0.5 % y finalmente los tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; encontrando diferencias sólo entre los valores de los frutos del testigo y los de 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, estableciendo diferencias en aroma en los frutos de las tres concentraciones empleadas en precosecha, marcando una clara preferencia de los catadores hacia los frutos sin tratamiento con calcio. (Cuadro 31).

Estos resultados concuerdan en parte con lo señalado por Cajuste *et al.* (1994) quienes evaluaron algunos parámetros organolépticos en aguacate ‘Hass’ almacenado al ambiente y en refrigeración a 5 °C, encontrando que los óptimos resultados de las pruebas organolépticas correspondieron a los frutos testigo (almacenados al ambiente).

CONCLUSIONES

Los frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y almacenados tanto al ambiente como en refrigeración:

1. Disminuyeron el porcentaje de pérdida de peso.
2. Incrementaron los días a maduración, con lo que se incrementa la vida de anaquel.
3. Mantuvieron por mayor tiempo el color verde de la cáscara.
4. Presentaron la menor salida de electrolitos.
5. Ocasionaron el menor grado de oscurecimiento enzimático.
6. Retrazaron la producción de etileno en su pico climatérico.
7. Tuvieron menor incidencia de desórdenes fisiológicos, como pudriciones de cuello (“Stem Rots”) en frutos almacenados a 5 °C por 5 semanas.
8. Presentaron una calidad organoléptica muy parecida a la del testigo.
9. La condición de almacenamiento ambiente, fue la que favoreció el mayor efecto sobre las variables postcosecha evaluadas, seguido por 3 y finalmente 5 semanas a 5 °C,

LITERATURA CITADA

- Adato, I.; Gazit, S. 1974. Water-deficit stress, ethylene production, and ripening in avocado fruits. *Plant Physiology* 53: 45-46
- Alcaraz-Lopez, C.; Botía, M.; Alcaraz F., C.; Riquelme, F. 2004. Effects of calcium containing foliar sprays combined with titanium and algae extract on plum fruit quality *Journal of Plant Nutrition* 27(4): 713-729
- Anderson, L. J.; Campbell, F. W. 1995. Calcium transport and ATP-ase activity in microsomal vesicle fraction from 'Montgorency' sour cherry fruit. *Acta Horticulturae* 398:47-57
- Ávila-Quezada, G. D.; Téliz-Ortíz, D.; Vaquera-Huerta, H.; González-Hernández, H.; Johansen-Naime, R. 2005. Progreso temporal del daño por trips (Insecta: Thysanoptera) en aguacate (*Persea americana* Mill.). *Agrociencia* 39(4):441-447
- Awad, M.; Young, E. R. 1979. Postharvest variation in cellulase, polygalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology* 64: 306-308
- Blanke, M. M. 1995. Regulation of respiration in apple, avocado and citrus orange fruit. *Acta Horticulturae* 398: 139-146
- Bower, J. P.; Cutting, J. G. M. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. *Horticultural Reviews* 10: 229-271
- Bower, J. P.; Van Rooyen, Z.; Allwood, G. A. 2000. Progress in identifying the primary causes of mesocarp discoloration in cv Pinkerton. South African Avocado Growers' Association Yearbook 23: 15-20
- Buccheri, M.; Di Vaio, C. 2004. Relationship among seed number, quality, and calcium content in apple fruits. *Journal of Plant Nutrition* 27(10): 1735-1746

- Cajuste B., J. F.; Saucedo V., C.; Chávez F., S. 1994. Efecto de la época de corte en la calidad y resistencia a daño por frío de aguacate cv. Hass. *Revista Fitotecnia Mexicana* 17: 164-174
- Chaplin, R. G.; Scot, J. K. 1980. Association of calcium in chilling injury susceptibility of stored avocados. *HortScience* 15(4): 514-515
- Chaplin, R. G.; Wills, H. R. B.; Graham, D. 1982. Objective measurement of chilling injury in the mesocarp of stored avocados. *HortScience* 17(2): 238-239
- Chernys, T. J.; Zeevaart, D. J. A. 2000. Characterization of the 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase gene family and the regulation of abscisic acid biosynthesis in avocado. *Plant Physiology* 124: 343-353
- Coseteng, Y. M.; Lee, Y. C. 1987. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *Journal of Food Science* 52(4): 985-989
- Cox, A. K.; McGhie, K. T.; White, A.; Wolf, B. A. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 31: 287-294
- Dallman, F. T.; Eaks, L. I.; Thomson, W. W.; Nothnagel, A. E. 1988. Postharvest density changes in membranes from ripening avocado fruits. *Journal of American Society for Horticultural Science* 113(5): 729-733
- Dilmaghani, M. R.; Malakouti, M. J.; Neilsen, G. H.; Fallahi, E. 2004. Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Irán. *Journal of Plant Nutrition* 27(7): 1149-1162
- Dixon, J.; Pak, A. H.; Smith, B. D.; Elmsly, A. T.; Cutting, M. J. G. 2003. New Zealand avocado fruit quality: the impact of storage temperature and maturity. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report* 3: 48-53
- Dris, R.; Niskanen, R. 1997. Effect of calcium on the storage quality of apples grown in

- Finland. *Acta Horticulturae* 448: 323-327
- Eaks, L. I. 1980. Respiratory rate, ethylene production, and ripening response of avocado fruit to ethylene or propylene following harvest at different maturities. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105(5): 744-747
- Eaks, L. I. 1985. Effect of calcium on ripening, respiratory rate, ethylene production, and quality of avocado fruit. *Journal of American Society for Horticultural Science* 110(2): 145-148
- Fallahi, E.; Conway, S. W.; Hickey, D. K.; Sams, E. C. 1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of Apples. *HortScience* 32 (5): 831-835
- Ferguson, B. I. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant, Cell and Environment* 7:477-489
- Ferguson, B. I.; Drøbak, K. B. 1988. Calcium and the regulation of plant growth and senescence. *HortScience* 23(2): 262-266
- Ferguson, B. I.; Volz, K. R.; Harker, R. F.; Watkins, B. C.; Brookfield, L. P. 1995. Regulation of postharvest fruit physiology by calcium. *Acta Horticulturae* 398: 23-30
- Gao, H.; Chen, G.; Han, L.; Lin, H. 2004. Calcium influence on chilling resistance of grafting eggplant seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 27(8): 1327-1339
- Hertog, M. L. A. T. M.; Nicholson, E. S.; Whitmore, K. 2002. The effect of modified atmospheres on the rate of quality change in 'Hass' avocado. *Postharvest Biology and Technology* 29: 41-43
- Hansche, E. P.; Boynton, B. 1986. Heritability of enzymatic browning in peaches. *HortScience* 21(5): 1195-1197
- Hofman, P. J.; Fuchs, Y.; Milne, D. L. 2002. Harvesting, Packing, Postharvest Technology, Transport and Processing. pp. 363-401. *In: The Avocado: Botany, Production and Uses.* Whiley A. W.; Schaffer B. and Wolstenholme B. N. (Eds). CABI Publishing. New York,

USA.

Jeong, J.; Huber, J. D.; Sargent, A. S. 2003. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropene and wax treatments. *Postharvest Biology and Technology* 28: 247-257

Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology* 40(5): 99-104

Kader, A. A. 1999. Fruit maturity, ripening and quality relationships. *Acta Horticulturae* 485: 203-208

Kader, A. A.; Chordas, A. 1984. Evaluating the browning potential of peaches. *California Agriculture* 38:14-15

Kadir, A. S. 2004. Fruit quality at harvest of 'Jonatan' apple treated with foliarly-applied calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition* 27(11): 1991-2006

Kay, C.; Higgs, D. 2002. Calcium nitrate as a remedy for salt-stressed cucumber plants *Journal of Plant Nutrition* 25(4): 861-871

Kirkby, A. E.; Pilbeam, J. D. 1984. Calcium as a plant nutrient. *Plant, Cell and Environment* 7: 397-405

Knight, R. J. 2002. History, Distribution and Uses, pp. 1-14 *In: The Avocado: Botany, Production and Uses*. Wiley, A. W.; Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N. (eds). CABI Publishing. New York, USA.

Lallum, N.; Punter, M.; Haynes, G.; Pidakala, P.; Burdon, J. 2004. Role of water loss in ripening of 'Hass' avocados. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report* 4: 70-79.

Lamikanra, O. 1995. Enzymatic Browning of Muscadine Grapes Products, pp. 166-177. *In: Enzymatic Browning and its Prevention*. Lee, C. L.; Whitaker, J. R. (eds.) ACS. Washington, D. C., USA.

- Lee, K. S.; Young, E. R. 1984. Temperature sensitivity of avocado fruit in relation to C₂H₄ treatment. *Journal of American Society for Horticultural Science* 109(5): 689-692
- López L., L.; Cajuste B., J. F. 1996. Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate 'Fuerte'. *Memorias de la Fundación Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C. Coatepec, Harinas, México.* pp. 23-29
- Marcelle, D. R. 1995. Mineral nutrition and fruit quality. *Acta Horticulturae* 383: 219-226
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press. San Diego, Calif. USA. 889 p.
- McGuire, G. R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255
- Meilgaard, M. G.; Civille, V.; Car, B. 1999. *Sensory evaluation techniques*. Third edition. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. pp.195-208
- Oetiker, H. J.; Yang, F. S. 1995. The role of ethylene in fruit ripening. *Acta Horticulturae* 398: 167-178
- Penter, M. G.; Stassen, P. J. C. 2000. The effect of pre-and postharvest calcium applications on the postharvest quality of Pinkerton avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 23: 1-7
- Pintro, J. C.; Taylor, G. J. 2005. Calcium requirement in the background nutrient solution on growth of wheat plants using the relative addition rate technique. *Journal of Plant Nutrition* 28: 551-565
- Rensburg, E.; Engelbrecht, A. 1985. The effect of calcium salts on the components causing browning of avocado fruit. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 8: 14-15
- Salazar-García, S.; Velasco-Cárdenas, J. J.; Medina-Torres, R.; Gómez-Aguilar, J. R. 2004. *Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. I. Prendimiento y*

- crecimiento de injertos. Revista Fitotecnia Mexicana 27(1): 23-30
- Saucedo-Hernández, L.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M.T.; Barrientos-Priego, A. F.; Aguilar-Melchor, J. J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate 'Fuerte'. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(1): 149-157.
- Shear, C. B. 1975. Calcium related disorders of fruits and vegetables. HortScience 10(4): 361-365
- Shen, H.; Yan, X. 2002. Membrana permeability in roots of crotalaria seedlings as affected by low temperatura and low phosphorus stress. Journal of Plant Nutrition 25(5): 1033-1047
- Solis-Fraire, J. J.; Barrientos-Priego, A. F.; Pérez-Mercado, C. A.; Rubí-Arriaga, M.; Martínez-Damián, M. T.; Reyes-Alemán, J. C. 1998. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Revista Chapingo Serie Horticultura 4(2): 113-117
- Swarts, D. H. 1984. Post harvest problems of avocados, let's talk the same lenguaje. South African Avocado Growers' Association Yearbook 7: 15-19
- Tagliavini, M.; Zavalloni, C.; Rombola, A. D.; Quartieri, M.; Malaguti, D.; Mazzanti, F.; Millard, P.; Marangoni, B. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. Acta Horticulturae 512: 131-140
- Taylor, D. M.; Locascio, J. S. 2004. Blossom-end rot: a calcium deficiency. Journal of Plant Nutrition 27(1): 123-139
- Tomala, K. 1997. Effects of calcium sprays on storage quality of 'Sampion' apples. Acta Horticulturae 448: 59-65
- Truter, B. A.; Cutting, M. J. G.; Bower, P. J.; Van Eeden, J. S. 1991. Effect of modified atmospheres on internal physiological browning of Fuerte avocados. South African

- Avocado Growers' Association Yearbook 14: 50-52
- Van Cutsem, P.; Messiaen, J. 1993. Roles of pectins in cell walls. *Acta Horticulturae* 326: 93-104
- White, A.; Woolf, A.; Hofman, P. 2001. *Avocare Assessment Manual*. HortResearch. Horticulture Australia. 65 p
- Witney, G. W.; Hofman, P. J.; Wolstenholme, B. N. 1990. Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocados fruits. *Scientia Horticulturae* 44: 269-278
- Wójcik, P.; Lewandowski, M. 2003. Effect of calcium and boron sprays on yield and quality of 'Elsanta' strawberry. *Journal of Plant Nutrition* 26(3): 671-682
- Woolf, B. A.; Cox, A. C.; White, A.; Ferguson, B. I. 2003. Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology* 28: 113-122
- Zamora M., M. T. 1997. Estudio del "rozamiento" y comportamiento en postcosecha en fruto de aguacate (*Persea americana* mill.) 'Hass'. Programa de fruticultura. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. 112 p.
- Zauberman, G.; Schiffmann-Nadel, M.; Yanko, U. 1977. The response of avocado fruits to different storage temperature. *HortScience* 12(4): 353-354

IV. ASPERSIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA FISIOLOGÍA POSTCOSECHA DEL FRUTO DE AGUACATE CV. FUERTE

98

almacenados tanto en ambiente como en refrigeración, favorecieron la disminución del porcentaje de pérdida de peso del fruto, incrementaron los días a maduración, mantuvieron por mayor tiempo el color verde de la cáscara, presentaron la menor salida de electrolitos, ocasionaron el menor grado de oscurecimiento enzimático, retrazaron la producción de etileno en su pico climatérico, observaron menor incidencia de desórdenes fisiológicos en frutos almacenados a 5 °C por 5 semanas y tuvieron una calidad organoléptica muy parecida a la del testigo.

99

Palabras clave adicionales: *Persea americana* Mill., postcosecha, refrigeración, calidad, daño por frío, producción de etileno y respiración.

FOLIAR SPRAYS OF CALCIUM NITRATE IN POSTHARVEST PHYSIOLOGY OF CV. FUERTE AVOCADO FRUIT

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate foliar aspersions of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ during preharvest in 9 year old avocado trees cv. Fuerte, when the fruits were 3.5 months old (4 cm diameter). Three concentrations 0, 0.3 and 0.5 % were applied every 15 days starting the third week in September 2003 until the first week in January 2004 (a total of 11 aspersions). Fruit harvest was in March the first year and January 2005 the second year. Fruits were stored at ambient temprature (22 °C) and at 5 °C for 3 and 5 weeks, evaluations were done at 0, 3 and 5 weeks.

The obtained results indicated that the preharvest sprays of calcium nitrate at 0.3 and 0.5% in stored fruits under ambient and low tempreature induced decrease in fruit weight loss, increasing days to ripening, maintaining green color for a longer time, electrolyte leekage was reduced, generating lower enzymatic browning, and retarding ethylene production at the climateric peek. Fruits also showed a lower incidence of Physiological disorders in stored fruit at 5 °C for 5 weeks and had a organoleptic quality very similar to the control.

Additional key words: *Persea americana* Mill., postharvest, refrigeration, quality, chilling injury, ethylene production and respiration.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de aguacate se estima en 1.8 millones de toneladas anuales, de las cuales, México aporta el 40 % del volumen total, es decir, 720,000 toneladas producidas en 90,000 hectáreas en plena producción, de 120,000 hectáreas establecidas; estadísticas que continúan acaparando la atención de la actividad productora del aguacate en las distintas áreas de trabajo, principalmente con relación a la comercialización del fruto, el cual es solicitado ampliamente tanto en el mercado nacional como en el exterior (Santacruz, 2004).

En México la explotación comercial del aguacate se realiza en 16 estados, pero solo cinco son los que producen los volúmenes más significativos: Michoacán, Nayarit, Estado de México, Sinaloa, Puebla y Morelos (Solís-Frairé *et al.*, 1998; Salazar-García *et al.*, 2004), donde los principales cultivares son ‘Hass’, ‘Fuerte’ y ‘Colín-V33’ entre otros (Solís-Frairé *et al.*, 1998).

La exportación de aguacate se ve limitada por problemas en postcosecha, debido a que se trata de un fruto climatérico y esto hace que la vida de anaquel sea muy corta, lo que ha obligado a buscar métodos que permiten incrementar el periodo de almacenamiento, tal es el caso de la refrigeración, con el inconveniente de la inducción de daños por frío, un desorden fisiológico que puede hacerse presente en muchos frutos tropicales y subtropicales, lo que origina que no pueda ser almacenado a temperaturas por debajo de (7 °C) por periodos largos (Hofman *et al.*, 2002).

El desarrollo de desórdenes durante la maduración y especialmente durante el almacenamiento a bajas temperaturas, pueden ser modificados por las condiciones ambientales precosecha (Ferguson *et al.*, 1999), principalmente la nutrición mineral, un aspecto que incide sobre la calidad del fruto y la aparición de desórdenes fisiológicos, los cuales dependen tanto del contenido como del balance nutrimental que se tenga en el fruto;

El calcio es importante en el fruto porque incrementa la estabilidad de la membrana y aumenta la resistencia de la pared celular (Penter y Stassen, 2000); por consiguiente, este

elemento mineral afecta la firmeza y la senescencia del fruto por medio de la alteración de los procesos extra e intracelulares (Buccheri y Di Vaio, 2004), al grado tal, que cuando la disponibilidad de este nutrimento es inadecuada, la pared celular pierde su integridad, ocasionando desórdenes fisiológicos (Dilmaghani *et al.*, 2004), como en el caso del aguacate (Swarts, 1984). En general, los contenidos de calcio en el fruto son relativamente bajos (Tagliavini *et al.*, 2000), debido a la desequilibrada distribución del nutrimento en la planta una vez asimilado y por la lenta movilización en la hoja hacia el fruto (Penter y Stassen, 2000), es por ello que se considera que el calcio aplicado al follaje en precosecha pudiera ser una opción para hacerle llegar al fruto el calcio necesario que requiera

La aplicación de calcio en precosecha es un método más común para incrementar la concentración de calcio en frutos de manzana (Dilmaghani *et al.*, 2004) y en aguacate, la aplicación de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ al follaje ha proporcionado resultados satisfactorios, disminuyendo el porcentaje de pérdida de peso del fruto, firmeza, producción de CO_2 , etileno y los daños por frío en frutos de aguacate cv. Fuerte almacenados tanto en ambiente como en refrigeración (Saucedo-Hernández, *et al.*, 2005). En la presente investigación se evaluó el efecto del nitrato de calcio $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ asperjado al follaje en la calidad y fisiología postcosecha de frutos de aguacate ‘Fuerte’ a diferentes temperaturas de almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Coatepec Harinas, Estado de México, México; en una plantación de aguacatero cultivar Fuerte injertado sobre portainjertos provenientes de semilla de la raza Mexicana, en árboles de 9 años de edad, ubicado en la parcela “Los Encinos” del campo experimental “La Cruz” perteneciente a la Fundación Salvador Sánchez Colín (CICTAMEX, S.C.). La región se localiza entre las coordenadas 99° 48.5’ de LW y 18° 54.5’ y 18° 56.3’ de LN;

a una altitud de 1,750 m. El clima es C(w₂)w; templado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual de 17.7 °C; precipitación media de 1,100 mm anuales, distribuída en su mayoría entre junio y octubre. El suelo es andosol, de textura franca, ligeramente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico (Solís-Fraire *et al.*, 1998).

El Ca(NO₃)₂ utilizado en las aplicaciones foliares a los árboles fue de grado reactivo, y se usaron concentraciones de 0, 0.3 y 0.5 %, considerada cada una de estas como tratamientos, las aplicaciones se realizaron cuando los frutos de aguacate tenían 3.5 meses de desarrollo, equivalente a 4 cm de diámetro. En las soluciones se adicionó un adherente, Atlox (0.5 ml·l⁻¹) para facilitar la penetración del Ca(NO₃)₂. La aspersión se realizó a los árboles a punto de goteo con un aspersor utilizando la fuerza de un tractor, a una dosis de 10 litros por árbol. La primera aplicación spersión fue el 16 de septiembre del 2003 y las siguientes fueron cada 15 días hasta llegar al 10 de enero de 2004, logrando un total de 11 aplicaciones antes de la cosecha, y la hora de aplicación fue entre las 9 y 10:30 de la mañana.

El experimento se planteó en un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos 3 x 2, donde los factores fueron las concentraciones de Ca(NO₃)₂ (0.0, 0.3 y 0.5 %) y los años de evaluación (2004 y 2005), respectivamente. La unidad experimental utilizada fue un árbol con cinco repeticiones. Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza, utilizando la prueba de Tukey para la separación de medias a un nivel de $P \leq 0.05$.

El 11 de febrero del 2004 se realizó la primer cosecha de fruto y el 7 de marzo del 2005 la segunda para la evaluación de efectos residuales; posteriormente los frutos se trasladaron para su evaluación al laboratorio. Se almacenaron a temperatura ambiente hasta su maduración y a 5 °C por 3 y 5 semanas, respectivamente; después de cada uno de los periodos de almacenamiento, los frutos se expusieron a maduración a temperatura ambiente a 22 °C. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 3 x 3, donde los factores fueron las concentraciones de Ca(NO₃)₂ (0, 0.3 y 0.5 %) y las condiciones de almacenamiento a 5 °C (0, 3 y

5 semanas) para el primer año de evaluación, y en un diseño experimental completamente al azar para comparar concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0, 0.3 y 0.5 %) durante el segundo año, con el propósito de evaluar efectos residuales de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ del año anterior (debido a la carencia de fruto en esa temporada). Las variables medidas fueron: pérdida de peso, firmeza, días a maduración, color, permeabilidad de membrana, actividad de la enzima polifenoloxidasas, potencial de oscurecimiento enzimático, daño por frío, producción de etileno, respiración, desórdenes fisiológicos y evaluación sensorial.

El porcentaje de pérdida diaria de peso acumulado, se determinó mediante la diferencia del peso inicial y final durante el tiempo del experimento. La firmeza se evaluó con un penetrómetro digital Compact Gauge (Cole Palmer) montado en una prensa manual, la medición consistió en registrar la fuerza ejercida en kilogramos (kg) durante la penetración del puntal en el fruto. La medición se hizo en la parte ecuatorial, eliminando parte de la cáscara del fruto. Para estimar el patrón de maduración de los frutos se usó una escala subjetiva que consistió en evaluar los cambios en firmeza al tacto clasificados en tres categorías: frutos de textura dura, frutos cambiantes y frutos suaves (al alcanzar la madurez de consumo), se evaluaron nueve frutos por tratamiento en cada una de las formas de almacenamiento, siendo 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.

El color se midió en la cáscara del fruto mediante un colorímetro ColorTec-PCM modelo D25-PC2 (Cole Palmer), el cual generó lecturas de color en tres variables: L, a y b. Los datos se expresaron en valores de L, Croma y Hue (McGuire, 1992); donde $\text{croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$ y $\text{Hue} = \tan^{-1}(b/a)$. A los frutos se les marcó un círculo en la parte ecuatorial de la cáscara, con la finalidad de que las lecturas fueran tomadas siempre en el mismo sitio; la medición se realizó al salir los frutos de cada tratamiento y hasta su maduración, evaluando nueve frutos por tratamiento, donde cada fruto representó una repetición. La permeabilidad de las membranas se determinó mediante

el puente de conductividad eléctrica Hoffmann Pinther serie 21828, cortando discos de tejido de cáscara y pulpa con un sacabocados, colocándolos en 30 ml de agua destilada tomando lecturas de conductividad eléctrica inicial, una hora y tres horas después. Posteriormente los discos se expusieron a baño maría durante 10 minutos, se dejó enfriar y se midió nuevamente la conductividad (Zamora, 1997), el índice de permeabilidad de la membrana se obtuvo al dividir la conductividad de la muestra antes de calentar entre la conductividad de la muestra después de calentar, multiplicado por 100. Se utilizaron nueve repeticiones por tratamiento, siendo un fruto la unidad experimental. Los datos de permeabilidad se expresaron en porcentaje.

La actividad de la polifenoloxidasas (PPO) se determinó mediante la metodología descrita por Lamikanra (1995) donde la enzima se extrajo a partir de 1 g de muestra congelada a -80 °C, la cual se colocó en un mortero congelado, se molió y posteriormente se agregaron 5 ml de buffer Tris-HCl 125 mM a pH 7.0 con 1 % (p:v) de pilivinilpirrolidona (PVP). El extracto se centrifugó a 10,000 x 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, la reacción consistió en 1 ml de catecol + 10 µl del sobrenadante; se midió el cambio de absorbancia en 1 minuto en un espectrofotómetro Termo Spectronic modelo Génesis 10 UV. Una unidad de la actividad de la enzima se presentó como un cambio de una unidad de absorbancia por minuto.

El potencial de oscurecimiento enzimático y compuestos fenólicos se realizó mediante la aplicación de catecol para valorar la actividad de la polifenoloxidasas y el contenido de compuestos fenólicos, mediante el uso de nitrato de sodio, urea, ácido acético glacial e hidróxido de sodio, estableciendo una escala cualitativa del 1 a 5, donde 1 representa el menor oscurecimiento o bien la menor actividad de la polifenoloxidasas y 5 el mayor oscurecimiento o bien la mayor actividad de la polifenoloxidasas. Posteriormente ambos valores (uno de la escala para la polifenoloxidasas y el otro de los compuestos fenólicos) se sumaron, representando en conjunto el potencial de oscurecimiento, considerando los compuestos fenólicos bajos si la suma

es menor de 2, moderado si es de 2 a 4, alto si se ubica de 5 a 7 y muy alto si excede de 7 (Kader y Chordas, 1984). El daño por frío se determinó por el método de Chaplin *et al.* (1982). Se evaluó a partir de una porción representativa de 1 g de pulpa, se formó una pasta macerada en un mortero y 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 centrifugó a $10,000 \times g$ 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 Spectronic 20 (Bauch & Lomb). Se utilizó una longitud de onda de 340 nm.

El etileno y CO_2 se estimaron por cromatografía de gases por el método estático, en un recipiente hermético de volumen conocido, se colocaron tres frutos por repetición, durante una hora se tomaron 5 ml del espacio de cabeza con una jeringa hipodérmica y se transfirió a un vial (vacuntainer® al vacío). Se tomó 1 ml del espacio del vacuntainer y se inyectó en un cromatógrafo de gases marca Varian modelo 3400 con una columna Poropak 80/100 de 2 m x 1/8"; la temperatura del horno aplicada a la columna fue de 80°C y la del detector de 150°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 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 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 desórdenes fisiológicos se realizó mediante la comparación de los frutos de cada una de las condiciones de almacenamiento con el manual de medición del aguacate (White *et al.*, 2001). La evaluación sensorial se realizó cuando los frutos de cada tratamiento y tipo de almacenamiento llegaron a la madurez de consumo. Se trabajó con un panel

de 35 personas con la finalidad de llevar a cabo un análisis descriptivo cuantitativo, y con los resultados obtenidos se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar la preferencia del producto por los consumidores (Meilgaard *et al.*, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de peso

Durante el primer año, el análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y de las condiciones de almacenamiento sobre la pérdida de peso del fruto, señaló diferencias. El efecto de las concentraciones presentó un patrón de respuesta similar en los frutos durante todas las fechas de evaluación; donde se observó que los frutos tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron menor porcentaje de pérdida de peso, con respecto a los frutos del testigo. La respuesta de los frutos a las condiciones de almacenamiento, señaló que el efecto de la condición ambiente favoreció para que los frutos tuvieran el menor porcentaje de pérdida de peso, con respecto al efecto de la condición 5 semanas a 5 °C, durante todas las evaluaciones realizadas (seis en total). El efecto ocasionado en los frutos por las tres condiciones de almacenamiento fue diferente, en las distintas fechas de evaluación. Además, la interacción concentración x años resultó ser no significativa para ninguna de las evaluaciones realizadas (Cuadro 1).

En el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la pérdida de peso del fruto, determinándose que no se encontraron diferencias (Cuadro 2).

En el análisis conjunto de los dos años sobre el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la pérdida de peso del fruto, indicó que no se encontraron diferencias. Sin embargo, el efecto de los años sobre la misma variable señaló diferencias en todas las las fechas de evaluación realizadas, en las que se observó que la menor pérdida de peso correspondió a los frutos del segundo año. Finalmente, la interacción concentración x años no fue significativa en todas las evaluaciones realizadas (Cuadro 3).

Cuadro 1. Pérdida de peso acumulado (%), en frutos de aguacate ‘Fuerte’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)							
	0.0	8.23 a ^z	10.05 a	12.30 a	14.36 a	16.33 a	18.13 a
	0.3	7.06 b	8.71 b	10.77 b	12.65 b	14.40 b	16.05 b
	0.5	7.72 ab	9.35 ab	11.39 ab	13.34 ab	15.09 ab	16.78 ab
	DMSH	1.0997	1.2718	1.4898	1.6868	1.8701	2.0484
Almacenamiento (A)							
	Ambiente	1.68 c	3.19 c	5.42 c	7.41 c	9.61 c	11.64 c
	3 semanas 5 °C	8.37 b	10.53 b	13.08 b	15.28 b	16.89 b	18.52 b
	5 semanas 5 °C	12.97 a	14.38 a	15.95 a	17.65 a	19.32 a	20.80 a
	DMSH	1.0997	1.2718	1.4898	1.6868	1.8701	2.0484
	CV	21.98	20.83	19.90	19.25	18.79	18.51
	C x A	0.160 ^{ns}	0.317 ^{ns}	0.524 ^{ns}	0.647 ^{ns}	0.711 ^{ns}	0.740 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Cuadro 2. Pérdida de peso acumulado (%) en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
0.0	0.81 a ^z	2.37 a	3.58 a	4.19 a	5.13 a	5.86 a	7.21 a
0.3	0.79 a	2.25 a	3.35 a	3.98 a	4.87 a	5.54 a	6.82 a
0.5	0.92 a	2.64 a	3.98 a	4.67 a	5.70 a	6.44 a	7.90 a
DMSH	0.1606	0.4628	0.7041	0.8539	1.043	1.1812	1.4536
CV	17.16	17.20	17.44	17.96	17.96	17.89	17.92

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 3. Pérdida de peso acumulado (%) en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)								
	0.0	1.19 a ^z	2.82 a	4.64 a	6.00 a	7.70 a	9.13 a	10.85 a
	0.3	1.27 a	2.75 a	4.37 a	5.62 a	7.12 a	8.46 a	10.08 a
	0.5	1.32 a	2.85 a	4.57 a	5.90 a	7.42 a	8.77 a	10.41 a
	DMSH	0.2581	0.4608	0.7423	1.0102	1.2481	1.4924	1.7587
Años (A)								
	Año 2004	1.68 a	3.19 a	5.42 a	7.41 a	9.61 a	11.64 a	13.60 a
	Año 2005	0.84 b	2.42 b	3.63 b	4.27 b	5.22 b	5.93 b	7.29 b
	DMSH	0.1752	0.3128	0.5039	0.6857	0.8472	1.0131	1.1938
	CV	25.31	20.33	20.32	21.44	20.87	21.05	20.87
	C x A	0.714 ^{NS}	0.342 ^{NS}	0.264 ^{NS}	0.359 ^{NS}	0.249 ^{NS}	0.297 ^{NS}	0.286 ^{NS}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{NS}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Como puede observarse en el cuadro 1 las concentraciones aplicadas de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ al follaje, tuvieron efecto sobre la pérdida de peso sólo durante el año en que se efectuaron las aplicaciones, no así en los frutos del segundo año (Cuadro 2), ni en los frutos del análisis conjunto de los dos años (Cuadro 3); sobresaliendo el efecto del nitrato de calcio contenido en el tratamiento 0.3 %, frutos en los cuales tuvo los valores más bajos con respecto a los frutos testigo, que presentó los valores más altos de pérdida de peso (Cuadro 3). Estos resultados señalan el efecto que posiblemente tuvo el calcio en el fruto manteniendo la estabilización de la estructura y funcionamiento de la membrana (Ferguson y Drøback, 1988), dado que en ausencia de calcio la membrana pierde su función permitiendo la salida de agua y solutos del citoplasma (Kirkby y Pilbeam, 1984), pero además, la pérdida de agua después de la cosecha afecta la calidad del aguacate a través de un efecto sobre la velocidad de maduración y/o un efecto sobre la incidencia de pudriciones (Lallum *et al.*, 2004). Por otra parte, la pérdida de agua es una de las

principales causas de deterioro de los frutos ya que no sólo afecta directamente mediante pérdidas cuantitativas, sino que lo hace también de manera indirecta con pérdidas de apariencia, textura y calidad nutricional (Kader, 1986). Los resultados aquí encontrados son afines con lo señalado por Saucedo-Hernández *et al.* (2005), quienes encontraron que los tratamientos que menores pérdidas de peso tuvieron en frutos de aguacate ‘Fuerte’ fueron las concentraciones de 0.3 y 0.5 %.

Las condiciones de almacenamiento señalaron menor pérdida de peso en los frutos al ambiente que en los refrigerados 3 y 5 semanas a 5 °C, en razón de que los frutos que se encontraban almacenados a bajas temperaturas al permanecer en frío presentaron una disminución de la actividad metabólica y consecuentemente de la transpiración; pero al momento de interrumpir la refrigeración y colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales, dicha actividad metabólica, que permanecía latente se reactivó, siendo más acelerada en los frutos que permanecieron mayor tiempo en refrigeración; razón por la cual, la pérdida de peso fue mayor en los frutos almacenados por 5 semanas a 5 °C (Zauberman *et al.*, 1977).

La falta de interacción entre concentraciones x almacenamiento, durante el primer año y concentraciones x años, durante el análisis conjunto de los datos; indica un efecto totalmente independiente de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al follaje, de las condiciones de almacenamiento y de los años sobre la pérdida de peso del fruto.

Firmeza

Durante el primer año el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la firmeza del fruto de aguacate, señaló diferencias sólo para la última fecha de evaluación (día cinco); donde se observó que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron los valores más altos de firmeza, aunque con un comportamiento igual a los frutos testigo. El efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la firmeza del fruto, indicó diferencias; observando que los frutos de la

condición ambiente tuvieron los valores más altos de firmeza, con respecto a los de la condición 5 semanas a 5 °C, los cuales tuvieron un comportamiento distinto. La interacción concentración x almacenamiento resultó significativa sólo en la última fecha de evaluación (día cinco) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Determinación de firmeza (kg) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)				
	0.0	7.91 a ^z	4.23 a	1.97 a
	0.3	7.25 a	4.25 a	0.73 b
	0.5	7.86 a	4.19 a	2.27 a
	DMSH	1.6704	0.545	0.689
Almacenamiento (A)				
	Ambiente	12.89 a	11.48 a	4.25 a
	3 semanas 5 °C	6.88 b	0.57 b	0.29 b
	5 semanas 5 °C	3.25 c	0.62 b	0.43 b
	DMSH	1.6704	0.545	0.689
	CV	18.08	10.72	34.48
	C x A	0.553 ^{NS}	0.963 ^{NS}	<0.0001 ^{**}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{NS}, ^{*}, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Durante el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la firmeza del fruto, encontrándose diferencias sólo en los frutos de la primer fecha evaluada (día uno), en la cual se observó que los frutos tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron la firmeza más alta, con respecto a los frutos sin tratar, los cuales presentaron un comportamiento diferente. (Cuadro 5).

Cuadro 5. Determinación de firmeza (kg) en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
0.0	9.92 b ^z	4.12 a	3.48 a	0.35 a
0.3	15.20 a	7.79 a	5.65 a	0.35 a
0.5	14.72 a	11.34 a	4.98 a	0.47 a
DMSH	3.9517	9.1778	8.3792	0.2087
CV	17.63	70.12	105.55	31.60

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Se encontraron diferencias durante el análisis que incluyó los resultados de los dos años sobre la firmeza del fruto, por efecto de las concentraciones de Ca(NO₃)₂ y por los años de evaluación. En el efecto de las concentraciones se observó que sólo en la primer fecha evaluada (día uno), los frutos tratados con 0.3 % de Ca(NO₃)₂ tuvieron el máximo valor de firmeza, con respecto a los frutos sin tratar, cuyo comportamiento fue diferente. El análisis del efecto de los años sobre la firmeza, indicó diferencias para las dos primeras fechas de evaluación (días uno y tres), en donde se observó que los valores de firmeza fueron mayores en los frutos del primer año. Además, la interacción concentración x años resultó ser no significativa (Cuadro 6).

Cuadro 6. Determinación de firmeza (kg) en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel (%)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)					
	0.0	11.93 b ^z	7.08 a	3.10 a	0.25 b
	0.3	14.42 a	7.60 a	2.58 a	0.25 b
	0.5	14.28 a	10.74 a	5.05 a	0.40 a
	DMSH	1.8669	5.1611	3.9844	0.1444
Años (A)					
	Año 2004	14.20 a	11.48 a	4.25 a	0.26 a
	Año 2005	12.89 b	5.46 b	2.91 a	0.34 a
	DMSH	1.245	3.4417	2.657	0.0963
	CV	8.94	39.53	72.21	30.79
	C x A	0.034 ^{ns}	0.134 ^{ns}	0.129 ^{ns}	0.881 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

A pesar de que se ha mencionado que el calcio juega un papel muy importante en la estructura de la pared celular y que por medio de ello contribuye a la firmeza de los tejidos del fruto (Alcaraz-Lopez *et al.*, 2004), las concentraciones no tuvieron efecto consistente sobre la firmeza del fruto, debido a que sólo la primer fecha de evaluación tanto del segundo año como la del análisis conjunto de los dos años, indicaron que los frutos tratados con 0.3 y 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron los valores más altos de firmeza, con respecto a los frutos sin tratar, (Cuadros 5 y 6), hecho que pudo haberse debido al efecto del calcio aplicado durante las aspersiones en precosecha, en función de que la firmeza del fruto es una variable que se encuentra correlacionada positivamente con el contenido de calcio de los frutos, aunque no siempre presenta significancia estadística (Marcelle, 1995).

Las condiciones de almacenamiento señalaron mayor firmeza en los frutos almacenados al ambiente que en los refrigerados 3 y 5 semanas a 5 °C, en razón de que los frutos almacenados a bajas temperaturas mientras permanecieron en frío la actividad metabólica se redujo, pero al

momento de colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales, dicha actividad que permanecía latente se reactivó, siendo más fuerte en los frutos que permanecieron mayor tiempo en refrigeración; por ello, el ablandamiento fue mayor en los frutos almacenados por 5 semanas que en los de 3 semanas a 5 °C (Zauberman *et al.*, 1977). Además, es bien sabido que la hidrólisis de la pared celular se encuentra involucrada en el ablandamiento de los frutos climatéricos por la solubilización de hemicelulosas y pectinas insolubles que constituyen las reservas de monosacáridos para respiración (Fallahi *et al.*, 1997).

Estos resultados coinciden con lo señalado por Saucedo-Hernández *et al.*, (2005) quienes mencionan que los frutos de aguacate ‘Fuerte’ que tuvieron tratamiento de calcio en pre cosecha presentaron mayor firmeza que los testigos; de igual manera coinciden con lo establecido por López y Cajuste (1996) quienes incrementaron la firmeza de los frutos de aguacate almacenados a 5 °C mediante la aplicación de nitrato de calcio. Además, se sabe que el calcio retarda el ablandamiento de los frutos de manzana mediante la detención de la degradación de los polímeros de la pared celular y también desempeña una importante función en la unión célula a célula, fenómeno que es importante para mantener la textura del fruto (Fallahi *et al.*, 1997).

La falta de interacción entre concentraciones x almacenamiento durante el primer año, y entre concentraciones x años durante el análisis conjunto de los dos años en la firmeza del fruto, indica un efecto totalmente separado de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al follaje con las condiciones de almacenamiento, por una parte, y con los años, por otra (Cuadros 4 y 6); además, la interacción entre las concentraciones x almacenamiento en la última fecha evaluada del primer año, señala que no hay efecto separado de las concentraciones con las condiciones de almacenamiento (Cuadro 4).

Maduración

Al analizar los datos de días promedio a maduración de los frutos durante el primer año, se observó que los frutos tratados con 0.3 y 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ maduraron ligeramente más tarde que los frutos del testigo; esto significó 0.5 días después que el testigo, en la condición de ambiente.; mientras que en las condiciones de almacenamientos 3 y 5 semanas a 5 °C, los frutos de las tres concentraciones maduraron al mismo tiempo (cuatro días). En la evaluación del segundo año, los frutos de las tres concentraciones tuvieron el mismo número de días a maduración (cinco días), durante la única condición ambiental de almacenamiento que fue evaluada (Cuadro 7).

Cuadro 7. Días a maduración en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados en diferentes ambientes, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Ambiente	Primer año			Segundo año
		3 semanas 5 °C	5 semanas 5 °C	Ambiente	
0.0 %	4.5	4.0	4.0	5.0	5.0
0.3 %	5.0	4.0	4.0	5.0	5.0
0.5 %	5.0	4.0	4.0	5.0	5.0

La pared celular de las plantas superiores esta compuesta de tres tipos principales de polisacáridos: celulosa, hemicelulosa y pectinas, siendo estas últimas las responsables de la resistencia y flexibilidad de los órganos no lignificados, así como de la maduración de los frutos (Van Cutsem y Messiaen, 1993); la maduración y senescencia de los frutos son reguladas por el calcio mediante el ligamiento de polisacáridos y proteínas de la pared celular (Kadir, 2004). Las concentraciones empleadas de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron efecto sobre los días a maduración de los frutos, sólo en la condición de almacenamiento ambiente, dado que la velocidad de ablandamiento del fruto depende del contenido de calcio del mismo (Fallahi *et al.*, 1997), de esta

forma las concentraciones de calcio (0.3 y 0.5 %) presentaron mayor número de días a maduración (Cuadro 7).

Durante el segundo año en la condición de ambiente, no se observaron efectos del calcio en los frutos, debido a las concentraciones aplicadas de 0.3 y 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, en función de que el número de días a maduración de los frutos testigo fue el mismo que para las concentraciones que tenían calcio (Cuadro 7); debe recordarse que durante el segundo año no se hizo ninguna aplicación de calcio, sólo se evaluó el efecto residual y es probable que a ello se deba la respuesta de los frutos en este segundo año evaluado (Cuadro 7). Estos resultados concuerdan en parte con lo señalado por Penter y Stassen (2000) quienes señalaron que las aplicaciones de calcio en postcosecha han dado buenos resultados en aguacate logrando aumentar el tiempo a maduración de los frutos; debido a que, cuando se incrementa el nivel de calcio en los frutos se mejora la vida de almacén (Wójcik y Lewandowski, 2003).

Las condiciones de almacenamiento señalaron que los frutos de ambiente presentaron el mayor número de días promedio a maduración, que los frutos refrigerados 3 y 5 semanas a 5 °C, en razón de que los tiempos de maduración de los frutos de aguacate disminuyen con el incremento de la temperatura, después de haber sido sometidos a un periodo de frío (Dixon *et al.*, 2003); además de que los frutos almacenados a bajas temperaturas mientras permanecieron en frío la actividad metabólica se redujo, pero al término de la refrigeración y de colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales (22 °C), dicha actividad que permanecía latente se reactivó; es por ello que, los frutos refrigerados maduraron primero, requiriendo menor número de días para madurar (Zauberman *et al.*, 1977). Los resultados coinciden con lo establecido por Cajuste *et al.* (1994), quienes obtuvieron una reducción de los días a maduración a medida que se incrementó el tiempo de frigoconservación, acentuándose aún más en los frutos almacenados a 5 °C. Estos resultados están dentro del tiempo de 6 a 12 días que el aguacate requiere para llegar a la maduración a 20 °C (Eaks, 1980).

Color

El análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el color de la cáscara del fruto durante el primer año, señaló diferencias en los frutos para L, Croma y el ángulo Hue; observándose en todos ellos, que los frutos tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron el máximo valor en el respectivo componente del color y tuvieron un comportamiento diferente con los frutos sin tratar (testigo). El efecto de las condiciones de almacenamiento sobre los componentes del color de los frutos, señaló diferencias para los tres componentes del color (L, Croma y el ángulo Hue); en los cuales se observaron los máximos valores de L, Croma y el ángulo Hue, en la condición ambiente, con respecto a 5 semanas a 5 °C. Además, la interacción concentración x almacenamiento resultó ser no significativa (Cuadros 8 y 9).

Cuadro 8. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Fuerte’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 1			Día 3	
	0.0	32.63 a ^z	26.59 a	97.33 b	32.16 b	19.88 b	102.7 a
	0.3	32.80 a	26.84 a	103.9 a	33.60 ab	23.50 a	103.1 a
	0.5	32.89 a	28.65 a	97.61 b	34.78 a	24.26 a	103.6 a
	DMSH	1.9517	3.6444	4.2527	1.7913	2.8508	8.5815
Almacenamiento (A)							
	Ambiente	32.85 a	26.75 a	98.99 a	35.04 a	24.44 a	106.6 a
	3 semanas 5 °C	32.70 a	27.48 a	99.03 a	35.10 a	23.66 a	104.9 ab
	5 semanas 5 °C	32.77 a	27.85 a	100.8 a	30.40 b	19.54 b	97.95 b
	DMSH	1.9517	3.6444	4.2527	1.7913	2.8508	8.5815
	CV	9.14	20.44	6.55	8.20	19.41	12.76
	C x A	0.417 ^{NS}	0.038 ^{NS}	0.925 ^{NS}	0.792 ^{NS}	0.121 ^{NS}	0.273 ^{NS}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{NS}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Cuadro 9. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Fuerte’ sometidos a tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 5			Día 7	
	0.0	27.99 b ^z	15.88 b	88.34 a	25.87 b	10.91 b	81.23 a
	0.3	31.43 a	20.19 a	93.99 a	28.47 a	17.69 a	93.85 a
	0.5	29.83 ab	18.05 ab	91.80 a	27.41 ab	13.98 ab	81.58 a
	DMSH	2.3146	2.8816	11.9	2.2919	5.4342	18.448
Almacenamiento (A)							
	Ambiente	33.02 a	23.96 a	99.05 a	32.45 a	23.22 a	99.18 a
	3 semanas 5 °C	30.22 b	18.91 b	92.44 ab	26.47 b	11.91 b	77.48 b
	5 semanas 5 °C	26.01 c	11.25 c	82.64 b	22.82 c	7.45 b	80.00 b
	DMSH	2.3146	2.8816	11.9	2.2919	5.4342	18.448
	CV	11.94	24.51	19.99	12.91	58.76	33.10
	C x A	0.461 ^{ns}	0.085 ^{ns}	0.774 ^{ns}	0.179 ^{ns}	0.561 ^{ns}	0.768 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

En el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre los componentes del color de los frutos, donde no se observaron diferencias para ninguno de los componentes del color (Cuadro 10).

Cuando el análisis de los resultados de la variable color incluyó los datos de los dos años, se observó que tanto el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ como de los años de evaluación, presentaron diferencias. En el efecto de las concentraciones se observó que tanto en L como en Croma, en la segunda fecha evaluada (día tres), los frutos que recibieron $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.3 y/o 0.5 %) presentaron el máximo valor, con respecto a los frutos testigo, cuyos frutos tuvieron un comportamiento distinto. El análisis del efecto de los años sobre el color de los frutos, señaló diferencias para L, Croma y el ángulo Hue; componentes del color en los cuales los frutos del primer año presentaron valores superiores a los del segundo, durante la segunda y tercera fecha de evaluación (día tres y cinco) Además, la interacción concentración x años

resultó ser significativa sólo en la segunda fecha de evaluación (tercer día) para L (Cuadros 11 y 12).

Cuadro 10. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio al follaje, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue	L	Croma
		Día 1			Día 3			Día 5
0.0	33.44 a ^z	23.02 a	120.3 a	32.74 a	18.62 a	111.2 a	33.22 a	19.27 a
0.3	34.31 a	23.85 a	121.5 a	33.44 a	20.15 a	118.1 a	33.95 a	21.06 a
0.5	32.14 a	26.68 a	119.8 a	31.58 a	19.36 a	114.9 a	32.37 a	22.22 a
DMSH	2.1882	12.135	17.223	2.0288	4.1776	9.4091	2.0102	10.155
CV	5.92	44.63	12.88	5.61	19.44	7.39	5.46	43.91
	Hue	L	Croma Día 7	Hue	L	Croma Día 9	Hue	
0.0	112.9 a	32.09 a	18.22 a	106.7 a	32.00 a	18.24 a	105.6 a	
0.3	116.9 a	32.46 a	18.69 a	104.1 a	33.25 a	19.71 a	111.0 a	
0.5	114.9 a	31.16 a	18.62 a	102.0 a	30.87 a	17.37 a	103.5 a	
DMSH	19.747	2.2891	3.7059	8.2359	2.9253	4.6718	12.474	
CV	15.49	6.46	18.04	7.11	8.23	22.84	10.53	

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 11. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 1			Día 3	
	0.0	32.66 a ^z	23.65 a	107.3 a	32.92 b	19.99 b	108.7 a
	0.3	33.47 a	25.60 a	110.3 a	34.52 a	21.95 ab	110.7 a
	0.5	32.86 a	27.81 a	109.1 a	34.16 ab	23.58 a	112.3 a
	DMSH	2.0615	6.8703	9.2035	1.5924	3.1614	7.6117
Años (A)							
	Año 2004	32.85 a	26.75 a	118.9 a	35.04 a	24.44 a	114.5 a
	Año 2005	33.15 a	24.62 a	98.99 b	32.69 b	19.25 b	106.6 b
	DMSH	1.3994	4.6637	6.2475	1.0809	2.146	5.1669
	CV	7.74	33.17	10.47	5.83	17.94	8.53
	C x A	0.219 ^{ns}	0.531 ^{ns}	0.616 ^{ns}	0.002 [*]	0.124 ^{ns}	0.344 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, ^{*}, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Cuadro 12. Evaluación del color en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio al follaje durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor	nivel	L	Croma	Hue	L	Croma	Hue
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)			Día 5			Día 7	
	0.0	32.36 a ^z	20.52 a	104.8 a	31.64 a	17.99 a	101.7 a
	0.3	34.09 a	22.90 a	109.2 a	32.61 a	23.91 a	103.0 a
	0.5	33.04 a	24.07 a	106.6 a	32.34 a	20.43 a	99.21 a
	DMSH	1.8381	5.8193	11.543	2.3272	7.581	11.411
Años (A)							
	Año 2004	33.02 a	23.96 a	114.7 a	32.45 a	23.22 a	99.18 a
	Año 2005	33.31 a	21.04 a	99.0 b	31.94 a	18.34 a	103.5 a
	DMSH	1.2477	3.9503	7.8357	1.5798	5.1461	7.7459
	CV	6.87	32.07	13.39	8.96	45.24	13.96
	C x A	0.244 ^{ns}	0.968 ^{ns}	0.829 ^{ns}	0.264 ^{ns}	0.174 ^{ns}	0.575 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, ^{*}, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

El análisis del color es con frecuencia una consideración importante para determinar la eficacia de una variedad de tratamientos postcosecha (McGuire, 1992), ya que durante la maduración del fruto, la cáscara del aguacate ‘Hass’ cambia de verde a morado-negro (Cox *et al.*, 2004).

Los resultados del primer año de evaluación indican que los frutos que recibieron 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ mantuvieron por mayor tiempo el color verde de la cáscara, impidiendo el cambio que señala Cox *et al.* (2004) durante el proceso de maduración del fruto de aguacate. Por su parte, los resultados del segundo año indican que los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron un comportamiento igual a los frutos testigo (Cuadro 10), lo cual se deba a que las aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sólo se realizaron en el primer año y en el segundo ya no había calcio que marcara la diferencia en el color de los frutos. Sin embargo, en el análisis que incluyó resultados de los dos años se observó que los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.3 y/o 0.5 %) mantuvieron la mejor brillantez e intensidad del color verde del fruto. Como puede observarse en los resultados, los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron efecto sobre la permanencia de la brillantez, intensidad y tonalidad verde de la cáscar del fruto, representado por los altos valores de L, Croma y del ángulo Hue; debido a que el color verde del fruto se ha correlacionado con el contenido de calcio del mismo, dado que en frutos con altos niveles de calcio el color verde permanece por mayor tiempo (Marcelle, 1995) y a que el calcio retarda los cambios de color en el fruto (Ferguson, 1984); aunque estos cambios pueden deberse tanto a procesos de degradación como a procesos biosintéticos o bien a ambos (Kader, 1999). No obstante, los valores de L, Croma y Hue disminuyeron a medida que el fruto maduraba en cada concentración y año evaluado (Cox *et al.*, 2004).

Los efectos de las condiciones de almacenamiento sobre el color de la cáscara, indicaron que la condición ambiente favoreció en los frutos la permanencia de la brillantez, intensidad y tonalidad verde de la cáscara, representados por los altos valores de L, Croma y del ángulo Hue

en los frutos evaluados; aún y cuando durante la maduración se presentaron cambios de color, los cuales pudieron ser atribuidos a cambios en la concentración de clorofila y antocianinas que se presentan durante el proceso normal de maduración del fruto (Cox *et al.*, 2004); aunque esos cambios pueden ser más acentuados en frutos que hayan estado en refrigeración, en razón de que los frutos almacenados a bajas temperaturas tuvieron su actividad metabólica reducida, pero al término de la refrigeración y de colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales (22 °C), dicha actividad que permanecía latente se reactivó, siendo más acelerada en los frutos que permanecieron almacenados por mayor tiempo; es por ello que, los frutos refrigerados durante 5 semanas a 5 °C no pudieron mantener la brillantez, intensidad y tonalidad verde, los cuales disminuyeron rápidamente en el fruto después de su periodo de frío (Zauberman *et al.*, 1977) (Cuadros 8 y 9)..

La falta de interacción entre los factores concentraciones x almacenamiento en L, Croma y Hue, señala que las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al fruto, no tuvieron participación en el efecto que las condiciones de almacenamiento efectuaron sobre la brillantez, intensidad y tonalidad verde de los frutos, durante su almacenamiento respectivo; en tanto que, la interacción concentraciones x años en L indica una participación de las concentraciones junto con los años, sobre el efecto de la brillantez del color en los frutos evaluados (Cuadros 8, 9, 11 y 12).

Permeabilidad de membrana

Durante el primer año de evaluación se presentaron diferencias en el efecto de las concentraciones sobre la permeabilidad de la membrana en cáscara, observándose que los frutos de la segunda y tercera fecha de evaluación (día tres y cinco), tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ con 0.5 y 0.3 % ocasionaron los valores más bajos de permeabilidad de membrana, (Cuadro 13).

Respecto al efecto de las dos condiciones de almacenamiento sobre la permeabilidad de membrana en cáscara, se encontraron diferencias para la tercera fecha de evaluación (día cinco)

dos horas después del inicio, en la cual se observó que los frutos almacenados durante 3 semanas a 5 °C, tuvieron los valores más bajos de permeabilidad que los frutos de 5 semanas a 5 °C, presentando un comportamiento diferente (Cuadro 13). También se observó que la interacción concentración x almacenamiento resultó ser no significativa (Cuadro 13).

Cuadro 13. Permeabilidad de membrana (%) en cáscara de frutos de aguacate ‘Fuerte’ sometidos a dos condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor nivel	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Día 1			Día 3			Día 5		
0.0	12.36 a ^z	13.09 a	16.62 a	22.71 a	38.13 a	49.74 a	11.78 a	43.1 a	50.08 b
0.3	9.27 a	14.37 a	20.76 a	14.20 b	37.84 a	50.50 a	16.71 a	38.44 a	49.37 b
0.5	11.49 a	17.47 a	31.68 a	11.55 b	29.99 a	44.80 a	24.38 a	52.17 a	63.24 a
DMSH	3.7518	8.2827	15.741	7.7417	11.8	12.131	14.659	23.929	12.088
Almacenamiento (A)									
3 semanas 5 °C	11.04 a	14.98 a	23.02 a	16.15 a	35.32 a	48.34 a	15.07 a	39.99 a	49.61 b
5 semanas 5 °C	11.04 a	14.98 a	23.02 a	16.15 a	35.32 a	48.34 a	20.18 a	49.15 a	58.85 a
DMSH	2.5019	5.5233	10.497	5.1625	7.8687	8.0893	9.7751	15.957	8.0609
CV	22.05	35.89	44.38	31.11	21.68	16.28	53.98	34.85	14.47
C x A	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	0.20 ^{NS}	0.50 ^{NS}	0.15 ^{NS}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{NS}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

En la evaluación de la pulpa durante el primer año, se encontraron diferencias en el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y de las condiciones de almacenamiento sobre la permeabilidad de membrana. El efecto de las concentraciones $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ indicó que los frutos testigo presentaron los valores más bajos de permeabilidad, con respecto a los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en sus dos concentraciones (Cuadro 14).

Cuadro 14. Permeabilidad de membrana (%) en pulpa de frutos de aguacate ‘Fuerte’ sometidos a dos condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor nivel	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	Día 1			Día 3			Día 5		
0.0	12.6 a ^z	20.13 b	30.93 b	18.74 b	41.44 a	60.84 a	24.7 ab	48.61 b	58.70 b
0.3	13.16 a	28.8 ab	49.00 a	26.53 a	49.72 a	69.18 a	32.41 a	62.34 a	72.56 a
0.5	11.65 a	31.48 a	51.04 a	21.34 b	42.65 a	67.48 a	17.39 b	49.7 ab	71.94 a
DMSH	3.4261	9.6516	14.877	4.7732	14.034	21.598	12.783	13.526	4.1043
Almacenamiento (A)									
3 semanas 5 °C	12.49 a	26.83 a	43.66 a	22.20 a	44.60 a	65.83 a	27.41 a	48.97 b	63.11 b
5 semanas 5 °C	12.49 a	26.83 a	43.66 a	22.20 a	44.60 a	65.83 a	22.29 a	58.13 a	72.35 a
DMSH	2.2847	6.4362	9.9207	3.183	9.3583	14.403	8.5246	9.0196	2.7369
CV	17.79	23.34	22.12	13.95	20.42	21.29	33.39	16.39	3.93
C x A	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	1.00 ^{NS}	0.28 ^{NS}	0.03 ^{NS}	0.001 ^{**}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de Ca(NO₃)₂ por almacenamiento.

Respecto al efecto de las dos condiciones de almacenamiento, se encontraron diferencias en los frutos de la tercera fecha de evaluación (día cinco), en donde se observó que los frutos de la condición 3 semanas a 5 °C, presentó valores más bajos que la condición 5 semanas a 5 °C, teniendo además, un comportamiento distinto (Cuadro 14). El análisis de varianza indicó que la interacción concentración x almacenamiento resultó ser significativa para la tercera fecha de evaluación (día cinco) (Cuadro 14).

Durante el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de Ca(NO₃)₂ sobre la permeabilidad de la membrana, donde se encontraron diferencias en los frutos tanto en cáscara como en pulpa. En cáscara se observó que los frutos tratados con 0.5 % de Ca(NO₃)₂ presentaron los valores más bajos de permeabilidad de membrana, con respecto a los frutos sin tratar (testigo), teniendo un comportamiento diferente (Cuadro 15).

Cuadro 15. Permeabilidad de membrana (%) en cáscara de frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
		Día 1			Día 3	
0.0	0.0 a ^z	16.67 a	29.14 a	0.0 a	11.20 a	24.69 a
0.3	0.0 a	11.03 a	17.99 a	0.0 a	10.83 a	20.71 a
0.5	0.0 a	0.0 b	16.71 a	0.0 a	9.00 a	17.35 a
DMSH	0.0	10.212	20.236	0.0	12.411	14.042
CV	-	65.53	56.35	-	71.10	39.77
		Día 5			Día 7	
0.0	4.83 a	16.47 a	28.19 a	0.0 a	13.83 a	21.23 ab
0.3	0.0 a	10.52 a	19.62 ab	0.0 a	13.69 a	22.35 a
0.5	1.55 a	6.77 a	13.25 b	0.0 a	7.33 a	13.28 b
DMSH	7.3833	13.247	10.575	0.0	9.4221	8.5505
CV	205.57	69.74	30.78	-	48.05	26.73

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

El análisis del efecto de las concentraciones de Ca(NO₃)₂ sobre la permeabilidad de membrana en pulpa, señaló diferencias para la cuarta fecha de evaluación (día siete), en donde se observó que los frutos tratados con 0.5 % de Ca(NO₃)₂ presentaron el valor más bajo de permeabilidad, aunque con un comportamiento igual a los frutos del testigo (Cuadro 16).

Cuadro 16. Permeabilidad de membrana (%) en pulpa de frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	inicio	1 hora	2 horas	inicio	1 hora	2 horas
		Día 1			Día 3	
0.0	18.05 a ^z	30.92 a	42.01 a	21.26 a	42.07 a	50.98 a
0.3	14.13 a	20.89 a	26.90 a	13.99 a	33.17 a	41.27 a
0.5	15.57 a	23.55 a	27.68 a	12.78 a	23.47 a	27.96 a
DMSH	4.4572	16.356	24.722	9.0174	25.496	30.806
CV	16.59	38.58	45.50	33.37	45.91	45.56
		Día 5			Día 7	
0.0	17.10 a	30.52 a	40.78 a	39.25 a	54.81 a	64.1 ab
0.3	18.06 a	32.67 a	40.05 a	43.50 a	59.94 a	70.11 a
0.5	16.51 a	30.70 a	40.84 a	33.98 a	50.53 a	60.05 b
DMSH	12.983	23.466	29.966	9.5466	9.6729	7.9317
CV	44.66	44.43	43.78	14.54	10.40	7.25

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

La presencia del climaterio respiratorio junto con la degradación enzimática de la pared celular, son eventos que señalan la posibilidad de cambios en las membranas de los frutos maduros de aguacate (Dallman *et al.*, 1988); debido a que el mayor sitio de acción del calcio durante la maduración y senescencia del fruto, es sobre la estructura y funcionamiento de la membrana; a este elemento se le ha considerado un importante agente mediador del control del metabolismo de las células vegetales (Ferguson, 1984); por otra parte, la asociación del calcio con los fosfolípidos y las proteínas de membrana, es determinante para mantener la integridad y el control de funciones asociadas con la membrana (Anderson y Campbell, 1995).

Sin embargo, a pesar de haberse presentado un proceso normal de maduración en los frutos evaluados, se observó que las concentraciones de calcio no tuvieron efecto consistente sobre la permeabilidad de membrana en cáscara y pulpa en ninguno de los años evaluados; a pesar de que en algunas evaluaciones se observó que las concentraciones de 0.3 y 0.5 % de

calcio presentaron menor salida de electrolitos (Cuadros 13-16), ya que como se ha mencionado, el calcio mantiene la integridad de la membrana plasmática y el proceso de osmoregulación (Anderson y Campbell, 1995), aunque también cuando la fruta entra en proceso de maduración y senescencia el indicador más obvio de cambios en permeabilidad es el incremento de solutos que señala pérdida de la permeabilidad de la membrana (Ferguson, 1984), además se sabe también que el calcio desempeña un papel regulatorio del metabolismo (Kay y Higgs, 2002).

Las condiciones de almacenamiento fueron un poco más consistentes en su efecto sobre los frutos, debido a que los frutos almacenados por 3 semanas a 5 °C presentaron menor salida de electrolitos que los de la condición 5 semanas a 5 °C, esto pudo haberse debido a que el calcio también desempeña un papel importante en la transducción de señales bajo ambiente de estrés y la estabilización celular de la estructura de la membrana (Gao *et al.*, 2004), ya que la baja temperatura induce alteraciones en la composición física del contenido de lípidos de la membrana plasmática, incrementando la proporción de fosfolípidos y la permeabilidad de la membrana (Shen y Yan, 2002).

La significancia de la interacción concentraciones x almacenamiento señala una participación conjunta tanto de las concentraciones como de las dos condiciones de almacenamiento sobre la permeabilidad de la membrana en pulpa durante la tercera fecha de evaluación (día cinco) (Cuadro 14).

Actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO)

El análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la actividad enzimática de la PPO en la pulpa de los frutos, señaló diferencias para la primera y tercera fecha de evaluación (días uno y cinco), en las cuales se pudo observarse que la actividad enzimática fue más intensa en los frutos del tratamiento testigo, con respecto a los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0.3 y 0.5 %) (Cuadro 17).

Cuadro 17. Actividad de la polifenoloxidasas ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ en tres condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%)				
(C)				
	0.0	238.95 a ^z	171.43 a	180.26 a
	0.3	156.91 b	195.66 a	132.99 b
	0.5	163.11 b	167.60 a	146.47 ab
	DMSH	73.40	55.50	44.20
Almacenamiento (A)				
	Ambiente	200.62 a	163.93 a	112.42 b
	3 semanas 5 °C	142.85 a	207.95 a	169.46 a
	5 semanas 5 °C	215.50 a	162.80 a	177.83 a
	DMSH	73.40	55.50	44.20
	CV	48.78	38.51	35.67
	C x A	0.143 ^{ns}	0.082 ^{ns}	0.682 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

El efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la actividad de la PPO señaló diferencias durante la última fecha de evaluación (día cinco), en donde se observó que los frutos almacenados en la condición ambiente presentaron la menor actividad enzimática, con respecto a los frutos almacenados por 5 semanas a 5 °C. Además, no se observaron diferencias en la interacción concentración x almacenamiento (Cuadro 17).

Durante el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de nitrato de calcio sobre la actividad enzimática, donde no se encontraron diferencias (Cuadro 18).

No se encontraron diferencias durante el análisis de valores de los dos años, del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la actividad enzimática de los frutos. Sin embargo, mediante el análisis del efecto de los años sobre la actividad de la PPO, se encontraron diferencias, en donde se observó que los frutos del segundo año tuvieron mayor actividad

enzimática y fueron diferentes de los del primero. Además, la interacción concentración x años resultó ser no significativa primero (Cuadro 19).

Cuadro 18. Actividad de la polifenoloxidasas ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
0.0	76.07 a ^z	83.32 a	93.18 a	68.82 a
0.3	79.60 a	98.20 a	80.53 a	96.16 a
0.5	91.88 a	89.28 a	115.69 a	109.92 a
DMSH	66.60	65.50	47.30	64.80
CV	47.86	42.98	29.05	41.92

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Cuadro 19. Actividad de la polifenoloxidasas ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco) en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer y segundo año de evaluación.

Factor nivel	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)				
0.0	141.63 a ^z	125.45 a	141.45 a	109.92 a
0.3	138.75 a	140.89 a	121.45 a	102.76 a
0.5	141.17 a	119.59 a	154.28 a	133.26 a
DMSH	69.50	48.00	36.90	43.60
Años (A)				
Año 2004	198.52 a	167.02 a	181.66 a	139.00 a
Año 2005	82.52 b	90.27 b	96.47 b	91.63 b
DMSH	46.90	32.40	24.90	29.40
CV	44.28	33.40	23.78	33.81
C x A	0.841 ^{ns}	0.770 ^{ns}	0.794 ^{ns}	0.163 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por años de evaluación.

Desde hace tiempo se sabe que el ión calcio se encuentra relacionado con muchos procesos fisiológicos fundamentales de las plantas, tales como paredes celulares, membranas, cromosomas y activación enzimática, entre otros (Tingwa y Young, 1974); el manchado de la pulpa es un desorden fisiológico causado por la enzima polifenoloxidasas, el cual disminuye considerablemente la calidad postcosecha del fruto (Bower *et al.*, 2000). Sin embargo, durante la investigación se observó que las concentraciones de calcio tuvieron efecto sobre la actividad de la polifenoloxidasas, disminuyendo su actividad, lo cual coincide con lo señalado por Rensburg y Engelbrecht (1985) quienes aplicaron soluciones con calcio en frutos de aguacate ‘Fuerte’ en postcosecha y encontraron que los tratamientos que incluían calcio suprimieron la oxidación de fenoles producida por la actividad de la polifenoloxidasas; de igual manera, coinciden con lo señalado por Saucedo-Hernández *et al.*, (2005) quienes asperjaron frutos de aguacate ‘Fuerte’ en precosecha con soluciones de calcio y encontraron una menor actividad de polifenoloxidasas en aquellos asperjados con calcio.

Respecto al efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la actividad enzimática, se observó que los resultados coinciden con lo establecido por Truter *et al.*, (1991) quienes almacenaron frutos de aguacate ‘Fuerte’ a 5.5 °C y observaron que la actividad enzimática de los frutos en refrigeración se incrementó drásticamente después de colocarlos a madurar a temperatura ambiente, mientras que la actividad de los no refrigerados fue significativamente menor. La falta de significancia estadística en la interacción concentración x almacenamiento señala un efecto totalmente separado de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas en precosecha, y de las condiciones de almacenamiento sobre la actividad enzimática.

La comparación de los frutos evaluados en los diferentes años, indicó que la menor actividad enzimática se presentó en los frutos del segundo año, lo cual pudo haberse debido a la variación en los contenidos de calcio del fruto, producto de las aspersiones realizadas durante el

primer año, ya que el calcio mantiene una separación entre la enzima polifenoloxidasa y el sustrato fenólico (Bower y Cutting, 1988).

Oscurecimiento enzimático y compuestos fenólicos de la pulpa

El efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el oscurecimiento enzimático de los frutos, durante el primer año y segundo año, indicó que no se encontraron diferencias (Cuadros 20 y 21). La evaluación del efecto de las condiciones de almacenamiento sobre el oscurecimiento enzimático de los frutos, indicó que no se encontraron diferencias entre las dos condiciones evaluadas para esta variable. También no se observó significancia estadística en la interacción concentración x almacenamiento, en la evaluación del primer año (Cuadro 20).

Cuadro 20. Oscurecimiento enzimático en frutos de aguacate ‘Fuerte’ sometidos a dos condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$				
(%) (C)				
	0.0	4.50 a ^z	4.00 a	3.5 a
	0.3	3.16 a	3.5 a	2.83 a
	0.5	4.16 a	4.33 a	4.5 a
	DMSH	2.1477	1.5402	1.7785
Almacenamiento (A)				
	3 semanas 5 °C	3.77 a	3.44 a	3.77 a
	5 semanas 5 °C	4.11 a	4.44 a	3.44 a
	DMSH	1.4322	1.0271	1.186
	CV	35.35	25.35	31.97
	C x A	0.290 ^{ns}	0.848 ^{ns}	0.618 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Cuadro 21. Oscurecimiento enzimático en frutos de aguacate ‘Fuerte’, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
0.0	3.6 a ^z	3.6 a	5.4 a	4.0 a
0.3	3.4 a	3.4 a	4.2 a	3.2 a
0.5	3.8 a	3.6 a	3.8 a	3.4 a
DMSH	1.7696	1.9237	1.8738	1.1931
CV	29.13	32.26	24.86	20.01

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

El potencial de oscurecimiento enzimático depende de la suma total de valores tanto de los compuestos fenólicos como de la actividad de la polifenoloxidasas; de tal forma que el potencial de oscurecimiento se considera bajo si la suma de ambos es menor de dos, moderado si es de dos a cuatro, alto si se ubica de cinco a siete y muy alto si excede de siete (Kader y Chordas, 1984). En general en los frutos de aguacate analizados se observó un potencial de oscurecimiento moderado, el cual no fue afectado por las concentraciones de Ca(NO₃)₂; situación que fue contraria con lo señalado por Rensburg y Engelbrecht (1985), quienes encontraron que los tratamientos con calcio aplicados a los frutos de aguacate ‘Fuerte’ en postcosecha, suprimieron la oxidación de fenoles y también redujo el contenido total fenólico; dado que, el oscurecimiento enzimático es una función tanto de la acción de la polifenoloxidasas como de la concentración de los componentes fenólicos presentes en el fruto (Coseteng y Lee, 1987).

El efecto de las condiciones de almacenamiento sobre el oscurecimiento enzimático, permitieron observar que los frutos de las dos condiciones de almacenamiento evaluadas en esta variable, presentaron valores idénticos, dado que no fue posible compararlos con los de los frutos almacenados al ambiente; sin embargo, los resultados concuerdan con lo establecido por Truter

et al., (1991) quienes almacenaron frutos de aguacate ‘Fuerte’ a 5.5 °C y observaron que la actividad enzimática de los frutos en refrigeración se incrementó drásticamente después de colocarlos a madurar a temperatura ambiente; ya que es sabido que el oscurecimiento enzimático es el resultado de la oxidación de componentes fenólicos por la enzima polifenoloxidasasa (Hansche y Boynton, 1986).

Daños por frío

El análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la manifestación de daño por frío en la pulpa de los frutos de aguacate durante el primer año, señaló diferencias para las tres fechas de evaluación realizadas (días uno, tres y cinco), en las cuales se observó que los valores más bajos de absorbancia los presentaron los frutos sin tratar (testigo), seguidos de los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Respecto al efecto de las dos condiciones de almacenamiento evaluadas sobre el daño por frío en la pulpa de los frutos, se observó que no se registraron diferencias durante las diferentes fechas de evaluación. Además, no fue significativa la interacción concentración x almacenamiento (Cuadro 22).

Durante el segundo año sólo fue posible evaluar el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el daño por frío de los frutos, en donde se encontraron diferencias para la segunda fecha de evaluación (día tres), en la cual se observó que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ expresaron el valor más bajo de absorbancia, con respecto a los frutos sin tratar (testigo) (Cuadro 23).

Cuadro 22. Daño por frío (absorbancia a 340 nm) en frutos de aguacate ‘Fuerte’ sometidos a dos condiciones de almacenamiento, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Factor	nivel	Día 1	Día 3	Día 5
Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)				
	0.0	0.18 b ^z	0.98 b	0.79 b
	0.3	0.52 a	1.49 a	1.23 ab
	0.5	0.75 a	1.31 ab	1.46 a
	DMSH	0.3143	0.504	0.5706
Almacenamiento (A)				
	3 semanas 5 °C	0.484 a	1.26 a	1.16 a
	5 semanas 5 °C	0.484 a	1.26 a	1.16 a
	DMSH	0.2096	0.3361	0.3805
	CV	42.12	25.89	31.78
	C x A	1.00 ^{ns}	1.00 ^{ns}	1.00 ^{ns}

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 %, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). C x A: Interacción concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por almacenamiento.

Cuadro 23. Daño por frío (absorbancia a 340 nm) en frutos de aguacate ‘Fuerte’, almacenados al ambiente, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (%) (C)	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
0.0	0.75 a ^z	1.03 a	0.54 a	0.91 a
0.3	0.40 a	0.29 b	0.33 a	0.98 a
0.5	0.50 a	0.23 b	0.17 a	0.66 a
DMSH	0.5827	0.7056	0.5216	0.6851
CV	62.04	80.21	88.15	47.58

^z Valores con la misma letra dentro de columnas y dentro de cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

La principal limitante para el almacenamiento del aguacate a bajas temperaturas es el desarrollo de daños por frío (Wolf *et al.*, 2003), por lo que diversos trabajos de investigación en el tema han concluido que los bajos niveles de calcio en el fruto, se encuentran asociados con la susceptibilidad del aguacate a los daños por frío (Vorster *et al.*, 1989). A pesar de ello, los

resultados indicaron que las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas al follaje no tuvieron efecto sobre el daño por frío en los frutos de aguacate ‘Fuerte’ evaluados en el primer año, aún y cuando se ha señalado que desórdenes como el daño por frío se reducen considerablemente en frutos con alto contenido de calcio (Shear, 1975). Sin embargo, en el segundo año, las concentraciones señalaron que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron los valores más bajos de absorbancia, aunque, cabe señalar que estos frutos no fueron almacenados en refrigeración; no obstante, la metodología aplicada para la determinación de daño por frío señaló que los frutos sin calcio (testigo) presentaron elevados valores de absorbancia; al respecto Witney *et al.*, (1990) señalan que los bajos niveles de calcio en el fruto de aguacate se han asociado con varias características indeseables del fruto, como el daño por frío. Estos resultados concuerdan parcialmente con lo señalado por Saucedo-Hernández *et al.*, (2005) quienes encontraron diferencias en los daños por frío en frutos de aguacate ‘Fuerte’ por efecto de la aplicación de concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, siendo 0.5 % la concentración que menor valor de absorbancia tuvo.

Respecto al efecto de las condiciones de almacenamiento, se observó que los frutos almacenados a 3 y 5 semanas tuvieron valores similares, y no fue posible compararlos con frutos sin refrigerar, ya que como se ha señalado, el calcio desempeña una función importante en la susceptibilidad a daños por frío en aguacate almacenado a bajas temperaturas (Chaplin y Scot, 1980). Estos resultados concuerdan con lo establecido por Cajuste *et al.* (1994) quienes encontraron que el almacenamiento del fruto de aguacate ‘Hass’ por un periodo de cuatro y seis semanas condujo a un marcado incremento en los daños por frío a la temperatura de 5 °C.

El hecho de no haber encontrado significancia en la interacción concentraciones x almacenamiento, señala un efecto separado de las concentraciones aplicadas de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y de las condiciones de almacenamiento, sobre la manifestación de los daños por frío.

Producción de etileno

Durante el primer año se observó que tanto los frutos con o sin $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron incremento en la producción de etileno, alcanzando su máximo los frutos de todas las concentraciones el cuarto día de evaluación, siendo 111.0, 104.76 y 74.34 $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para 0.0 % (testigo), 0.5 % y 0.3 %, respectivamente (Figura 1).

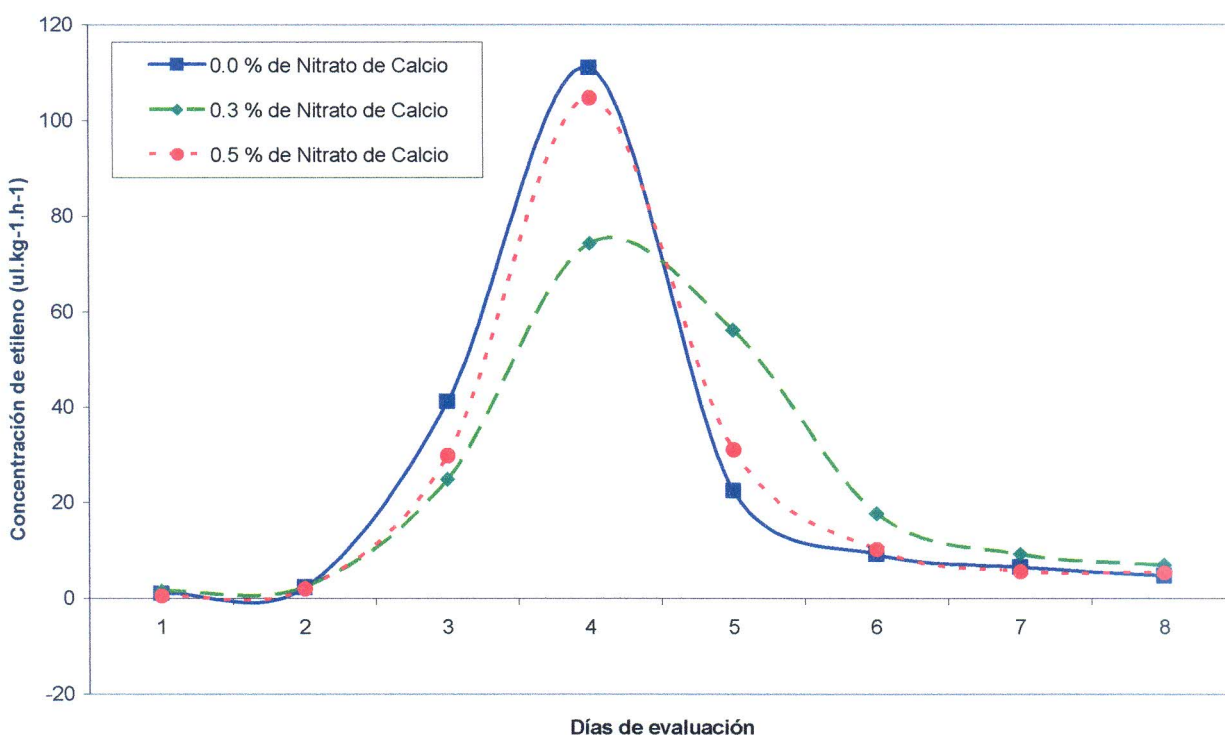


Figura 1. Producción de etileno en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados al ambiente (22 °C), por efecto de la aspersión de nitrato de calcio al follaje durante el primer año de evaluación.

Para el segundo año, también se presentó la misma tendencia hacia el incremento en la tasa de producción de etileno en todos los frutos evaluados, observándose un máximo de 96.36 $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ en el quinto día para la concentración de 0.5 %, 76.14 $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ el cuarto día para la concentración de 0.0 % (testigo), y finalmente de 62.99 $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para la concentración de 0.3 % en el mismo cuarto día de evaluación (Figura 2).

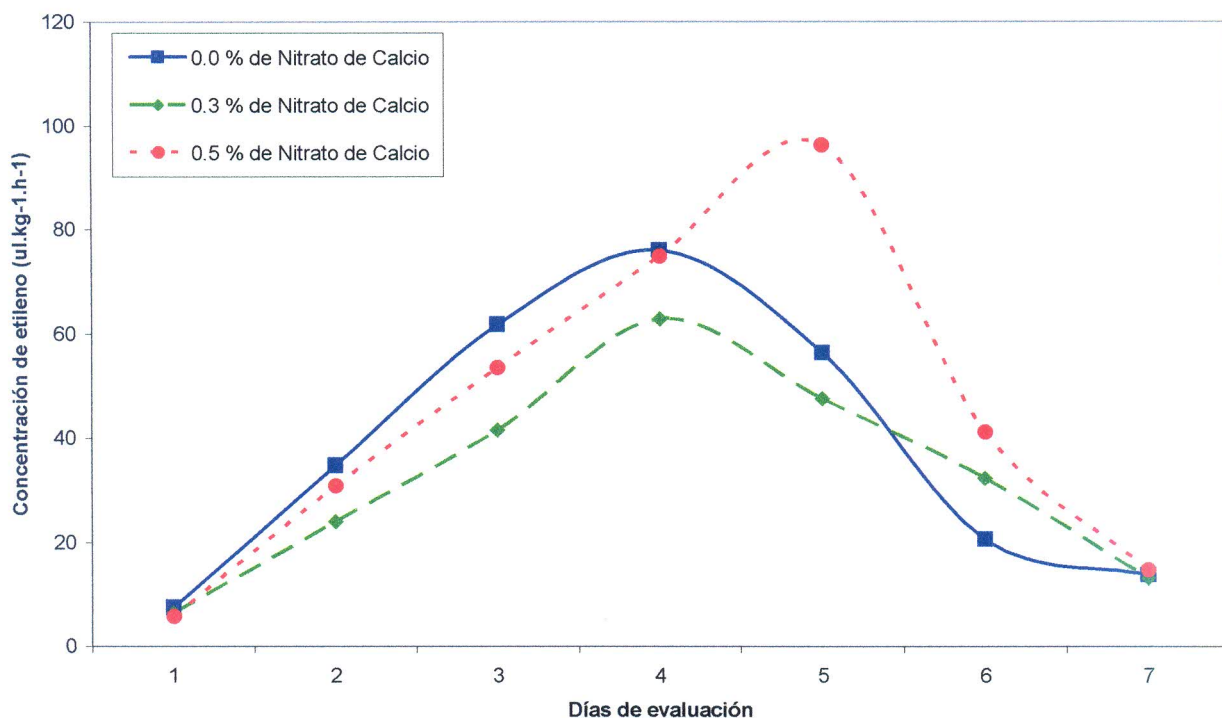


Figura 2. Producción de etileno en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados al ambiente (22 °C) por efecto de la aspersión de nitrato de calcio al follaje durante el segundo año de evaluación.

La fisiología de las plantas es influenciada profundamente por el nivel de calcio durante su crecimiento y desarrollo; además, se sabe que el incremento en el contenido de calcio del fruto reduce la velocidad de producción de etileno (Eaks, 1985); esto no fue reflejado de manera clara en los resultados encontrados para el cultivar Fuerte, aún y cuando los frutos sin tratar (testigo) tuvieron mayor tasa de producción de etileno durante el primer año, pero sin ser diferentes de los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. En el segundo año de evaluación los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ retrazaron un día más con respecto a los frutos testigo y de los que tenían calcio en concentración de 0.3 %, aunque con mayor producción de etileno; donde pudo evidenciarse que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ debido al efecto del calcio, retardó sólo un día la máxima producción de etileno en los frutos; debido a que como lo

menciona Marcelle (1995), el calcio retrasa la producción de etileno retardando ligeramente la elevación del climaterio y disminuyendo el máximo climaterio.

Aún y cuando el climaterio fue retrazado en los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, este se alcanzó el cuarto y quinto día, para el primer y segundo año, respectivamente; en tanto que la maduración de los frutos a 22 °C se logró a los 4.0 y 5.0 días, respectivamente; es decir al mismo tiempo en que se alcanzó el máximo climaterio durante los dos años de evaluación. Los frutos testigo lograron su máximo climaterio el día cuatro y su maduración el día 4.5, existiendo una diferencia de 0.5 días entre el máximo climaterio y la maduración del fruto, durante el primer año; en tanto que para los frutos del segundo, el máximo climaterio se logró el día cuatro y su maduración respectiva el día 5.0, esto fue 1.0 días después de haber logrado su máximo climaterio. En estos resultados pudo apreciarse que de las concentraciones empleadas que contenían calcio, 0.3 % fue la que menor tasa de producción de etileno presentó en los frutos de los dos años de evaluación, aunque los frutos tratados con 0.5 % $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron el máximo climaterio un día después que los frutos de las dos concentraciones restantes durante el segundo año.

Respecto a la maduración, los frutos tratado con las dos concentraciones de calcio, maduraron 0.5 días después que los frutos testigo, en su condición ambiente durante el primer año, ya que como lo menciona Kadir (2004), el calcio regula la maduración del fruto y prolonga la vida postcosecha, además de que la maduración lenta del fruto se manifiesta en una baja velocidad de respiración y reducida producción de etileno. También, el etileno es una hormona reguladora de la maduración del fruto, que es responsable de una gran variedad de procesos entre los cuales se incluye el aumento de la respiración, la producción de etileno autocatalítico, cambios en color, textura, aroma y sabor (Oetiker y Yang, 1995). Por otra parte, el aguacate es un fruto climatérico caracterizado por una producción súbita de etileno, el cual se asocia con la maduración acelerada del fruto (Jeong *et al.*, 2003).

Producción de CO₂

El análisis del efecto de las concentraciones de Ca(NO₃)₂, sobre la producción de CO₂ en el primer año, señaló que no se encontraron diferencias; observándose además que en el cuarto día se presentó la máxima producción de CO₂ de los frutos por efecto de las concentraciones, donde los frutos testigo tuvieron el máximo valor con 56.92 mg·kg⁻¹·h⁻¹, seguido de los frutos tratados con 0.5 % de Ca(NO₃)₂ con 54.1 mg·kg⁻¹·h⁻¹ y finalmente de los que recibieron 0.3 % de Ca(NO₃)₂ con 46.56 mg·kg⁻¹·h⁻¹ (Figura 3).

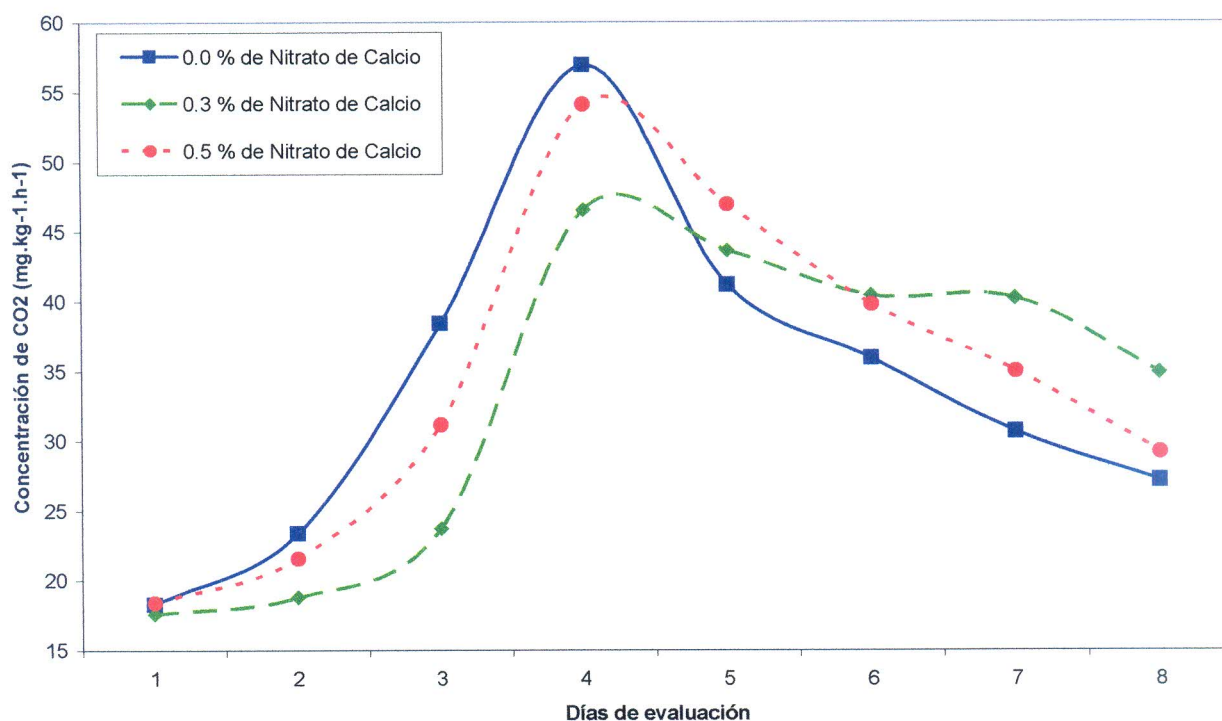


Figura 3. Producción de CO₂ en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados al ambiente (22 °C), por efecto de la aspersión de nitrato de calcio al follaje durante el primer año de evaluación.

Para el segundo año de evaluación, el efecto de las concentraciones de Ca(NO₃)₂ sobre la respiración de los frutos, indicó que se encontraron diferencias sólo para el primer día de evaluación, donde se observó que la menor cantidad de CO₂ emitido fue para los frutos sin tratar (testigo); sin embargo, la mayor producción de CO₂ de los frutos tuvo lugar durante el quinto día

de evaluación, observándose que los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron el mayor valor con $76.98 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, seguido de los frutos testigo con $75.25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, y finalmente de los que recibieron 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ con $68.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Figura 4).

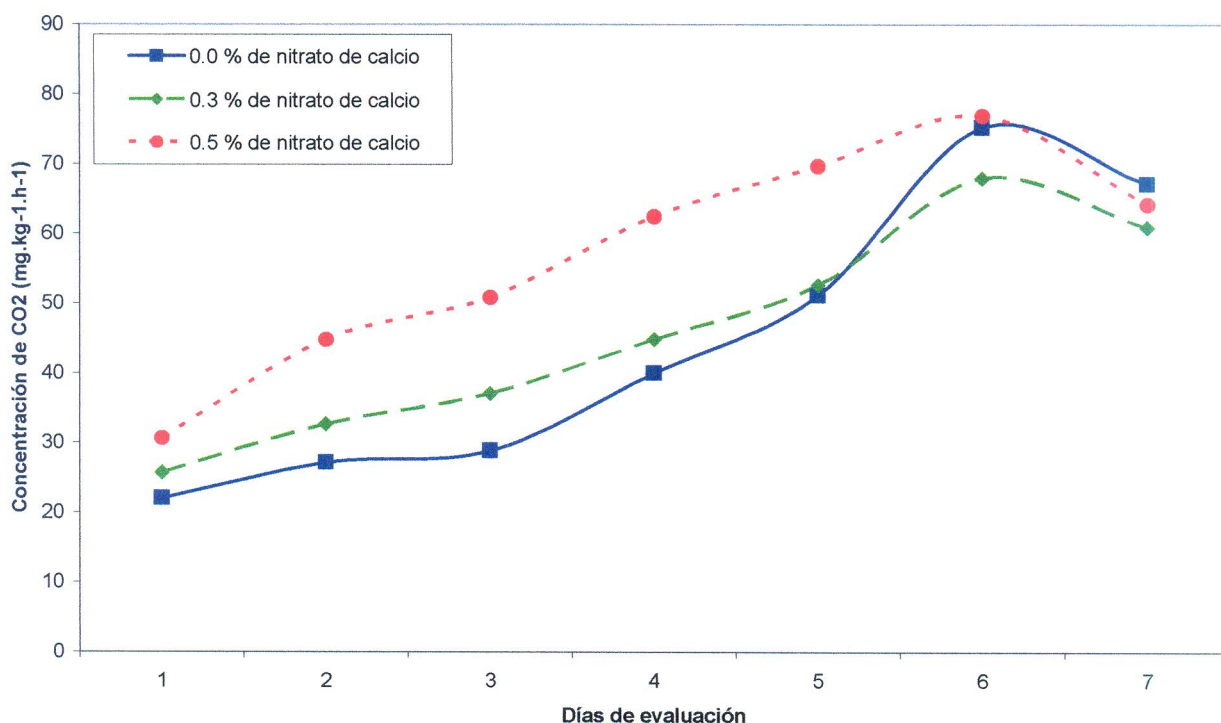


Figura 4. Producción de CO₂ en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados al ambiente (22 °C), por efecto de la aplicación de nitrato de calcio al follaje durante el segundo año de evaluación.

Después de la cosecha, los frutos respiran componentes (carbohidratos y lípidos) derivados de la asimilación de nutrientes durante el crecimiento del fruto sobre la planta, esta respiración, proporciona la energía necesaria para mantener los procesos fisiológicos del fruto, de tal manera que un incremento de la actividad respiratoria puede reducir la calidad del fruto (Blanke, 1995); por otra parte, el calcio regula la maduración del fruto manifestada como una baja velocidad de respiración (Kadir, 2004). No obstante, los resultados manifiestan que las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no tuvieron efecto sobre la respiración del fruto durante los dos años de evaluación, dado que el climaterio se presentó durante el cuarto y quinto día en los frutos

de las tres concentraciones evaluadas, en el primer y segundo año respectivamente, en tanto que los días a maduración fueron de 5.0 para los frutos tratados con calcio (0.3 y 0.5 %, respectivamente) durante el primer año y de 5.0 días en todas las concentraciones evaluadas durante el segundo año; esto representa un días después de haber alcanzado el climaterio y de la máxima producción de etileno en los frutos evaluados durante el primer año, y al mismo tiempo de haberse presentado el climaterio y el pico máximo de producción de etileno, durante el segundo año. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Lallum *et al.*, (2004) quienes establecieron que el incremento de la respiración se encuentra asociado con el pico de producción de etileno y que el incremento de los picos tanto del etileno como de la respiración juntos son referidos al llamado climaterio de los frutos.

Análogamente también no concuerdan con lo señalado por Eaks (1985) quien mencionó que los incrementos de calcio en el fruto reducen la velocidad de respiración y la producción de etileno, debido a que las concentraciones tuvieron el incremento respiratorio durante el mismo día durante los dos años de evaluación. Por otra parte, Awad y Young (1979) mencionaron que existe una relación estrecha entre el aumento de la respiración, la producción de etileno, y el incremento de las enzimas depolimerizadoras de la pared celular y su efecto final en la maduración del fruto; de igual manera Hertog *et al.*, (2002) encontraron una estrecha relación cuantitativa entre la respiración del fruto de aguacate ‘Hass’ y la pérdida de peso, cambio de color, y el ablandamiento del fruto, entre otros.

Desórdenes fisiológicos

Durante el primer año, el análisis del efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la presencia de desórdenes fisiológicos, indicó que no se encontraron diferencias para los frutos almacenados 3 y 5 semanas a 5 °C (Cuadros 24 y 25).

Cuadro 24. Desórdenes fisiológicos en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados a 5 °C por 3 semanas, por efecto de aspersiones foliares de nitrato calcio, durante el primer año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	Decoloración de la cáscara			Daño de nódulos			Pudriciones externas		
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
0.0	1.0 a ^z	2.3 a	2.5 a	1.0 a	2.3 a	2.5 a	0.0 a	0.66 a	0.33 a
0.3	1.3 a	2.0 a	3.0 a	1.3 a	2.0 a	3.0 a	0.16 a	0.00 a	0.00 a
0.5	0.5 a	1.8 a	3.0 a	0.5 a	1.8 a	3.0 a	0.16 a	0.00 a	0.16 a
DMSH	1.819	1.384	0.723	1.819	1.384	0.723	0.590	0.835	0.590
CV	76.92	26.89	10.18	76.92	26.89	10.18	212.1	150.0	141.4
Pudriciones de cuello							Pardeamiento vascular		
	Día 1	Día 2	Día 3				Día 1	Día 2	
0.0	0.16 a	0.50 a	0.50 a				0.50 a	0.50 a	
0.3	0.0 a	0.16 a	1.00 a				0.16 a	1.00 a	
0.5	0.0 a	0.16 a	0.50 a				0.33 a	0.50 a	
DMSH	0.417	0.590	0.723				0.933	0.723	
CV	300.0	84.85	43.30				111.8	43.30	

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

Sin embargo, durante el segundo año de evaluación, los frutos analizados sólo se almacenaron al ambiente, en donde el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ señaló diferencias para las variables color de la cáscara, y para ennegrecimiento exterior de la pulpa; observándose que para el color de la cáscara, los frutos tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ presentaron el valor más bajo, aunque con un comportamiento similar a los frutos testigo. En lo que respecta al oscurecimiento exterior de la pulpa, el máximo valor lo presentaron los frutos tratados con 0.5 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, seguidos de los que recibieron 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y finalmente de los frutos testigo (Cuadro 26).

Cuadro 25. Desórdenes fisiológicos en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados a 5 °C por 5 semanas, por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el primer año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	Decoloración de la cáscara		Daño de nódulos		Pudriciones externas	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
0.0	1.00 a ^z	2.33 a	1.00 a	2.33 a	0.00 a	0.66 a
0.3	1.33 a	2.00 a	1.33 a	2.00 a	0.16 a	0.00 a
0.5	0.50 a	1.83 a	0.50 a	1.83 a	0.16 a	0.00 a
DMSH	1.8199	1.3848	1.8199	1.3848	0.5905	0.835
C.V.	76.92	26.89	76.92	26.89	212.13	150.0
	Pudriciones de cuello		Pardeamiento vascular			
	Día 1	Día 2	Día 1		Día 2	
0.0	0.16 a	0.50 a	0.00 a		0.50 a	
0.3	0.00 a	0.16 a	0.00 a		0.16 a	
0.5	0.00 a	0.16 a	0.00 a		0.33 a	
DMSH	0.4175	0.5905	0.00		0.9336	
C.V.	300.0	84.85	-		111.80	

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%).

El efecto de las concentraciones de Ca(NO₃)₂ aplicadas a los frutos de aguacate Fuerte no fue determinante sobre la manifestación de los resultados en las variables evaluadas, aún y cuando se ha establecido que cada sistema biológico tiene su intervalo óptimo de temperaturas para el crecimiento, desarrollo y almacenamiento propio, las cuales si son significativamente incrementadas o reducidas pueden generar desórdenes fisiológicos, los cuales ocasionan daños a las células (Lee y Young, 1984); las bajas temperaturas es la causa de la perturbación de la membrana celular e induce cambios en el nivel de calcio del citosol que precede a la respuesta fisiológica, donde la membrana celular es la principal parte dañada durante el estrés por baja temperatura (Gao *et al.*, 2004).

Cuadro 26. Desórdenes fisiológicos en frutos de aguacate ‘Fuerte’ almacenados al Ambiente (22 °C), por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio, durante el segundo año de evaluación.

Concentración de Ca(NO ₃) ₂ (%) (C)	SC	SD	ND	ER	VB	BR	DFD
0.0	2.4 ab ^z	1.5 a	2.10 a	0.90 a	0.20 a	1.00 a	0.05 a
0.3	2.05 b	0.70 a	1.95 a	1.15 a	0.40 a	0.60 a	0.00 a
0.5	2.85 a	1.50 a	1.95 a	1.70 a	0.55 a	1.15 a	0.00 a
DMSH	0.7738	1.441	0.9975	1.0568	0.4386	1.1867	0.1012
CV	28.68	105.37	48.19	76.24	103.19	116.75	547.72
	DFD1	OFB	TB	FAS			
0.0	0.00 a	0.00 b	1.00 a	1.20 a			
0.3	0.00 a	0.00 b	0.50 a	0.30 a			
0.5	0.20 a	0.90 a	0.90 a	1.10 a			
DMSH	0.4049	0.7045	1.0964	1.2184			
CV	547.72	211.79	123.60	126.78			

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

^{ns}, *, no significativo y significativo al 5 % de probabilidad, respectivamente. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación (%). SC: color de cáscara; SD: decoloración de la cáscara; ND: daño de nódulos; ER: pudriciones externas; SR: pudriciones de cuello; VB: pardeamiento vascular; BR: pudriciones de pulpa; DFD: decoloración discreta de la pulpa; DFD1: decoloración difusa de la pulpa; OFB: ennegrecimiento exterior de la pulpa; TB: decaimiento de la pulpa; FAS: adherencia de la pulpa a la cáscara.

Por otra parte, la proliferación de desórdenes como la mancha amarga en manzana se iniciar con la reducción de la concentración extracelular del calcio a niveles críticos, seguido por la disfunción y rompimiento de la célula (Ferguson *et al.*, 1995). De acuerdo con Buccheri y Di Vaio (2004) la deficiencia de calcio en el fruto de manzana se ha visto directamente ligada con la incidencia de diferentes desórdenes durante el almacenamiento; también se ha señalado que los frutos con bajo contenido de calcio son sensibles a muchos desórdenes fisiológicos y patológicos y tienen una limitada vida de anaquel (Wójcik y Lewandowski, 2003).

Estos resultados no concuerdan con lo señalado por Cajuste *et al.*, (1994) quienes encontraron que los frutos de aguacate ‘Hass’ almacenados por 4 y 6 semanas a 5 °C presentaron la mayor cantidad de daños por frío. De igual manera no concuerdan con lo mencionado por Lee y Young (1984), quienes observaron que los frutos de aguacate almacenados más de 20 días a 6

°C desarrollaron desórdenes fisiológicos como la decoloración gris de los tejidos del mesocarpio; aunque cabe mencionar que los frutos de la segunda evaluación no se almacenaron en frío.

Prueba organoléptica

Durante el primer año no fue posible evaluar esta variable, sino hasta el segundo año de evaluación, donde el efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ indicó que no se encontraron diferencias en los frutos almacenados al ambiente, que fue la única condición ambiental evaluada.

La calidad de los frutos de aguacate maduros y asperjados con calcio en precosecha, se determinó mediante una prueba organoléptica donde participaron 35 catadores, la cual se realizó con el apoyo de una escala preestablecida compuesta de cinco valores: 1 = malo, 2 = regular, 3 = bueno, 4 = muy bueno, y 5 = excelente; con la finalidad de observar posibles diferencias en las preferencias de los catadores sobre una determinada concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, debido a que se sabe que la maduración de los frutos involucra una serie de complejos eventos bioquímicos durante los cuales los tejidos experimentan cambios programados en textura, aroma, coloración, sabor y firmeza (Chernys y Zeevaart, 2000).

Los resultados indicaron que los catadores no encontraron diferencias entre consumir frutos tratados con calcio (0.3 y 0.5 %) y los que no recibieron calcio (testigo) durante las aspersiones en precosecha, no teniendo preferencia hacia alguno de los frutos evaluados en esta investigación, lo que nos permite inferir que en caso de ser necesaria por la relación con alguna de las variables fisiológicas, podría ser aplicado eventualmente sin que el consumidor pueda notar la diferencia entre consumir un fruto tratado con calcio (0.3 y 0.5 %) y aquel que no lo está (testigo), con la ventaja adicional de que el calcio regula la maduración del fruto, controla la acción de las enzimas, afecta la velocidad respiratoria y la producción de etileno (Dris y

Niskanen, 1997), en otras palabras el calcio altera procesos celulares asociados con senescencia (Tomala, 1997).

Estos resultados no concuerdan con lo señalado por Cajuste *et al.*, (1994) quienes evaluaron algunos parámetros organolépticos en aguacate Hass almacenado al ambiente y en refrigeración a 5 °C, encontrando que los óptimos resultados de las pruebas organolépticas correspondieron a los frutos testigo (almacenados al ambiente).

CONCLUSIONES

Los frutos de aguacate ‘Hass’ tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y almacenados tanto al ambiente como en refrigeración:

1. Disminuyeron el porcentaje de pérdida de peso del fruto en la cosecha del año de aplicación de tratamientos.
2. Presentaron mayor firmeza en el año de aplicación de tratamientos.
3. Incrementaron los días a maduración en el año de aplicación de tratamientos.
4. Favorecieron la brillantez, intensidad y coloración verde de la cáscara, en el año de aplicación de tratamientos.
5. Presentaron la menor salida de electrolitos, en el año de aplicación de tratamientos.
6. Generaron la menor actividad de la enzima polifenoloxidasas, en el año de aplicación de tratamientos, incrementando la vida de anaquel de los frutos.
7. Presentaron una calidad organoléptica muy parecida a la del testigo.
8. Ambiente fue la condición que presentó menor pérdida de peso, permeabilidad de membrana, actividad de la enzima polifenoloxidasas, potencial de oscurecimiento y compuestos fenólicos y daños por frío; además, mayor firmeza y días a maduración; seguida de 3 y 5 semanas, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Alcaraz-Lopez, C.; Botía, M.; Alcaraz F., C.; Riquelme, F. 2004. Effects of calcium-containing foliar sprays combined with titanium and algae extract on plum fruit quality. *Journal of Plant Nutrition* 27(4): 713-729
- Anderson, L. J.; Campbell, F. W. 1995. Calcium transport and ATP-ase activity in microsomal vesicle fraction from 'Montgorency' sour cherry fruit. *Acta Horticulturae* 398:47-57
- Ávila-Quezada, G. D.; Téliz-Ortíz, D.; Vaquera-Huerta, H.; González-Hernández, H.; Johansen-Naime, R. 2005. Progreso temporal del daño por trips (Insecta: Thysanoptera) en aguacate (*Persea americana* Mill.). *Agrociencia* 39(4):441-447
- Awad, M.; Young, E. R. 1979. Postharvest variation in cellulase, polygalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology* 64: 306-308
- Blanke, M. M. 1995. Regulation of respiration in apple, avocado and citrus orange fruit. *Acta Horticulturae* 398: 139-146
- Bower, J. P.; Cutting, J. G. M. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. *Horticultural Reviews* 10: 229-271
- Bower, J. P.; Van Rooyen, Z.; Allwood, G. A. 2000. Progress in identifying the primary causes of mesocarp discoloration in cv Pinkerton. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 23: 15-20
- Buccheri, M.; Di Vaio, C. 2004. Relationship among seed number, quality, and calcium content in apple fruits. *Journal of Plant Nutrition* 27(10): 1735-1746
- Cajuste B., J. F.; Saucedo V., C.; Chávez F., S. 1994. Efecto de la época de corte en la calidad y resistencia a daño por frío de aguacate cv. Hass. *Revista Fitotecnia Mexicana* 17: 164-174
- Chaplin, R. G.; Scot, J. K. 1980. Association of calcium in chilling injury susceptibility of stored

- avocados. *HortScience* 15(4): 514-515
- Chaplin, R. G.; Wills, H. R. B.; Graham, D. 1982. Objective measurement of chilling injury in the mesocarp of stored avocados. *HortScience* 17(2): 238-239
- Chernys, T. J.; Zeevaart, D. J. A. 2000. Characterization of the 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase gene family and the regulation of abscisic acid biosynthesis in avocado. *Plant Physiology* 124: 343-353
- Coseteng, Y. M.; Lee, Y. C. 1987. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *Journal of Food Science* 52(4): 985-989
- Cox, A. K.; McGhie, K. T.; White, A.; Wolf, B. A. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 31: 287-294
- Dallman, F. T.; Eaks, L. I.; Thomson, W. W.; Nothnagel, A. E. 1988. Postharvest density changes in membranes from ripening avocado fruits. *Journal of American Society for Horticultural Science* 113(5): 729-733
- Dilmaghani, M. R.; Malakouti, M. J.; Neilsen, G. H.; Fallahi, E. 2004. Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Irán. *Journal of Plant Nutrition* 27(7): 1149-1162
- Dixon, J.; Pak, A. H.; Smith, B. D.; Elmsly, A. T.; Cutting, M. J. G. 2003. New Zealand avocado fruit quality: the impact of storage temperature and maturity. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report* 3: 48-53
- Dris, R.; Niskanen, R. 1997. Effect of calcium on the storage quality of apples grown in Finland. *Acta Horticulturae* 448: 323-327
- Eaks, L. I. 1980. Respiratory rate, ethylene production, and ripening response of avocado fruit to ethylene or propylene following harvest at different maturities. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*

105(5): 744-747

- Eaks, L. I. 1985. Effect of calcium on ripening, respiratory rate, ethylene production, and quality of avocado fruit. *Journal of American Society for Horticultural Science* 110(2): 145-148
- Fallahi, E.; Conway, S. W.; Hickey, D. K.; Sams, E. C. 1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *HortScience* 32(5): 831-835
- Ferguson, B. I. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant, Cell and Environment* 7:477-489
- Ferguson, B. I.; Drøbak, K. B. 1988. Calcium and the regulation of plant growth and senescence. *HortScience* 23(2): 262-266
- Ferguson, B. I.; Volz, K. R.; Harker, R. F.; Watkins, B. C.; Brookfield, L. P. 1995. Regulation of postharvest fruit physiology by calcium. *Acta Horticulturae* 398: 23-30
- Gao, H.; Chen, G.; Han, L.; Lin, H. 2004. Calcium influence on chilling resistance of grafting eggplant seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 27(8): 1327-1339
- Hertog, M. L. A. T. M.; Nicholson, E. S.; Whitmore, K. 2002. The effect of modified atmospheres on the rate of quality change in 'Hass' avocado. *Postharvest Biology and Technology* 29: 41-43
- Hansche, E. P.; Boynton, B. 1986. Heritability of enzymatic browning in peaches. *HortScience* 21(5): 1195-1197
- Hofman, P. J.; Fuchs, Y.; Milne, D. L. 2002. Harvesting, Packing, Postharvest Technology, Transport and Processing. pp. 363-401. *In: The Avocado: Botany, Production and Uses.* Whiley A. W.; Schaffer B.; Wolstenholme B. N. (Eds). CABI Publishing. New York, USA.
- Jeong, J.; Huber, J. D.; Sargent, A. S. 2003. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropene and wax treatments. *Postharvest Biology and Technology* 28: 247-257

- Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology* 99-104
- Kader, A. A. 1999. Fruit maturity, ripening and quality relationships. *Acta Horticulturae* 485: 203-208
- Kader, A. A.; Chordas, A. 1984. Evaluating the browning potential of peaches. *California Agriculture* 38:14-15
- Kadir, A. S. 2004. Fruit quality at harvest of 'Jonatan' apple treated with foliarly-applied calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition* 27(11): 1991-2006
- Kay, C.; Higgs, D. 2002. Calcium nitrate as a remedy for salt-stressed cucumber plants *Journal of Plant Nutrition* 25(4): 861-871
- Kirkby, A. E.; Pilbeam, J. D. 1984. Calcium as a plant nutrient. *Plant, Cell and Environment* 7: 397-405
- Knight, R. J. 2002. History, Distribution and Uses, pp. 1-14 *In: The Avocado: Botany, Production and Uses*. Wiley, A. W.; Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N. (eds). CABI Publishing. New York, USA.
- Lallum, N.; Punter, M.; Haynes, G.; Pidakala, P.; Burdon, J. 2004. Role of water loss in ripening of 'Hass' avocados. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report* 4: 70-79.
- Lamikanra, O. 1995. Enzymatic browning of muscadine grapes products, pp. 166-177. *In: Enzymatic browning and its prevention*. Lee, C. L.; Whitaker, J. R. (eds.) ACS. Washington, D. C., USA.
- Lee, K. S.; Young, E. R. 1984. Temperature sensitivity of avocado fruit in relation to C₂H₄ treatment. *Journal of American Society for Horticultural Science* 109(5): 689-692
- López L., L.; Cajuste B., J. F. 1996. Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate 'Fuerte'. *Memorias de la Fundación*

- Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C. Coatepec, Harinas, México. pp. 23-29
- Marcelle, D. R. 1995. Mineral nutrition and fruit quality. *Acta Horticulturae* 383: 219-226
- McGuire, G. R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255
- Meilgaard, M. G.; Civille, V.; Car, B. 1999. Sensory evaluation techniques. Third edition. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. pp.195-208
- Oetiker, H. J.; Yang, F. S. 1995. The role of ethylene in fruit ripening. *Acta Horticulturae* 398: 167-178
- Penter, M. G.; Stassen, P. J. C. 2000. The effect of pre-and postharvest calcium applications on the postharvest quality of Pinkerton avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 23: 1-7
- Pintro, J. C.; Taylor, G. J. 2005. Calcium requirement in the background nutrient solution on growth of wheat plants using the relative addition rate technique. *Journal of Plant Nutrition* 28: 551-565
- Rensburg, E.; Engelbrecht, A. 1985. The effect of calcium salts on the components causing browning of avocado fruit. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 8: 14-15
- Salazar-García, S.; Velasco-Cárdenas, J. J.; Medina-Torres, R.; Gómez-Aguilar, J. R. 2004. Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. I. Prendimiento y crecimiento de injertos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 23-30
- Santacruz U. H. 2004. Actividad productora del aguacate en México y Michoacán. *Tecnoagro* 5(13): 13-18
- Saucedo-Hernández, L.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M.T.; Barrientos-Priego, A. F.; Aguilar-Melchor, J. J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate 'Fuerte'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*

11(1): 149-157.

Shear, C. B. 1975. Calcium related disorders of fruits and vegetables. HortScience 10(4): 361-365

Shen, H.; Yan, X. 2002. Membrana permeability in roots of crotalaria seedlings as affected by low temperatura and low phosphorus stress. Journal of Plant Nutrition 25(5): 1033-1047

Solis-Fraire, J. J.; Barrientos-Priego, A. F.; Pérez-Mercado, C. A.; Rubí-Arriaga, M.; Martínez-Damián, M. T.; Reyes-Alemán, J. C. 1998. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Revista Chapingo Serie Horticultura 4(2): 113-117

Swarts, D. H. 1984. Post harvest problems of avocados, let's talk the same lenguaje. South African Avocado Growers' Association Yearbook 7: 15-19

Tagliavini, M.; Zavalloni, C.; Rombola, A. D.; Quartieri, M.; Malaguti, D.; Mazzanti, F.; Millard, P.; Marangoni, B. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. Acta Horticulturae 512: 131-140

Tingwa, O. P.; Young, E. R. 1974. The effect of calcium on the ripening of avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. Journal of the American Society of Horticultural Science 99(6): 540-542

Tomala, K. 1997. Effects of calcium sprays on storage quality of 'Sampion' apples. Acta Horticulturae 448: 59-65

Truter, B. A.; Cutting, M. J. G.; Bower, P. J.; Van Eeden, J. S. 1991. Effect of modified atmospheres on internal physiological browning of Fuerte avocados. South African Avocado Growers' Association Yearbook 14: 50-52

Van Cutsem, P.; Messiaen, J. 1993. Roles of pectins in cell walls. Acta Horticulturae 326: 93-104

Vorster, L. L.; Toerien, C. J.; Bezuidenhout, J. J. 1989. Factors involved in fruit quality. South

African Avocado Growers' Association Yearbook 12: 76-78

Witney, G. W.; Hofman, P. J.; Wolstenholme, B. N. 1990. Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocados fruits. *Scientia Horticulturae* 44: 269-278

Wójcik, P.; Lewandowski, M. 2003. Effect of calcium and boron sprays on yield and quality of 'Elsanta' strawberry. *Journal of Plant Nutrition* 26(3): 671-682

Woolf, B. A.; Cox, A. C.; White, A.; Ferguson, B. I. 2003. Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology* 28: 113-122

Zamora M., M. T. 1997. Estudio del "rozamiento" y comportamiento en postcosecha en fruto de aguacate (*Persea americana* mill.) 'Hass'. Programa de fruticultura. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. 112 p.

Zauberman, G.; Schiffmann-Nadel, M.; Yanko, U. 1977. The Response of avocado fruits to different storage temperature. *HortScience* 12(4): 353-354

V. DISCUSIÓN GENERAL

DISCUSIÓN GENERAL

Las aspersiones foliares de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en sus diferentes concentraciones no evidenciaron diferencias en el contenido de calcio en hoja y cáscara de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’, pero sí en pulpa para el cultivar Fuerte. Esto se manifestó en una pérdida de peso similar en los frutos de los dos cultivares y en las tres concentraciones empleadas, cuando el análisis de los dos años se realizó de manera individual; pero, al realizar el análisis conjunto de los dos años, se observó que la concentración de Ca en cáscara tanto de ‘Hass’ como de ‘Fuerte’, así como en la pulpa de ‘Hass’ solamente, resultó ser mayor durante el segundo año que la del primero, y aún mejor, diferentes; estas diferencias se manifestaron también en una menor pérdida de peso en los frutos de aguacate de los dos cultivares durante el segundo año. Es probable que la menor pérdida de peso de los frutos expresada durante el segundo año se deba al incremento del calcio tanto en cáscara como en pulpa de los frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’; debido a que el calcio contenido en el fruto posiblemente tuvo su efecto manteniendo la estabilización de la estructura y funcionamiento de la membrana (Ferguson y Drøback, 1988), dado que en ausencia de calcio la membrana pierde su función permitiendo la salida de agua y solutos del citoplasma (Kirkby y Pilbeam, 1984), ya que además se sabe que la pérdida de agua del fruto es una de las principales causas de deterioro de los frutos ya que no sólo afecta directamente mediante pérdidas cuantitativas, sino que lo hace también de manera indirecta con pérdidas de apariencia, textura y calidad nutricional (Kader, 1986).

La firmeza por su parte, tuvo un comportamiento similar a la pérdida de peso, dado que los frutos de los dos cultivares no señalaron diferencias en esta variable por efecto de concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, sobre todo cuando los años se analizaron de manera individual; pero fueron diferentes durante el análisis conjunto de los dos años, dado que la firmeza del fruto de ‘Hass’ fue mayor en el segundo año, en tanto que la de ‘Fuerte’ lo fue durante el primero. Es

probable que la expresión de estos resultados se deba básicamente a que en el cultivar Hass, el análisis nutrimental de cáscara y pulpa, señaló mayor concentración de calcio durante el segundo año; y aunque en 'Fuerte', la concentración de calcio en cáscara fue mayor en el segundo año, en pulpa no hubo diferencias entre los dos años de evaluación; en pulpa, sólo se observaron diferencias por efecto de concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, donde se observó que 0.5 % fue la concentración que mayor contenido de calcio indujo en la pulpa. El hecho de no haber encontrado diferencias en el contenido de calcio en pulpa durante el segundo año, permite inferir que de las concentraciones empleadas, 0.5 % fue la que favoreció el mayor incremento de calcio; sin embargo, la firmeza fue mayor en frutos de 'Fuerte' sólo en el primero año debido probablemente a que como lo menciona Marcelle (1995), es una variable que se encuentra correlacionada positivamente con el contenido de calcio de los frutos, aunque no siempre presenta significancia estadística, a pesar de que se ha mencionado que el calcio juega un papel muy importante en la estructura de la pared celular y que por medio de ello contribuye a la firmeza de los tejidos del fruto (Alcaraz-Lopez *et al.*, 2004).

La variable días a maduración, señaló que los frutos de aguacate tratados con calcio (0.3 y 0.5 %) y almacenados tanto en ambiente como en refrigeración, para el cultivar Hass y sólo en ambiente para 'Fuerte', siempre maduraron después que los frutos que no recibieron tratamiento de calcio (0.0 %, testigo), existiendo una diferencia de 0.5 a 2.0 días entre ellos. Sin embargo, estas diferencias encontradas en los días a maduración a favor de las concentraciones con calcio, pueden haberse debido a que no se realizó un análisis de varianza, solo una prueba de medias ponderadas; no obstante, durante el segundo año en los frutos de aguacate 'Hass' la diferencia entre los días a maduración de los frutos tratados con Ca fueron más amplias (2.0 días), situación que pudo haber obedecido también, al incremento de Ca en el fruto durante el segundo año, debido a que se tiene el conocimiento que la maduración y la senescencia de los frutos son reguladas por el calcio mediante su función de ligamiento de los polisacáridos y proteínas de la

pared celular (Kadir, 2004); además de que la velocidad de ablandamiento del fruto depende del contenido de calcio del mismo (Fallahi *et al.*, 1997).

El color del fruto fue medido por la brillantez, intensidad y tonalidad de la cáscara, representado por los valores de L, Croma y el ángulo Hue, respectivamente. El comportamiento de estos tres parámetros en los frutos de aguacate fue diferente con el cultivar y con los años de evaluación, ya que mientras en el segundo año los frutos de aguacate ‘Hass’ presentaron brillantez más acentuada, conservaron por mayor tiempo el color verde de la cáscara y los valores de la tonalidad azul se mantuvieron por mayor tiempo (altos valores de L, Croma y del ángulo Hue, respectivamente), los frutos de aguacate ‘Fuerte’ lo hicieron durante el primer año de evaluación. Además, la concentración nutrimental en cáscara y pulpa se incrementó durante el segundo año para los frutos de aguacate ‘Hass’, en tanto que para ‘Fuerte’ el incremento de calcio sólo se dio en cáscara en ese mismo año. No obstante, las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuvieron un efecto diferente cuando se determinó el contenido de calcio de la pulpa de aguacate fuerte; esto pudo haberse debido a que el color verde del fruto se ha correlacionado con el contenido de calcio del mismo, dado que en frutos con altos niveles de calcio el color verde permanece por mayor tiempo (Marcelle, 1995), de tal manera que el calcio retarda los cambios de color en el fruto (Ferguson, 1984); a pesar de ello, los valores de L, Croma y del ángulo Hue disminuyeron a medida que el fruto maduraba en cada concentración y año evaluado, debido a que de manera natural la cáscara del aguacate ‘Hass’ cambia de verde a morado-negro (Cox *et al.*, 2004).

La permeabilidad de la membrana presentó un comportamiento particular, ya que se observó que las concentraciones de calcio no tuvieron un efecto consistente sobre la disminución de la permeabilidad de la membrana tanto en cáscara como en la pulpa de los frutos de los dos cultivares evaluados. Sin embargo, la menor salida de electrolitos se presentó durante la evaluación de los frutos del segundo año en el cultivar ‘Hass’; lo cual coincide también con el

incremento de calcio encontrado en los frutos del mismo cultivar 'Hass' durante el segundo año de evaluación. En los frutos de aguacate 'Fuerte' no fue posible comparar los años, debido a que durante el primer año no se evaluó la condición de almacenamiento ambiente y en el segundo fue la única condición que pudo ser evaluada. La tendencia de los resultados de permeabilidad en los frutos del cultivar 'Hass' establece la probable acción del calcio sobre la disminución de los valores de permeabilidad, por lo que se estima que este nutrimento juega un papel importante en la salida de electrolitos de la célula, dado que la asociación del calcio con la membrana celular, y especialmente el vínculo con los fosfolípidos y proteínas de membrana, es requerido para mantener la integridad y control de las funciones asociadas con la membrana, especialmente con la permeabilidad (Anderson y Campbell, 1995); debido a que el mayor sitio de acción del calcio durante la senescencia y maduración del fruto es sobre la estructura y funcionamiento de la membrana, por lo que a este elemento se le ha considerado un importante agente mediador en el control del metabolismo de las células vegetales (Ferguson, 1984).

La actividad de la enzima polifenoloxidasa (PPO) en la pulpa de los frutos evaluados, no se vió afectada por las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en el cultivar Hass, durante los dos años, ni en el 'Fuerte' durante el segundo año de evaluación; no obstante, en los frutos de 'Fuerte' durante el primer año, se observó un efecto positivo de las concentraciones sobre la actividad de la enzima PPO, debido a que durante ese primer año la concentración 0.0 % presentó la mayor actividad y fue diferente con al menos una de las concentraciones que contenían calcio (0.3 o 0.5 %). El análisis de los años nos permitió observar que la actividad enzimática fue menor durante el segundo año en 'Hass', mientras que para los frutos de 'Fuerte' la menor actividad se presentó en el primer año. La respuesta observada en ambos cultivares se debe probablemente a la presencia de mayor contenido de calcio durante el segundo año en Hass y a las diferencias entre concentraciones de calcio del primer año en 'Fuerte' donde 0.3 o 0.5 % tuvieron un comportamiento diferente del testigo (0.0 %), situación que nos puede llevar a inferir que el

calcio disminuye la actividad de la enzima PPO; en función de que se tiene el conocimiento de que el ión calcio se encuentra relacionado con muchos procesos fisiológicos fundamentales de las plantas, tales como paredes celulares, membranas, cromosomas y activación enzimática, entre otros (Tingwa y Young, 1974); además de que el manchado de la pulpa es causado por la enzima polifenol oxidasa, el cual disminuye considerablemente la calidad postcosecha del fruto (Bower *et al.*, 2000).

Los daños por frío evaluados en la pulpa de los frutos de aguacate no se vieron afectados de manera consistente por las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, durante los dos años de evaluación en los frutos de los dos cultivares. El análisis de los años nos permitió observar que el daño por frío fue menor durante el segundo año, cuando se presentó incremento del contenido de calcio en el fruto de ‘Hass’; por otra parte, en los frutos de aguacate ‘Fuerte’ no fue posible analizar de manera conjunta los dos años, debido a que durante el primer año la condición de almacenamiento ambiente no fue evaluada y en el segundo año fue la única que se evaluó. A pesar de ello, pudo apreciarse un efecto positivo del calcio en los frutos de aguacate ‘Hass’ sobre los daños por frío; situación que nos lleva a reconsiderar que posiblemente el mayor contenido de calcio del segundo año influyó para que se presentaran los valores más bajos de daño por frío en el segundo año. Así lo demuestran diversos trabajos de investigación en el tema, donde se ha concluido que los bajos niveles de calcio en el fruto, se encuentran asociados con la susceptibilidad del aguacate a los daños por frío (Vorster *et al.*, 1989).

El oscurecimiento enzimático en la pulpa de los frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’, no se vió afectado de manera consistente por las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; de igual manera, el análisis de los años no indicó diferencias en el comportamiento de los mismos para esta variable, en los frutos de ambos cultivares evaluados; aún y cuando se tuvo un incremento de calcio en la pulpa de los frutos de ‘Hass’ durante el segundo año. Cabe mencionar que el potencial de oscurecimiento enzimático depende de la suma total de valores tanto de los compuestos fenólicos

como de la actividad de la polifenoloxidasas; de tal forma que el potencial de oscurecimiento se considera bajo si la suma de ambos es menor de dos, moderado si es de dos a cuatro, alto si se ubica de cinco a siete y muy alto si excede de siete (Kader y Chordas, 1984). El potencial de oscurecimiento enzimático para ambos cultivares evaluados se consideró moderado debido a que sus valores se ubicaron entre 2 y 4. Además, como pudo observarse, el incremento de calcio encontrado en la pulpa de aguacate 'Hass', no tuvo efecto sobre la disminución del potencial de oscurecimiento, dado que se esperaba que la mayor concentración de calcio permitiera tener una menor capacidad de oscurecimiento enzimático en la pulpa, durante el segundo año y en los frutos de aguacate 'Hass', debido a que Rensburg y Engelbrecht (1985), encontraron que los tratamientos con calcio aplicados a los frutos de aguacate Fuerte en postcosecha, suprimieron la oxidación de fenoles y también redujo el contenido total fenólico de la pulpa.

La producción de etileno en los frutos de aguacate evaluados tampoco se vio afectada por las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, tanto en el primero como en el segundo año, en ambos cultivares evaluados; sin embargo, en el cultivar Hass las concentraciones con calcio (0.3 y 0.5 %) retrazaron 1 y 2 días, respectivamente, la máxima producción de etileno, en los dos años de evaluación; mientras que en 'Fuerte', no hubo ningún retraso con relación al testigo (0.0 %). En los frutos de aguacate 'Hass' la concentración que indujo la menor producción de etileno en los frutos fue 0.5 % en ambos años de evaluación, mientras que en 'Fuerte' lo fue 0.3 %. Como puede observarse los resultados expresados en ambos cultivares y años de evaluación no concuerdan con el análisis nutrimental, debido a que se encontró mayor contenido de calcio en la pulpa de los frutos de aguacate 'Hass' en el segundo año y se esperaría que los tratamientos con calcio, incrementaran sustancialmente los días a la llegada de la máxima producción de etileno; en tanto que para los frutos de 'Fuerte', donde se encontró significancia en el contenido de calcio por efecto de concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, dichas concentraciones tuvieron el mismo comportamiento que la concentración 0.0 % (testigo) porque llegaron el mismo día a la máxima

producción de etileno; por lo que las diferencias entre los frutos de ambos cultivares por efecto de las concentraciones, en cuanto a días para la expresión del máximo pico de producción de etileno, pueden deberse a otros factores, como al ambiente, la alternancia y al exceso de lluvia que se presentó durante el año de las aplicaciones, pero no al calcio, a pesar de que hubo mayor contenido en el segundo año para el cultivar Hass; y de que se sabe que el incremento en el contenido de calcio del fruto reduce la velocidad de producción de etileno (Eaks, 1985); pero además, que el calcio regula la maduración del fruto y prolonga la vida postcosecha, y que también la maduración lenta del fruto se manifiesta en una baja velocidad de respiración y una reducida producción de etileno Kadir (2004).

Respecto a la respiración de los frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’, se observó que las concentraciones no tuvieron efecto tanto en la producción de CO_2 como en la llegada al climaterio de los frutos, ya que los valores de producción de CO_2 se presentaron el mismo día (sexto) en los frutos de aguacate ‘Hass’ tanto en el primero como en el segundo año. Respecto a los frutos del cultivar Fuerte, éstos llegaron el cuarto y quinto día, al climaterio durante el primer y segundo año, respectivamente. Los resultados de respiración no son acordes con el análisis nutrimental del fruto, donde se observó incremento de calcio en el segundo año para el fruto de aguacate ‘Hass’ de tal manera que se esperaría que las concentraciones que tenían calcio retrasaran la aparición del climaterio en los mismos, pero no fue así; ya que se tiene establecido que el calcio regula la maduración del fruto manifestada en una baja velocidad de respiración (Kadir, 2004).

Los frutos de aguacate ‘Hass’ no presentaron diferencias por la presencia de desórdenes fisiológicos por efecto de las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, durante el segundo año, ni en el primero, para las condiciones de almacenamiento ambiente y 3 semanas a 5 °C, solo en la condición 5 semanas a 5 °C; observándose que las concentraciones con calcio (0.3 y 0.5 %) presentaron la mínima presencia de pudrición del pedúnculo (Stem Rots) y fueron diferentes,

al menos una de ellas, de 0.0 % (testigo), el cual presentó el mayor grado de presencia de este tipo de desórden. Los frutos del cultivar Fuerte durante el primer año no presentaron diferencias por la presencia de desórdenes fisiológicos, por efecto de las concentraciones de calcio, en las tres condiciones de almacenamiento probadas: ambiente, 3 y 5 semanas a 5 °C; sin embargo, durante el segundo año los frutos de este cultivar sólo se almacenaron al ambiente, donde los frutos con presencia de desórdenes fisiológicos como el color de cáscara y oscurecimiento exterior de la pulpa, tuvieron un comportamiento distinto por efecto de las concentraciones de calcio; observando que los tratamientos con calcio (0.3 y/o 0.5 %) presentaron el mínimo de presencia de estos dos tipos de desórdenes, aunque no siempre fueron diferentes que el testigo. Por otra parte, la relación N/Ca y K/Ca con frecuencia se emplean para predecir la calidad de los frutos durante el almacenamiento, pero principalmente N/Ca (Marcelle, 1995), según la cual esta calidad es favorecida por bajos niveles de N y altas concentraciones de Ca (Tagliavini *et al.*, 2000). Los resultados de la relación N/Ca y K/Ca tuvieron una dinámica creciente a medida que se analizaron los órganos: hoja, cáscara y pulpa; en ellos, se pudo observar que el porcentaje de N decrece y el del calcio incrementa, lo cual puede resultar benéfico para mejorar la calidad de los frutos almacenados.

Las relaciones N/Ca y K/Ca en frutos de aguacate ‘Hass’, y K/Ca en Fuerte, fueron mayores durante el primer año, situación que señaló mayor susceptibilidad de los frutos a la aparición de desórdenes, tal y como sucedió en los frutos almacenados a 5 °C por 5 semanas en los frutos de ‘Hass’; de igual manera, el hecho de tener una relación baja de N/Ca y K/Ca durante el segundo año, tanto en los frutos de ‘Hass’ como en los de ‘Fuerte’, señalaba la posibilidad de que los frutos con mayor contenido de calcio fueran menos susceptibles a la presencia de desórdenes, tal y como se presentó en los frutos de aguacate ‘Fuerte’ en la evaluación del segundo año, aunque los frutos empleados en esta evaluación no fueron sometidos a refrigeración, en función de que las bajas temperaturas son la causa de la

perturbación de la membrana celular e induce cambios en el nivel de calcio del citosol que precede a la respuesta fisiológica, donde la membrana celular es la principal parte dañada durante el estrés por baja temperatura (Gao *et al.*, 2004).) También, en el caso de aguacate ‘Hass’ se ha encontrado que el incremento de la severidad e incidencia de antracnósis en frutos puede ser relacionada con la alta concentración de N en hojas y baja concentración de calcio; pero además esta misma relación se ha asociado con la pobre conservación de la calidad e incremento de las pudriciones postcosecha de otros cultivos como la pera; ya que además se cree que la elevada concentración de N puede ocasionar el debilitamiento de la pared celular y así incrementar la susceptibilidad a enzimas pectolíticas de hongos (Willinghan *et al.*, 2001).

Respecto a la elevada concentración de K y baja concentración de calcio encontrado en la pulpa durante el primer año, pueden incrementar la proporción K/Ca del fruto, lo cual también se ha correlacionado positivamente con la incidencia de desórdenes en frutos durante el almacenamiento, por lo que valores de ésta proporción menores a 25, 28 y 30 se han establecido como límite para diferentes zonas productoras de manzana (Dilmaghani *et al.*, 2004). Sin embargo los valores encontrados en los frutos de ‘Hass’ fueron de 67 y 12 y en ‘Fuerte’ de 75 y 16 para el primer y segundo año, respectivamente; esto indica que valores de 67 son muy altos para aguacate ‘Hass’ en función de la presencia de algunos desórdenes durante el primer año. Por su parte, los valores de 75 en la relación K/Ca en frutos de aguacate ‘Fuerte’ no se puede determinar si es indeseable debido a que los frutos evaluados durante el primer año no presentaron diferencias en la presencia de desórdenes fisiológicos por efecto de los tratamientos con calcio.

La prueba organoléptica realizada en los frutos de aguacate ‘Fuerte’ no detectó diferencias entre concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; pero en ‘Hass’ si se encontraron diferencias entre concentraciones para los frutos tratados con calcio para las variables viscosidad, maduración, sabor y aceptabilidad general, en los frutos almacenados al ambiente, y sólo en color, para los

que estuvieron a 5 °C por 5 semanas, durante el primer año; en tanto que para el segundo, las concentraciones de calcio ocasionaron diferencias en el aroma de la pulpa, entre los frutos almacenados al ambiente. Los resultados indican que los panelistas encontraron diferencias entre consumir frutos tratados con 0.3 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y los que no recibieron calcio durante las aspersiones en precosecha, encontrando una preferencia marcada hacia los frutos sin tratar (0.0 %); No obstante, los frutos tratados con calcio en concentración de 0.5 % tuvieron un comportamiento estadístico igual a la concentración 0.0 % (testigo), la que eventualmente podría ser aplicada sin que el consumidor pueda notar la diferencia entre consumir un fruto tratado con calcio (0.5 %) y aquel que no lo está (0.0 %), con la ventaja adicional de que el calcio regula la maduración del fruto, controla la acción de las enzimas, afecta la velocidad respiratoria y la producción de etileno (Dris y Niskanen, 1997), en otras palabras el calcio altera procesos celulares asociados con senescencia (Tomala, 1997).

Finalmente, se observó que las condiciones de almacenamiento: ambiente, 3 y 5 semanas a 5 °C ejercieron una acción propia y ascendente sobre el efecto de cada una de las variables evaluadas; de tal manera que ambiente favoreció la menor pérdida de peso, mayor firmeza, mayor número de días a maduración, mejor conservación del color, menor permeabilidad de membrana tanto en cáscara como en pulpa, menor actividad enzimática de PPO, menor daño por frío, menor valor de oscurecimiento enzimático y mínima presencia de desórdenes fisiológicos en los frutos de los cultivares ‘Hass’ y ‘Fuerte’; seguida de 3 semanas, y finalmente de 5 semanas a 5 °C; en razón de que los frutos almacenados a bajas temperaturas, mientras permanecieron en frío, la actividad metabólica se redujo, pero al momento de interrumpirles el frío y colocarlos a madurar bajo condiciones ambientales, el metabolismo que permanecía latente se reactivó, siendo más fuerte esta reactivación en los frutos que permanecieron mayor tiempo en refrigeración (Zauberman *et al.*, 1977).

VI. CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES

1. De los tres órganos analizados de la planta de aguacate 'Fuerte', sólo en pulpa el contenido de calcio fue incrementado por efecto de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.
2. El contenido de calcio fue mayor al año siguiente de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en cáscara y pulpa de aguacate 'Hass', así como en la cáscara del aguacate 'Fuerte'.
3. Solo la relación K/Ca aumentó por efecto de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; dicho incremento se generó en la medida en que lo hicieron las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en la cáscara de los frutos de aguacate 'Fuerte'; lo que puede significar menor vida de anaquel de los frutos.
4. Los valores de las relaciones N/Ca y K/Ca fueron mayores en el primer año para hoja, cáscara y pulpa en aguacate 'Hass', así como en cáscara de aguacate 'Fuerte'; en este mismo cultivar la relación K/Ca fue mayor en hoja y pulpa durante el primer año de evaluación.
5. La pérdida de peso de los frutos de aguacate 'Hass' y 'Fuerte' disminuyó al año siguiente de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, justo cuando el contenido de calcio se incrementó en cáscara y pulpa de los frutos de aguacate 'Hass', y en la cáscara de los frutos de aguacate 'Fuerte'.
6. La firmeza fue mayor en los frutos de aguacate 'Hass' del segundo año, mientras que en los de 'Fuerte', la mayor firmeza se registró en los frutos del primer año; situación especialmente favorable en este cultivar, debido a que es más sensible a los daños mecánicos.
7. Los frutos tratados con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y almacenados tanto al ambiente como en refrigeración, para el cultivar 'Hass', así como los almacenados al ambiente, para el cultivar 'Fuerte', incrementaron los días a maduración con relación al testigo.

8. El color del fruto medido por la brillantez, intensidad y tonalidad de la cáscara, fue favorecido por el incremento de calcio al año siguiente de las aspersiones, en la pulpa y cáscara de los frutos en ambos cultivares.
9. Las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no tuvieron efecto consistente sobre la disminución de la permeabilidad de la membrana en los frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’, porque la permeabilidad de la membrana en los frutos de aguacate ‘Hass’, disminuyó al año siguiente de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, coincidiendo con el incremento de calcio en cáscara y pulpa de los frutos.
10. En los frutos de aguacate ‘Hass’ la actividad de la enzima polifenoloxidasa se incrementó durante el primer año; en tanto que en los de ‘Fuerte’, el incremento de la actividad fue durante el segundo año.
11. Las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no tuvieron efecto sobre la disminución del daño por frío en los frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’; aunque, el daño por frío en los frutos de aguacate ‘Hass’ disminuyó al año siguiente de las aspersiones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, precisamente cuando se presentó el incremento de calcio tanto en cáscara como en pulpa.
12. Las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no afectaron el oscurecimiento enzimático en los frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’.
13. Las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no afectaron la producción de etileno en los frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’; sin embargo, retrasaron los días a la llegada del climaterio, en los dos años de valuación, en el cultivar ‘Hass’.
14. Las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no afectaron la producción de CO_2 en los frutos de aguacate ‘Hass’ y ‘Fuerte’; de igual manera no retrasaron los días a la llegada del climaterio, en ambos cultivares.

- 15.** Las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ disminuyeron de manera importante la presencia de desórdenes fisiológicos como la pudrición del pedúnculo, en frutos de aguacate ‘Hass’ durante el primer año, y en color de la cáscara y oscurecimiento exterior de la pulpa, en frutos de aguacate ‘Fuerte’, durante el segundo año; siendo los tratamientos con calcio los que menor incidencia presentaron.
- 16.** Las concentraciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ afectaron características organolépticas como viscosidad, maduración, sabor, y aceptabilidad general en la condición ambiente, y sólomente color de la pulpa en la condición de 5 semanas a 5 °C, durante el primer año; y únicamente aroma en la condición ambiente del segundo año, en los frutos de aguacate ‘Hass’.
- 17.** La condición de almacenamiento ambiente, fue la que presentó menor pérdida de peso, permeabilidad de membrana, actividad de la enzima polifenoloxidasa, potencial de oscurecimiento y compuestos fenólicos y daños por frío; además, mayor firmeza y días a maduración; seguida de 3 y 5 semanas, respectivamente.

VII. LITERATURA CITADA GENERAL

LITERATURA CITADA GENERAL

- Adato, I.; Gazit, S. 1974. Water-déficit stress, ethylene production, and ripening in avocado fruits. *Plant Physiology* 53: 45-46
- Alcaraz-Lopez, C.; Botía, M.; Alcaraz F., C.; Riquelme, F. 2004. Effects of calcium-containing foliar sprays combined with titanium and algae extract on plum fruit quality. *Journal of Plant Nutrition* 27(4): 713-729
- Anderson, L. J.; Campbell, F. W. 1995. Calcium transport and ATP-ase activity in microsomal vesicle fraction from 'Montmorency' sour cherry fruit. *Acta Horticulturae* 398:47-57
- Ávila-Quezada, G. D.; Téliz-Ortíz, D.; Vaquera-Huerta, H.; González-Hernández, H.; Johansen-Naime, R. 2005. Progreso temporal del daño por trips (Insecta: Thysanoptera) en aguacate (*Persea americana* Mill.). *Revista Agrociencia* 39(4):441-447
- Awad, M.; Young, E. R. 1979. Postharvest variation in cellulase, polygalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology* 64: 306-308
- Blanke, M. M. 1995. Regulation of respiration in apple, avocado and citrus orange fruit. *Acta Horticulturae* 398: 139-146
- Blanke, M. M.; Lovatt, C. J. 1993. Anatomy and transpiration of the avocado inflorescence. *Annals of Botany* 71(6): 543-547
- Bower, J. P.; Cutting, J. G. M. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. *Horticultural Reviews* 10:229-271
- Bower, J. P.; Van Rooyen, Z.; Allwood, G. A. 2000. Progress in identifying the primary causes of mesocarp discoloration in cv Pinkerton. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 23: 15-20
- Buccheri, M.; Di Vaio, C. 2004. Relationship among seed number, quality, and calcium content

- in apple fruits. *Journal of Plant Nutrition* 27(10): 1735-1746
- Cajuste B., J. F.; Saucedo V., C.; Chávez F., S. 1994. Efecto de la época de corte en la calidad y resistencia a daño por frío de aguacate cv Hass. *Revista Fitotecnia Mexicana* 17: 164-174
- Chaplin, R. G.; Scot, J. K. 1980. Association of calcium in chilling injury susceptibility of stored avocados. *HortScience* 15(4): 514-515
- Chaplin, R. G.; Wills, H. R. B.; Graham, D. 1982. Objective measurement of chilling injury in the mesocarp of stored avocados. *HortScience* 17(2):238-239
- Chapman, H. D.; Pratt, P. F. 1991. *Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Agua*. Editorial Trillas, S.A. de C.V. D.F., México. 195 p.
- Chernys, T. J.; Zeevaart, D. J. A. 2000. Characterization of the 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase gene family and the regulation of abscisic acid biosynthesis in avocado. *Plant Physiology* 124: 343-353
- Coseteng, Y. M.; Lee, Y. C. 1987. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *Journal of Food Science* 52(4): 985-989
- Cox, A. K.; McGhie, K. T.; White, A.; Wolf, B. A. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 31:287-294
- Dallman, F. T.; Eaks, L. I.; Thomson, W. W.; Nothnagel, A. E. 1988. Postharvest density changes in membranes from ripening avocado fruits. *Journal of American Society for Horticultural Science* 113(5): 729-733
- Delgado-Camacho, G.; Castillo-González, A. M.; Avitia-García, E.; Rubí-Arriaga, M. 1999. Contenido de azúcares solubles en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacatero (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(2): 77-81
- Dilmaghani, M. R.; Malakouti, M. J.; Neilsen, G. H.; Fallahi, E. 2004. Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Irán. *Journal of Plant Nutrition* 27(7): 1149-1162

- Dixon, J.; Pak, A. H.; Smith, B. D.; Elmsly, A. T.; Cutting, M. J. G. 2003. New Zealand avocado fruit quality: the impact of storage temperature and maturity. New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report 3:48-53
- Dris, R.; Niskanen, R. 1997. Effect of calcium on the storage quality of apples grown in Finland. *Acta Horticulturae* 448: 323-327
- Eaks, L. I. 1980. Respiratory rate, ethylene production, and ripening response of avocado fruit to ethylene or propylene following harvest at different maturities. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105(5): 744-747
- Eaks, L. I. 1985. Effect of calcium on ripening, respiratory rate, ethylene production, and quality of avocado fruit. *Journal of American Society for Horticultural Science* 110(2): 145-148
- Fageria, N. K.; Baligar, B. C.; Jones, A. CH. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. Second Edition. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 624 p.
- Fageria, V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8): 1269-1290
- Fallahi, E.; Conway, S. W.; Hickey, D. K.; Sams, E. C. 1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *HortScience* 32 (5): 831-835
- Ferguson, B. I. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant, Cell and Environment* 7:477-489
- Ferguson, B. I.; Drøbak, K. B. 1988. Calcium and the regulation of plant growth and senescence. *HortScience* 23(2): 262-266
- Ferguson, B. I.; Volz, K. R.; Harker, R. F.; Watkins, B. C.; Brookfield, L. P. 1995. Regulation of postharvest fruit physiology by calcium. *Acta Horticulturae* 398: 23-30
- Ferguson, I.; Volz, R.; Woolf, A. 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest Biology and Technology* 15: 255-262
- Gao, H.; Chen, G.; Han, L.; Lin, H. 2004. Calcium influence on chilling resistance of grafting

- eggplant seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 27(8): 1327-1339
- Hertog, M. L. A. T. M.; Nicholson, E. S.; Whitmore, K. 2002. The effect of modified atmospheres on the rate of quality change in 'Hass' avocado. *Postharvest Biology and Technology* 29: 41-43
- Hansche, E. P.; Boynton, B. 1986. Heritability of enzymatic browning in peaches. *HortScience* 21(5): 1195-1197
- Himelrick, G. D.; McDuffie, F. R. 1983. The calcium cycle: uptake and distribution in apple trees. *HortScience* 18(2): 147-150
- Hofman, P. J.; Fuchs, Y.; Milne, D. L. 2002. Harvesting, Packing, Postharvest Technology, Transport and Processing. Pp. 363-401. *In: The Avocado: Botany, Production and Uses*. Whiley A. W.; Schaffer B.; Wolstenholme B. N. (Eds). CABI Publishing. New York, USA.
- Jeong, J.; Huber, J. D.; Sargent, A. S. 2003. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropene and wax treatments. *Postharvest Biology and Technology* 28: 247-257
- Kadam, S. S.; Salunkhe, K. D. 1995. Avocado. Pp: 363-375. *In: Handbook of Fruit Science and Technology. Production, Composition, Storage and Processing*. Salunke, K. D.; Kadam, S. S. (Eds). Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology* 99-104
- Kader A. A. 1999. Fruit maturity, ripening and quality relationships. *Acta Horticulturae* 485: 203-208
- Kader, A. A.; Chordas, A. 1984. Evaluating the browning potential of peaches. *California Agriculture* 38:14-15
- Kadir, A. S. 2004. Fruit quality at harvest of "Jonatan" apple treated with foliarly-applied

- calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition* 27(11): 1991-2006
- Kay, C.; Higgs, D. 2002. Calcium nitrate as a remedy for salt-stressed cucumber plants. *Journal of Plant Nutrition* 25(4): 861-871
- Kirkby, A. E.; Pilbeam, J. D. 1984. Calcium as a plant nutrient. *Plant, Cell and Environment* 7: 397-405
- Knight, R. J. 2002. History, Distribution and Uses. Pp. 1-14 *In: The Avocado: Botany, Production and Uses*. Wiley, A. W.; Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N. (Eds). CABI Publishing. New York, USA.
- Lahav, E.; Wiley, A. W. 2002. Irrigation and Mineral Nutrition, pp. 259-297. *In: The Avocado: Botany, Production and Uses*. Wiley, A. W.; Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N. (eds.). CABI Publishing. New York, USA.
- Lallum, N.; Punter, M.; Haynes, G.; Pidakala, P.; Burdon, J. 2004. Role of water loss in ripening of 'Hass' avocados. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report*. 4:70-79.
- Lamikanra, O. 1995. Enzymatic Browning of Muscadine Grapes Products pp. 166-177. *In: Enzymatic Browning and its Prevention*. Lee, C. L.; Whitaker, J. R. (eds.) Ed. ACS. Washington, D. C., USA.
- Lee, K. S.; Young, E. R. 1984. Temperature sensitivity of avocado fruit in relation to C₂H₄ treatment. *Journal of American Society for Horticultural Science* 109(5): 689-692
- López L., L.; Cajuste B., J. F. 1996. Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate 'Fuerte'. *Memorias de la Fundación Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C. Coatepec, Harinas, México*. Pp. 23-29
- Marcelle, D. R. 1995. Mineral nutrition and fruit quality. *Acta Horticulturae* 383: 219-226
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press. San Diego, Cal. USA. 889 p.

- McGuire, G. R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255
- Meilgaard, M. G.; Civille, V.; Car, B. 1999. Sensory evaluation techniques. Third edition. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. Pp.195-208
- Oetiker, H. J.; Yang, F. S. 1995. The role of ethylene in fruit ripening. *Acta Horticulturae* 398: 167-178
- Osuna G., J. A.; Beltrán J., A.; Vázquez V., V. 2005. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre el comportamiento postcosecha del aguacate 'Hass'. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(1): 1-8
- Partridge, C. J.; Pak, H. A.; Brookbanks, P. 2002. An investigation into the effects of preharvest sprays of calcium-containing formulations in reducing post-harvest rots in 'Hass' avocados. *Avocado Growers Association Annual Research Report* 2: 1-6.
- Penter, M. G.; Stassen, P. J. C. 2000. The effect of pre-and postharvest calcium applications on the postharvest quality of Pinkerton avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 23: 1-7
- Pintro, J. C.; Taylor, G. J. 2005. Calcium requirement in the background nutrient solution on growth of wheat plants using the relative addition rate technique. *Journal of Plant Nutrition* 28: 551-565
- Rensburg, E.; Engelbrecht, A. 1985. The effect of calcium salts on the components causing browning of avocado fruit. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 8: 14-15
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias Instituto de la Potasa y el Fósforo A. C. Querétaro, Qro., México. 165 p.
- Salazar-García, S.; Velasco-Cárdenas, J. J.; Medina-Torres, R.; Gómez-Aguilar, J. R. 2004.

- Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. I. Prendimiento y crecimiento de injertos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 23-30
- Sánchez G., P.; Ramírez M., P. 2000. Fertilización y Nutrición del Aguacatero, pp. 103-113. *In*: El Aguacate y su Manejo Integrado. Teliz, D. (ed.). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. D.F., México.
- Santacruz U., H. 2004. Actividad productora del aguacate en México y Michoacán. *Tecnoagro* 5(13): 13-18
- Saucedo-Hernández, L.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M.T.; Barrientos-Priego, A. F.; Aguilar-Melchor, J. J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate 'Fuerte'. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 11(1): 149-157.
- Shear, C. B. 1975. Calcium related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10(4): 361-365
- Shen, H.; Yan, X. 2002. Membrana permeability in roots of crotalaria seedlings as affected by low temperatura and low phosphorus stress. *Journal of Plant Nutrition* 25(5): 1033-1047
- Solis-Fraire, J. J.; Barrientos-Priego, A. F.; Pérez-Mercado, C. A.; Rubí-Arriaga, M.; Martínez-Damián, M. T.; Reyes-Alemán, J. C. 1998. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 4(2): 113-117
- Swarts, D. H. 1984. Post harvest problems of avocados, let's talk the same lenguaje. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 7: 15-19
- Tagliavini, M.; Zavalloni, C.; Rombola, A. D.; Quartieri, M.; Malaguti, D.; Mazzanti, F.; Millard, P.; Marangoni, B. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. *Acta Horticulturae* 512: 131-140
- Taylor, D. M.; Locascio, J. S. 2004. Blossom-end rot: a calcium deficiency. *Journal of Plant*

Nutrition 27(1): 123-139

- Tingwa, O. P.; Young, E. R. 1974. The effect of calcium on the ripening of avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. Journal of the American Society of Horticultural Science 99(6): 540-542
- Tomala, K. 1997. Effects of calcium sprays on storage quality of 'sampion' apples. Acta Horticulturae 448: 59-65
- Truter, B. A.; Cutting, M. J. G.; Bower, P. J.; Van Eeden, J. S. 1991. Effect of modified atmospheres on internal physiological browning of fuerte avocados. South African Avocado Growers' Association Yearbook 14: 50-52
- Van Cutsem, P.; Messiaen, J. 1993. Roles of pectins in cell walls. Acta Horticulturae 326: 93-104
- Vorster, L. L.; Toerien, C. J.; Bezuidenhout, J. J. 1989. Factors involved in fruit quality. South African Avocado Growers' Association Yearbook 12: 76-78
- Whiley, A. W.; Chapman, K. R.; Saranah, J. B. 1988. Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* cv. Fuerte) during flowering. Australian Journal of Agricultural Research 39(3): 457-467
- White, A.; Woolf, A.; Hofman, P. 2001. Avocare Assessment Manual. HortResearch. Horticulture Australia. 65 p
- Willingham, L. S.; Pegg, G. K.; Cooke, W. A.; Coates, M. L.; Langdon, B. P. W.; Dean, R. J. 2001. Rootstock influences postharvest anthracnose development in 'Hass' avocado. Australian Journal Agricultural Research 52: 1017-1022
- Witney, G. W.; Hofman, P. J.; Wolstenholme, B. N. 1990. Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocados fruits. Scientia Horticulturae 44: 269-278
- Wójcik, P.; Lewandowski, M. 2003. Effect of calcium and boron sprays on yield and quality of "Elsanta" strawberry. Journal of Plant Nutrition 26(3): 671-682

- Woolf, B. A.; Cox, A. C.; White, A.; Ferguson, B. I. 2003. Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology* 28: 113-122
- Zamora M., M. T. 1997. Estudio del "rozamiento" y comportamiento en postcosecha en fruto de aguacate (*Persea americana* mill.) 'Hass'. Programa de fruticultura. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. 112 p.
- Zauberman, G.; Schiffmann-Nadel, M.; Yanko, U. 1977. The response of avocado fruits to different storage temperatures. *HortScience* 12(4): 353-354