

## Maduración poscosecha de la feijoa (*Acca sellowiana* Berg) tratada con $\text{CaCl}_2$ en tres temperaturas de almacenamiento

Post-harvest ripening of feijoa (*Acca sellowiana* Berg) treated with  $\text{CaCl}_2$  at three storage temperatures

Juan Manuel Ramírez<sup>1</sup>, Jesús Antonio Galvis<sup>2</sup> y Gerhard Fischer<sup>3</sup>

**Resumen:** Con la finalidad de comprobar los efectos retardantes del calcio en la maduración de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg, cultivar Quimba), se realizó un estudio sobre la aplicación poscosecha, mediante inmersiones de tres soluciones distintas de cloruro de calcio (5%, 10% y 15%) y un testigo. La aplicación de  $\text{CaCl}_2$  prolongó la vida de almacenamiento de los frutos, ya que los tratamientos permitieron a los frutos soportar las condiciones de almacenamiento. Se observó un efecto importante en la disminución de las pérdidas de peso; los frutos tratados con el porcentaje de calcio más alto (15%) presentaron las menores pérdidas de peso en cada temperatura. En las feijoas almacenadas a temperatura ambiente (18° C), se observó que la incidencia de enfermedades fue más pequeña en los frutos tratados con  $\text{CaCl}_2$ . La velocidad de pérdida de la firmeza de los frutos también se vio fortalecida por la adición de calcio. Con relación a las propiedades químicas de los frutos, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con cloruro de calcio para cada temperatura de almacenamiento; las feijoas tratadas con  $\text{CaCl}_2$  presentaron niveles superiores de sólidos solubles totales, a pesar de no ser significativos estadísticamente.

**Palabras clave adicionales:** Calcio, inmersiones, pérdida de peso, firmeza, °Brix, acidez titulable.

**Abstract:** Post-harvest application of calcium chloride by means of immersion in 3 different  $\text{CaCl}_2$  solutions (5%, 10% and 15%) and without Ca was studied for verifying calcium's retarding effect on feijoa (*Acca sellowiana* Berg) fruit (Quimba cultivar) ripening. Applications of calcium prolonged the fruit's post-harvest storage life; since the treatments allowed to the fruits to support better the conditions of storage for the fruits. An important decrease in percentage weight loss was observed; fruit treated with a greater percentage of calcium solution (15%) presented smaller weight loss at each storage temperature. The incidence of disease was observed to be less in those fruit treated with  $\text{CaCl}_2$  in feijoa stored at environmental temperature (18° C). The velocity of loss of the fruit firmness was also fortified by adding calcium. Regarding chemical fruit properties, statistically significant differences did not appear for calcium chloride treatments at each storage temperature; feijoa treated with  $\text{CaCl}_2$  presented greater total soluble solids levels, but without estadistic differences.

**Additional key words:** Calcium, dips, weight loss, firmness °Brix, titratable acids.

Fecha de recepción: 24 de febrero de 2005  
Aceptado para publicación: 27 de mayo de 2005

1 Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: jmramirez3@yahoo.es

2 Profesor Asociado, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: jagalvisv@unal.edu.co

3 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: gfischer@unal.edu.co

## Introducción

DEBIDO A LA CRECIENTE PRODUCCIÓN frutícola en Colombia surge la necesidad de asegurar al consumidor final un producto de buena calidad con características organolépticas óptimas. En la actualidad se han estandarizado algunos tratamientos poscosecha entre ellos el uso de retardantes de maduración que permiten prolongar la vida útil de la fruta. La aplicación de cloruro de calcio es uno de los tratamientos muy utilizados, ya que además de mantener la firmeza de los frutos, es un inhibidor enzimático que permite preservar la organización celular (Zurita, 2003).

La feijoa (*Acca sellowiana* Berg) es una especie frutícola considerada como producto promisorio y con alto potencial de exportación. A pesar de la importancia que ha ganado el cultivo, la información sobre el manejo poscosecha de este fruto es escasa y se desconoce su comportamiento fisiológico en diferentes temperaturas de almacenamiento. De otra parte, su período de maduración es muy corto (Galvis, 2002), lo cual dificulta el comercio hacia regiones distantes cuando se transporta por vía marítima.

El calcio tiene un papel importante en la reducción y el control de muchos desordenes en los frutos, ya que su efecto es el de retardar los procesos fisiológicos y químicos en éstos. Los iones de calcio son importantes mensajeros intracelulares; en las plantas influyen sobre varios aspectos de la fisiología celular, como los cambios en la estructura de la pared celular, la permeabilidad de la membrana y la activación enzimática. La velocidad de senescencia muchas veces depende del estado del calcio en los tejidos y afecta parámetros como la respiración, los contenidos de proteína y clorofila, y la fluidez de la membrana (Poovaiah, 1986).

Las aplicaciones de calcio durante la poscosecha se han usado para minimizar los efectos de la maduración y controlar el desarrollo de desordenes fisiológicos en las frutas (Ruiz, 2000). La firmeza y resistencia al ablandamiento han sido atribuidas a la estabilidad de la membrana por la formación de pectatos de calcio, los cuales incrementan la rigidez de la pared celular de las frutas (Marschner, 2002). Los tratamientos con calcio se usan también para aumentar la vida poscosecha de un amplio rango de frutas y vegetales, entre las cuales se pueden nombrar: manzana, fresa, melón, pera, durazno, tomate, mango y naranja; el calcio puede también

reducir la germinación, la esporulación y el crecimiento de patógenos (Conway *et al.*, 1994).

En el caso de la feijoa no hay información disponible sobre el efecto del cloruro de calcio como retardante de la maduración para prolongar la vida útil del fruto.

Si se mantienen niveles óptimos de calcio en la fruta se pueden prevenir varios daños físicos en los frutos e incluso reducir la velocidad de la maduración; ello permite prolongar la vida útil en la poscosecha, lo cual es de gran utilidad para agricultores y comercializadores de productos frescos.

## Materiales y métodos

La fruta fue adquirida en el municipio de La Vega (Cundinamarca) y trasladada a la empresa Disfruta las Feijoas S.A., en donde se seleccionaron 600 frutos con características homogéneas, pertenecientes al cultivar Quimba. Posteriormente fueron llevados a la planta piloto de vegetales del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, para las pruebas poscosecha de este estudio.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron dos cámaras de almacenamiento a 6° C y 12° C, balanza electrónica (Sartorius® LP 420p), potenciómetro (Schott Geräte® CG 820), refractómetro de mano (Atago® N-1A [Brix 0,0 a 32,0%]), penetrómetro manual, hidróxido de sodio 0,1 N, cloruro de calcio al 97%, canastillas plásticas de almacenamiento (56 x 36 x 10,8 cm); los frutos fueron desinfectados con Mertec® (0,2 mL · L<sup>-1</sup>) durante 10 min.

Para las variables indicadas en la Tabla 1 se hicieron tres repeticiones de dos frutos cada una. Una vez desinfectados los frutos se sometieron a inmersión en soluciones de agua con cloruro de calcio a tres concentraciones (5%, 10% y 15%) durante 45 min y su comportamiento se comparó con un testigo. Los frutos se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24 h, para luego ser almacenados a 6° C, 12° C y a temperatura ambiente (aproximadamente 18° C).

Las mediciones de las variables se realizaron cada cinco días, desde el día 0 hasta el día 25 de almacenamiento. La incidencia de *Pestalotia sp.*, se midió en los mismos frutos usados para los cálculos de pérdida de peso. En cada muestreo se tomó el porcentaje de feijoas que presentaron síntomas y se tabularon para cada con-

centración de calcio. La variable contenido de calcio en pulpa se midió en los días 0,15 y 25 con un equipo de absorción atómica. Para este análisis se utilizó la pulpa de tres frutos por tratamiento (Tabla 1).

**Tabla 1.** Variables estudiadas durante el desarrollo del experimento.

Tipo de análisis	Método	Muestreo (días)
Pérdida de peso	Balanza	0,5,10,16,20,25
Firmeza	Penetrometría	0,5,10,16,20,25
pH	Potenciómetro	0,5,10,16,20,25
Grados Brix	Refractrometría	0,5,10,16,20,25
Acidez titulable	Titulación	0,5,10,16,20,25
Color	Cartas de Color	0,5,10,16,20,25
Contenido de calcio en pulpa	Absorción atómica	0,15, 25

Para el análisis estadístico se realizaron análisis de varianza (ANOVAS) correspondientes a un arreglo factorial 3 x 4 dispuesto en bloques al azar, utilizando el procedimiento de Modelos Lineales Generales (GLM) con el paquete estadístico SAS® y un nivel de significancia  $P < 0,05$  (Steel y Torrie, 1998).

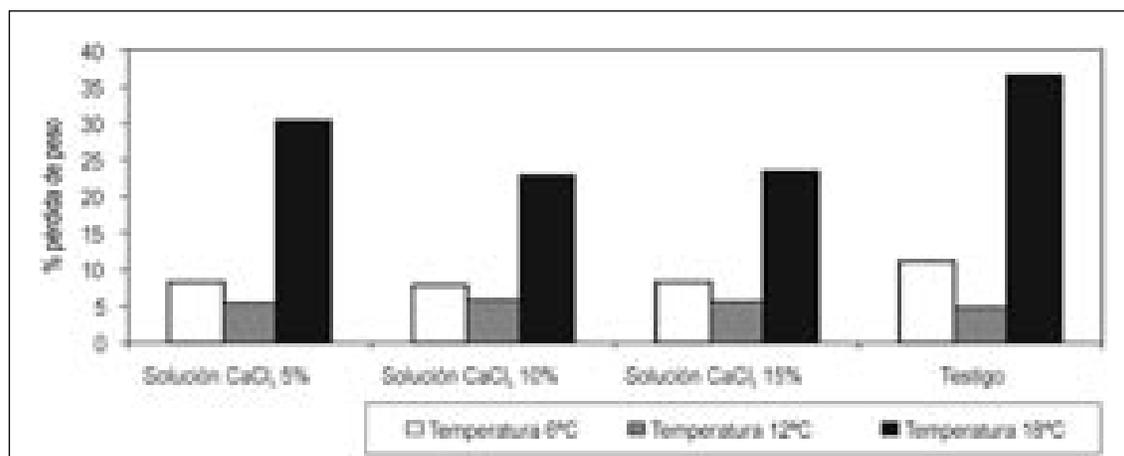
## Resultados y análisis

### Pérdida de peso

En los diferentes tratamientos se encontró que en el primer muestreo (día 5) los frutos almacenados a temperatura ambiente presentaron el mayor porcentaje de pérdida de peso, seguidos por aquellos almacenados a 6°C y a 12°C. Esta última temperatura fue la que

menor porcentaje de pérdida de peso mostró hasta el final de la evaluación, en cada concentración de calcio y comparada con las demás temperaturas (Figura 1). Un comportamiento similar fue reportado por Galvis (2002) en frutos de mango almacenados en temperaturas superiores (10° C, 12° C y temperatura ambiente) que presentaron pérdidas de peso considerables. Las mayores pérdidas de peso se observaron en las concentraciones de calcio más altas. Por su parte, mientras las menores pérdidas se presentaron a temperaturas más bajas, los tratamientos testigo exhibieron las mayores pérdidas de peso para cada temperatura de almacenamiento (Tabla 2). Esto concuerda con los datos obtenidos por Vanegas y Villamil (2001) en donde las mayores pérdidas de peso para frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) tratados con cloruro de calcio fueron observadas en aquellos sometidos a inmersiones con mayor porcentaje de calcio. Este comportamiento posiblemente sea resultado de la inmersión de los frutos en cloruro de calcio, pues es probable que se haya generado una diferencia de potencial hídrico entre la solución de cloruro y el fruto, siendo menor en la solución gracias a la actividad osmótica del cloruro de calcio, lo que ocasionó las pérdidas de agua y, por consiguiente, la reducción del peso en los frutos.

Las feijosas conservadas a temperatura ambiente (18°C) y tratadas con soluciones de cloruro de calcio más altas (10 y 15%) presentaron las mayores pérdidas de peso en el día 10. Este comportamiento cambió en el día 16, en el cual hubo menores niveles de pérdida de peso en comparación con el testigo y los frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio al 5% (Tabla 2). Las lesiones causadas por *Pestalotia sp.* aparecen en el día 16



**Figura 1.** Pérdidas finales de peso durante el almacenamiento de la feijoa (*Acca sellowiana* Berg) bajo un tratamiento poscosecha con diferentes concentraciones de cloruro de calcio.

**Tabla 2.** Porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento de feijoa a tres temperaturas diferentes (6° C, 12° C y 18° C) y bajo tratamientos poscosecha de inmersión en soluciones con concentraciones de cloruro de calcio distintas (5%, 10%, 15% y testigo).

Día	Temperatura 6°C				Temperatura 12°C				Temperatura 18°C			
	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo
5	1,461	1,591	1,723	2,217	1,155	1,334	1,271	0,894	4,245	4,157	3,923	3,651
10	3,443	3,812	3,872	4,113	2,358	3,140	3,046	2,350	5,830	8,416	8,506	7,482
16	4,121	5,462	5,706	5,870	3,497	4,141	4,252	2,243	17,508	12,265	12,711	12,139
20	5,547	6,558	6,749	6,999	4,684	4,988	4,789	3,911	26,031	17,362	20,752	15,839
25	8,259	7,803	8,171	11,085	5,340	5,794	5,701	4,851	30,174	22,768	23,541	36,461

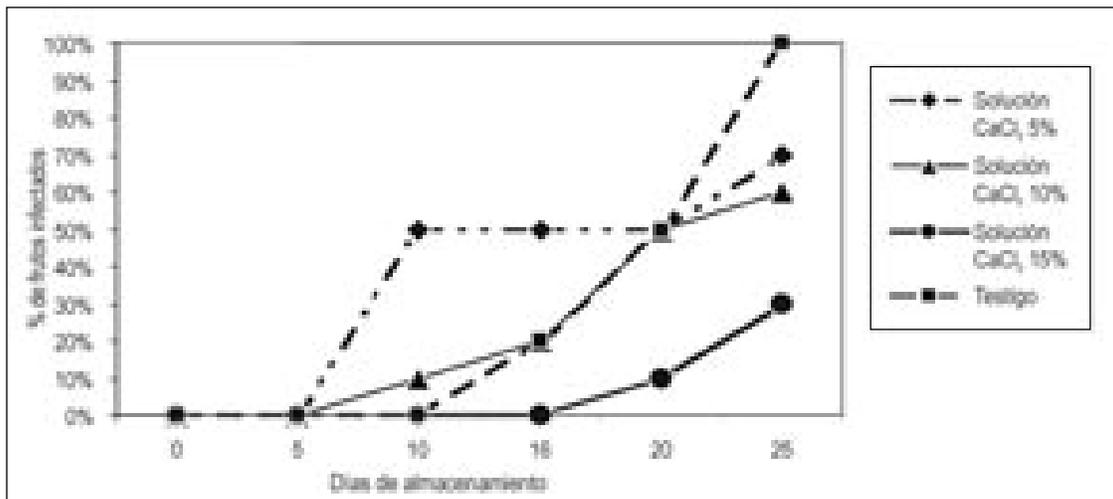
a temperatura ambiente ocasionando que las pérdidas de peso fueran mayores en los frutos no tratados (Figura 2). La invasión del patógeno ocasionó destrucción celular y pudo aumentar de manera importante la pérdida de agua, lo cual explica las diferencias con los demás tratamientos. Estas lesiones aparecieron días mas tarde en los tratamientos sometidos a inmersiones en soluciones con mayor porcentaje de calcio.

Una de las razones para explicar la invasión del patógeno a los frutos tratados con calcio es la relación existente entre este elemento y la pared celular. Al respecto, Ruiz (2000) menciona que las infecciones en el campo pueden resultar imperceptibles hasta después de la cosecha, siendo frecuente que permanezcan en latencia hasta después de la recolección y sólo se manifiestan al aumentar la maduración del producto, cuando la resistencia de la pared celular disminuye y las condiciones intrínsecas del fruto son favorables para el desarrollo del patógeno.

Es posible que el calcio inhiba de alguna forma el metabolismo de la lamina media, lo cual explicaría que los tratamientos con calcio presenten menores porcentajes de pérdida de peso, ocasionando incrementos en las tasas de respiración, las cuales se relacionan directamente con el aumento de la salida de sustratos respiratorios que se puedan encontrar en las vacuolas hacia las enzimas respiratorias presentes en el citoplasma. Por el contrario, los tratamientos con calcio permiten reducir las tasas de respiración, al mantenerse la estabilidad de las membranas (Marschner, 1993).

**Firmeza**

En el día cinco de almacenamiento no se presentaron diferencias significativas entre los frutos almacenados a las tres temperaturas probadas; sin embargo, los frutos mantenidos a 12° C tuvieron mayores niveles de firmeza en comparación con los frutos conservados a 6° C y a 18° C, los cuales exhibieron los valores más bajos respectivamente (Tabla 3); Galvis (2002) encontró que en mangos



**Figura 2.** Incidencia de la enfermedad por *Pestalotia sp.* durante el almacenamiento de la feijoa bajo tratamientos poscosecha con diferentes concentraciones de cloruro de calcio.

sometidos a diferentes concentraciones de  $\text{CaCl}_2$ , a mayor temperatura la pérdida de firmeza fue mayor.

Las concentraciones más altas de calcio (10 y 15%) causaron frutos más firmes en cada una de las temperaturas de almacenamiento (Tabla 3); este comportamiento se mantuvo hasta el día 20, después del cual no hubo diferencias para esta variable en las temperaturas más altas (12° C y 18° C). En el día 25 de almacenamiento se presentaron diferencias altamente significativas entre temperaturas, pues los valores más altos se encontraron a 6° C, 12° C y 18° C, respectivamente. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Vanegas y Villamil (2001) en frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenados con tratamientos de cloruro de calcio en la poscosecha.

En los frutos almacenados a 6°C se observó de forma clara la acción de las inmersiones en cloruro de calcio en la conservación de la firmeza en los frutos; conforme

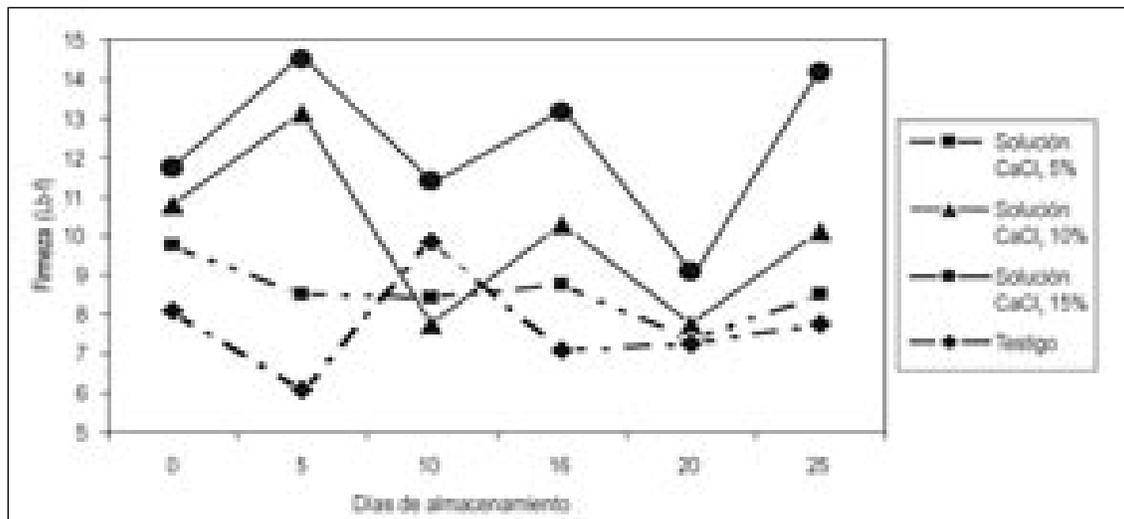
aumentó los niveles de  $\text{CaCl}_2$  en los tratamientos, se incrementó también los niveles de firmeza, posiblemente por el papel del calcio en el mantenimiento de la estructura de la lamina media (Figura 3).

En el almacenamiento a 6° C se presentó un aumento en la firmeza de los frutos con las concentraciones de calcio más altas (10% y 15%), lo cual se pudo observar en los días 16 y 25; este comportamiento es atípico en comparación con las demás condiciones de almacenamiento, en las que la firmeza disminuía conforme aumentaba el tiempo de almacenamiento, posiblemente porque las enzimas encargadas de la degradación de la pared celular (poligalacturonasas y pectinesterasas) no desarrollaron su actividad por efecto de las bajas temperaturas y las concentraciones de calcio, que reducen la velocidad de la mayoría de los procesos metabólicos (Mitcham y MacDonald, 1992) y la actividad de las poligactunorasas (Conway *et al.*, 1995) en los tejido de la fruta.

**Tabla 3.** Firmeza promedio del fruto durante el almacenamiento de feijoa a tres temperaturas diferentes y bajo tratamientos poscosecha de inmersión en soluciones con concentraciones de cloruro de calcio distintas (5%, 10%, 15% y testigo).

Día	Temperatura 6°C				Temperatura 12°C				Temperatura 18°C			
	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo
0	9,75ab*	10,83ab	11,75ab	8,08b	11,75ab	13,75ab	20,00a	17,08ab	8,50b	13,08ab	19,40a	9,91ab
5	8,5ab	13,16ab	14,5a	6,08b	12,16ab	9,08ab	13,5a	9,50ab	7,83ab	8,33ab	10,67ab	9,75ab
10	8,41ab	7,75ab	11,41a	9,83ab	8,08ab	8,83ab	9,50ab	8,08ab	5,75b	7,00ab	8,08ab	5,58b
16	8,75ab	10,33ab	13,17a	7,08ab	7,83ab	8,58ab	11,08ab	10,66ab	6,33b	9,33ab	5,32b	7,33ab
20	7,33ab	7,75ab	9,08a	7,25ab	6,75ab	10,08a	9,08a	7,58ab	4,42b	4,42b	6,50ab	6,42ab
25	8,5bcd	10,17ab	14,16a	7,75bcd	8,75bc	8,83bc	7,50bcd	8,00bcd	6,83bcd	5,43cd	3,92cd	4,58cd

\* Promedios dentro de cada fila acompañados de letras distintas denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).



**Figura 3.** Firmeza del fruto durante el almacenamiento a 6° C en diferentes concentraciones de cloruro de calcio.

Los frutos almacenados a 12° C y 18° C, presentaron un comportamiento similar entre si respecto a la pérdida de firmeza; se observó disminución en los valores de firmeza en los primeros 16 días de almacenamiento (Figura 4); sin embargo, la firmeza de las feijoas tratadas con cloruro de calcio fue superior en comparación con los testigos (Tabla 3). Los resultados obtenidos por Ruiz (2000) en melón (*Cucumis melo* L.) mostraron una disminución de los valores de firmeza del melón.

Los niveles de firmeza al final del ensayo fueron menores en los frutos almacenados a temperatura ambiente (18°C), los cuales, a pesar de ser sometidos a varias concentraciones de calcio, presentaron diferencias significativas con los tratamientos almacenados en refrigeración (Figura 5). Gelves (1998) reporta altas pérdidas de firmeza de los frutos de guayaba durante los primeros cuatro días de almacenamiento a temperatura ambiente; el ensayo realizado muestra como los frutos de feijoa tratados con calcio, especialmente con soluciones de mayor porcentaje, obtienen pérdidas menos aceleradas de firmeza.

Los valores de firmeza superiores en los frutos de feijoa pueden ocurrir por la inhibición de la actividad de la poligacturonasa, enzima que degrada los pectatos constituyentes de las paredes celulares. La actividad de esta enzima es mediada por las concentraciones de calcio internas (Marschner, 2002).

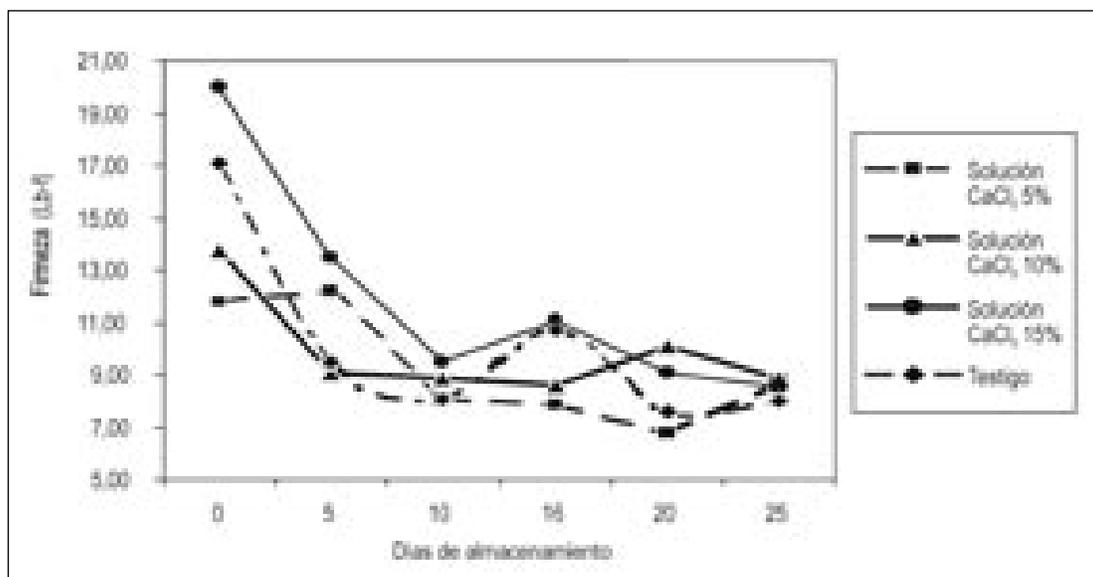
### Grados Brix

Los contenidos de sólidos solubles para el día cinco disminuyeron en comparación con los del día 0; por su parte, los frutos tratados con cloruro de calcio no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, el porcentaje de sólidos solubles totales fue más alto para los frutos almacenados a 12° C, seguidos de aquellos a 6° C y temperatura ambiente.

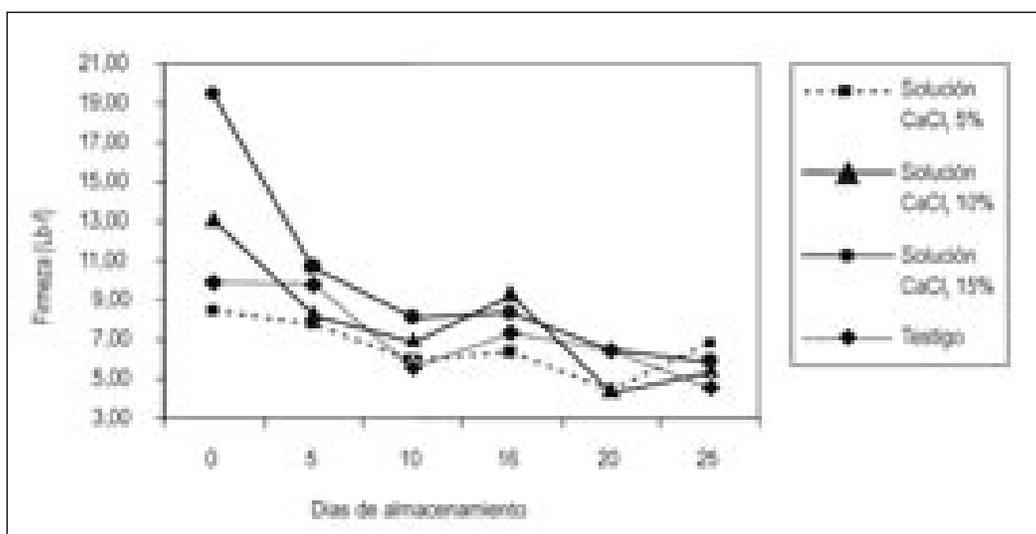
El valor de los sólidos solubles fue superior en las feijoas sometidas a la concentración más baja de cloruro de calcio (5%), seguido de las más altas (10% y 15%) respectivamente; los °Brix fueron menores para los testigos y no se presentaron diferencias significativas entre los frutos sometidos a las distintas concentraciones de cloruro de calcio y el testigo (Tabla 4).

El comportamiento de los sólidos solubles totales en los frutos durante todo el experimento fue similar al del día cinco (los tratamientos no presentaron diferencias significativas); sin embargo, las feijoas almacenadas bajo refrigeración obtuvieron en cada muestreo los valores más altos mientras que los frutos almacenados a temperatura ambiente obtuvieron los valores más bajos (Tabla 4).

Los frutos en todos los tratamientos presentaron una caída en el porcentaje de sólidos solubles para todas las condiciones de almacenamiento desde el inicio del experimento. El comportamiento decreciente en los



**Figura 4.** Firmeza del fruto durante el almacenamiento a 12° C en diferentes concentraciones de cloruro de calcio.



**Figura 5.** Firmeza del fruto durante el almacenamiento a 18° C en diferentes concentraciones de cloruro de calcio.

contenidos de sólidos solubles se mantiene hasta el final del ensayo, lo cual sugiere que en la maduración de los frutos de feijoa no se presentan transformaciones de los carbohidratos acumulados en azúcares; por consiguiente, los contenidos de éstos no se incrementan, razón por la cual el porcentaje de sólidos solubles tampoco aumenta (Arana, 1992).

Los tratamientos almacenados bajo refrigeración (6°C y 12°C) presentaron niveles más altos de sólidos solubles comparados con los frutos almacenados a temperatura ambiente, lo cual es consecuencia de las condiciones de temperatura más bajas; en estas condiciones, el ritmo respiratorio de la fruta se reduce. De otra parte se observó que los frutos testigo exhibieron los niveles de sólidos solubles más bajos, lo cual se debe posiblemente a una mayor actividad enzimática y metabólica en compara-

ción con los frutos sometidos a tratamientos con cloruro de calcio, que mostraron un contenido mayor de sólidos solubles a pesar de no haber diferencias significativas entre las concentraciones de solución usadas (Tabla 4).

### pH

En el día cinco de almacenamiento se presentaron diferencias altamente significativas entre los frutos sometidos a las distintas temperaturas de almacenamiento. El pH fue superior en las feijoas almacenadas a temperatura ambiente, si se lo compara con las feijoas almacenadas a 6° C y 12° C. No se presentaron diferencias significativas para las distintas concentraciones de cloruro de calcio; sin embargo, los valores más bajos tuvieron los frutos tratados con CaCl<sub>2</sub> al 15%; este comportamiento fue similar para los demás muestreos (Tabla 5).

**Tabla 4.** Porcentaje de sólidos solubles (°Brix) de frutos de feijoa almacenados a tres temperaturas diferentes y bajo tratamientos poscosecha de inmersión en soluciones con concentraciones de cloruro de calcio distintas (5%, 10%, 15% y testigo).

Día	Temperatura 6°C				Temperatura 12°C				Temperatura 18°C			
	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo
0	13,66a*	9,16b	10,16b	11,16ab	10,96b	10,33b	9,83b	11,00b	10,13b	9,66b	9,96b	10,00b
5	9,73a	9,66a	7,86a	8,13a	9,77a	8,60a	10,70a	9,93a	10,37a	8,70a	7,93a	7,67a
10	9,80a	8,30a	9,33a	10,33a	8,57a	6,07a	7,87a	7,83a	8,93a	7,20a	7,40a	5,93a
16	8,40a	6,80ab	6,40ab	7,73a	6,67ab	6,87ab	6,80ab	6,47ab	4,60b	6,60ab	5,73ab	5,83ab
20	9,53a	7,67ab	7,67ab	8,23ab	8,40ab	8,17ab	8,30ab	7,13abc	6,07bc	5,67bc	4,87c	4,50c
25	7,60a	7,93a	7,80a	6,80a	6,60a	6,27ab	6,07ab	6,17ab	4,50bc	3,93c	3,80c	3,60c

\* Promedios dentro de cada fila acompañados de letras distintas denotan diferencias significativas ( $P > 0,05$ ).

Para todas las temperaturas de almacenamiento los valores más bajos de pH se presentaron en los frutos sometidos a tratamientos con calcio a pesar de no presentar diferencias significativas entre sí (Tabla 5), lo cual indica que posiblemente el proceso general de maduración fue más lento en los frutos tratados con cloruro de calcio. Estos resultados son similares a los reportados por Murillo *et al.* (1999) en mango en donde los frutos con mayores contenidos de calcio presentaron aumentos menos severos en el valor del pH.

Los frutos de feijoa almacenados a 6° C y 12° C y tratados con cloruro de calcio, mostraron al final del almacenamiento valores promedio de pH significativamente menores en comparación con el testigo. Entre los tratamientos con cloruro de calcio, los frutos sometidos a inmersiones con soluciones al 15% presentaron, en general y durante todo el almacenamiento, los menores valores en cada fecha de muestreo; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre las concentraciones y los testigos. Este comportamiento se esperaba puesto que posiblemente las concentraciones más altas de calcio dentro de los frutos permiten una reducción de la actividad de la poligalacturonasa y, por consiguiente, aumentos menos severos en los niveles de pH (Marschner, 2002). Por otra parte, la acción catalítica de las enzimas tiene un rango de acción muy estrecho referente a los valores de pH, es decir un pH muy alto o muy bajo causa una disminución de la actividad de estas enzimas interfiriendo en la maduración normal de los frutos (Galvis, 2003).

En el almacenamiento a temperatura ambiente los valores de pH presentaron un incremento durante el tiempo del experimento en comparación con los frutos almacenados bajo refrigeración, lo cual es una consecuencia del nivel más alto de temperatura que aumenta

las tasas de respiración y, por consiguiente, los demás procesos metabólicos van a ser mayores que en los frutos que se conservaron a temperaturas menores.

Durante el ensayo se presentó un claro aumento en el pH de los frutos en todos los tratamientos, tendencia que se mantuvo hasta el final del ensayo. Sin embargo, los frutos tratados con soluciones de cloruro de calcio obtuvieron valores de pH más bajos, lo cual indica que los frutos sufrieron procesos de maduración más lentos.

### Porcentaje de acidez

El porcentaje de acidez de los frutos en el día cinco de almacenamiento presentó diferencias significativas, tanto para las temperaturas de almacenamiento como para las concentraciones de cloruro de calcio. El contenido de ácidos para los frutos almacenados a 6°C y 12°C fue superior en comparación con los frutos almacenados a temperatura ambiente (18°C), los cuales registraron contenidos de ácidos menores. Los frutos sometidos a concentraciones de cloruro de calcio 10%, 5% y el testigo mostraron porcentajes de acidez más reducidos; además, no presentaron diferencias significativas entre sí. La concentración más alta de cloruro de calcio (15%) fue la que presentó mayor contenido de ácido (cítrico) en los frutos, y fue significativamente diferente en comparación con los demás tratamientos, comportamiento que se mantuvo a lo largo de los muestreos (Tabla 6). Esta disminución en la cantidad de ácidos es un proceso común durante la maduración de frutos, pues durante la respiración es normal que se degraden sustancias como azúcares y distintos tipos de ácidos; por consiguiente, si la intensidad respiratoria aumenta, entonces el consumo de ácidos será mayor (Wills *et al.*, 1998).

**Tabla 5.** Valores de pH para frutos de feijoa almacenados a tres temperaturas diferentes y sometidos a tratamientos poscosecha de inmersión en soluciones con concentraciones de cloruro de calcio distintas (5%, 10%, 15% y testigo).

Dia	Temperatura 6°C				Temperatura 12°C				Temperatura 18°C			
	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo
0	4,17a*	3,63a	3,40a	3,57a	3,67a	3,73a	3,40a	3,73a	3,70a	3,90a	3,33a	4,10a
5	4,17ab	3,93ab	3,73b	4,07ab	5,70ab	5,70ab	4,20ab	5,07ab	5,58ab	6,33a	5,33ab	6,18ab
10	4,70ab	4,63ab	3,53b	3,52b	4,10ab	5,30ab	5,02ab	4,33ab	5,60ab	6,23a	5,00ab	4,83ab
16	5,47a	4,03a	4,60a	4,53a	4,67a	5,03a	4,70a	5,63a	4,40a	4,90a	4,20a	5,03a
20	4,90a	4,70a	4,53a	5,13a	5,10a	5,90a	5,40a	5,60a	4,63a	4,43a	4,63a	5,00a
25	4,67a	4,67a	4,67a	5,37a	4,87a	5,03a	4,57a	5,30a	5,77a	5,13a	5,40a	5,50a

\* Promedios dentro de cada fila acompañados de letras distintas denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

De acuerdo con la afirmación anterior los frutos que perdieron mayor cantidad de peso (Figura 1) y presentaron menor porcentaje de sólidos solubles (Tabla 4), presumiblemente por una mayor intensidad respiratoria, degradan una mayor cantidad de sustratos respiratorios entre los que se pueden contar distintos ácidos. En cada temperatura hubo diferencias significativas entre sí, lo cual indica que las distintas concentraciones de cloruro de calcio pueden disminuir la actividad metabólica de los frutos.

Entre el día 0 y el día cinco de almacenamiento se presentó una disminución en el contenido de ácidos en los frutos evaluados; no obstante, el cambio más drástico ocurrió en los testigos, lo cual se relaciona con una actividad metabólica alta de los frutos que ocasiona un alto consumo de sustratos para el metabolismo (Wills *et al.*, 1998).

Del día cinco en adelante los contenidos de ácidos en los frutos en los diferentes tratamientos mostraron diferencias significativas, a pesar de que los frutos testigos y los que fueron sometidos a inmersiones con cloruro de calcio tuvieron un comportamiento similar hasta el final del ensayo (Tabla 6). Ruiz (2000) reporta un comportamiento similar en frutos de melón (*Cucumis melo* L.) tratados con cloruro de calcio durante la poscosecha, en donde se presentaron disminuciones del contenido de ácidos de los frutos conforme aumentaban los días de almacenamiento.

### Contenido de calcio en pulpa

En todos los tratamientos se observaron diferencias significativas entre los porcentajes de calcio en pulpa de los frutos tratados con inmersiones de cloruro de calcio y los testigos (Tabla 7), lo cual indica que las inmersiones en cloruro de calcio permitieron a los frutos aumentar sus

contenidos de calcio en pulpa, y con ello, es posible que disminuyan los procesos metabólicos que conllevan a la maduración de los frutos. Xu-Ming Huang *et al.* (2005) reportan una correlación inversa entre las concentraciones de calcio internas de frutos de litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) y los procesos de maduración de los frutos. A pesar de no mostrar un comportamiento similar para los frutos tratados con cloruro de calcio y los testigos, se pudieron observar diferencias en otros aspectos: menor pH en comparación con los testigos (Tabla 5) y un mayor porcentaje de sólidos solubles totales (Tabla 7).

En el día 10 de almacenamiento se empezaron a ver los primeros síntomas de *Pestalotia sp.* en los frutos sometidos a las concentraciones más bajas de cloruro de calcio: los que fueron tratados con soluciones al 5% presentaban una incidencia del 50% (Figura 2), mientras que los frutos tratados con concentraciones más altas de calcio (10% y 15%) presentaron los porcentajes de incidencia más bajos, 10% y 0% respectivamente. Para el día 25 de almacenamiento la incidencia de la enfermedad en los frutos tratados con calcio fue mucho menor en comparación a los que contenían menor cantidad de calcio; así por ejemplo, los niveles de incidencia para el tratamiento testigo llegaron a 100% mientras que para los frutos tratados con una solución al 15% de cloruro de calcio, llegaron hasta 30%. Estos datos concuerdan con Landwehr y Torres (1995) quienes afirmaron que el calcio ejerce notable influencia sobre la desaceleración de la maduración de los frutos en poscosecha, además de conferirles resistencia al ataque de hongos.

Un resultado que fue común en todos los frutos para todas las temperaturas de almacenamiento y todas las concentraciones de calcio fue el incremento del contenido del calcio en pulpa en el último muestro, lo cual se

**Tabla 6.** Porcentaje de acidez para frutos de feijoa almacenados a tres temperaturas diferentes y sometidos a tratamientos poscosecha de inmersión en soluciones con concentraciones de cloruro de calcio distintas (5%, 10%, 15% y testigo).

Día	Temperatura 6°C				Temperatura 12°C				Temperatura 18°C			
	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo
0	0,27b*	0,17b	0,43ab	0,80a	0,36b	0,27b	0,46ab	0,35b	0,34b	0,16b	0,34b	0,43ab
5	0,19bc	0,33b	0,71a	0,27bc	0,14bc	0,16bc	0,33b	0,07c	0,14bc	0,13bc	0,10c	0,13bc
10	0,24ab	0,30ab	0,28ab	0,33a	0,17bc	0,16bc	0,19abc	0,05c	0,17bc	0,28ab	0,18abc	0,04c
15	0,18ab	0,30a	0,21ab	0,33a	0,07b	0,17ab	0,19ab	0,05b	0,16ab	0,29a	0,20ab	0,06b
20	0,20bc	0,32a	0,31a	0,06d	0,20bc	0,14bcd	0,18bc	0,04d	0,14bcd	0,10cd	0,22ab	0,05d
25	0,18a	0,12ab	0,13ab	0,05b	0,17a	0,13ab	0,13ab	0,05b	0,09ab	0,13ab	0,11ab	0,07b

\*Promedios dentro de cada fila acompañados de letras distintas denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

**Tabla 7.** Contenido de calcio en pulpa de frutos de feijoa almacenados a temperaturas diferentes y sometidos a tratamientos poscosecha de inmersión en soluciones con concentraciones de cloruro de calcio distintas (5%, 10%, 15% y testigo).

Día	Temperatura 6°C				Temperatura 12°C				Temperatura 18°C			
	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo
0	0,33bc*	0,32bc	0,41ab	0,15f	0,24de	0,27cd	0,29cd	0,18ef	0,22def	0,22def	0,42a	0,17ef
16	0,31bc	0,28bcd	0,38ab	0,18cd	0,26bcd	0,25cd	0,29bcd	0,17d	0,21cd	0,24cd	0,45a	0,16d
25	0,30b	0,35b	0,40ab	0,26b	0,37b	0,33b	0,34b	0,24b	0,23b	0,33b	0,55a	0,25b

\*Promedios dentro de fila acompañados de letras distintas denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

puede deber al movimiento del calcio desde la corteza del fruto hacia el tejido de la pulpa (Marschner, 2002).

### Relación de madurez

La relación de madurez indica el grado de maduración de los frutos. Estos valores resultan de la relación entre los grados Brix y el porcentaje de acidez de los frutos. En los frutos almacenados a 6°C y 12°C se observó un comportamiento similar de los frutos tratados con soluciones de calcio y el testigo durante los primeros 15 días de almacenamiento (Tabla 8); a partir del día 15 se tiene un incremento notable en la relación de madurez de los frutos que no fueron tratados con calcio, lo cual no sucede con los frutos sometidos a inmersiones con cloruro de calcio, manteniendo estos índices de madurez similares a los que se presentaban al inicio del ensayo.

Los frutos almacenados a temperatura ambiente y tratados con inmersiones de cloruro de calcio mostraron un comportamiento estable sin muchos cambios durante el período de almacenamiento; sin embargo, los frutos del tratamiento testigo presentaron un incremento notable de la maduración en el día cinco, el cual se mantuvo hasta el último muestreo. Este efecto pudo deberse a las lesiones y al deterioro causados por la presencia de enfermedad en estos frutos.

### Conclusiones

- Las inmersiones con cloruro de calcio (15%) prolongan la vida de poscosecha de la feijoa, debido a la posible inhibición de la actividad de las enzimas pectolíticas que degradan la pared celular, las cuales ablandan la fruta. Además, las concentraciones internas de calcio influyen de manera directa en los procesos que llevan a la maduración de los frutos, como por ejemplo, en los contenidos de ácidos y sólidos solubles.

- Los contenidos de calcio en la membrana no permiten que haya permeabilidad a la entrada de agentes extraños, ya que con las condiciones de almacenamiento en donde se presentaron síntomas, los frutos tratados con soluciones que tenían mayor porcentaje de  $\text{CaCl}_2$ , no sólo presentaron mayores porcentajes de calcio en pulpa, sino que también le permitieron a la fruta resistir por más tiempo la colonización del patógeno (*Pestalotia sp.*), lo cual se reflejó en los porcentajes de incidencia de la enfermedad en comparación con los testigos.
- En caso de deficiencias de calcio en el cultivo, las inmersiones en poscosecha en cloruro de calcio son un método efectivo para aumentar la vida útil del fruto. Los efectos de las inmersiones en  $\text{CaCl}_2$  se pueden ver en corto tiempo y sus propiedades como retardante de la maduración permiten aumentar el valor nutricional de los frutos.
- Las condiciones de almacenamiento bajo refrigeración redujeron los procesos que conllevan a la maduración en los frutos de la feijoa.
- Al incrementarse los contenidos de calcio en las frutas en tratamientos poscosecha con soluciones de  $\text{CaCl}_2$ , se presentan incrementos en la firmeza de los frutos y se retrasan los procesos de maduración.
- El almacenamiento a bajas temperaturas disminuye la actividad metabólica de frutos de feijoa lo cual, junto con contenidos adecuados de calcio, proporcionan efectos benéficos para su utilización durante la poscosecha.
- Las concentraciones de calcio más altas (10% y 15%) permitieron a los frutos de feijoa conservar sus características por más tiempo.
- Los tratamientos donde se combinan las temperaturas más bajas de almacenamiento (6°C y 12°C) y las concentraciones más altas de calcio (10% y 15%) fueron las que permitieron observar de mejor forma el efecto retardante de madurez en los frutos de feijoa.

**Tabla 8.** Relación de madurez durante el almacenamiento de feijoa en tres temperaturas diferentes y sometidos a tratamientos poscosecha de inmersión en soluciones con concentraciones de cloruro de calcio distintas (5%, 10%, 15% y testigo).

Día	Temperatura 6°C				Temperatura 12°C				Temperatura 18°C			
	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo	5%	10%	15%	Testigo
0	50,62 ab*	55,00 a	23,28 ab	13,90 b	30,18 ab	37,80 ab	21,38 ab	31,13 ab	29,80 ab	59,18 ab	29,03 ab	23,44 ab
5	51,23 bcde	29,29 de	11,08 e	29,76 de	68,14 bcd	52,65 bcde	32,10 cde	141,90 a	74,05 bc	65,25 bcd	79,33 b	60,53 bcd
10	41,41 b	27,36 b	33,33 b	31,31 b	51,40 b	38,72 b	41,40 b	146,88 a	52,55 b	25,71 b	40,36 b	136,92 a
16	46,67 b	22,42 B	30,97 b	23,20 b	86,96 ab	40,39 b	35,79 b	129,33 a	28,75 b	22,76 b	28,67 b	97,22 ab
20	47,67 cd	21,24 d	24,73 d	130,00 ab	41,31 cd	59,76 bcd	46,11 cd	152,86 b	43,33 cd	54,84 cd	22,12 d	90,00 abc
25	41,45 c	66,11 bc	60,00 bc	120,00 a	38,82 c	49,47 bc	45,50 c	115,63 ab	48,21 c	29,50 c	33,53 c	51,43 bc

\*Promedios dentro de fila acompañados de letras distintas denotan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

## Literatura citada

- Arana, C. 1992. Estudio de la calidad poscosecha del melón reticulado (*Cucumis melo* Hymark, Híbrido) como respuesta a diferentes esquemas de fertilización durante el cultivo. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 153 p.
- Conway, W.; C.E. Sams y A. Kelman. 1994. Enhancing the natural resistance of plant tissue to postharvest diseases through calcium applications. *HortScience* 29(7), 751-753.
- Conway, W.; C.E. Sams y A.E. Watada. 1995. Relationship between total and cell wall bound calcium in apples following postharvest pressure infiltration of calcium chloride. *Acta Horticulturae* 398, 31-39.
- Galvis, J.A. 2001. Estudio del comportamiento fisiológico de la feijoa (*Acca sellowiana*) en condiciones de temperatura ambiente de Bogotá. Documento sin publicar. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Galvis, J.A. 2002. Análisis del crecimiento del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Van Dyke y estudio de algunos métodos de conservación durante la poscosecha. Tesis de Doctorado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 253 p.
- Galvis, J.A. 2003. Manejo de la cosecha y poscosecha de la feijoa. pp. 111-124. En: Fischer, G.; D. Miranda; G. Cayón y M. Mazorra (eds.). Cultivo, poscosecha y exportación de la feijoa (*Acca sellowiana* Berg). Universidad Nacional de Colombia - Asohofrucol, Bogotá. 152 p.
- Gelves, C.J. 1998. Manejo post-cosecha y comercialización de la guayaba. Programa post-cosecha, Convenio SENA-Reino Unido, Bogotá.
- Landwehr, T. y F. Torres. 1995. Manejo poscosecha de frutas. Instituto Universitario Juan de Castellanos, Tunja. 234 p.
- Mitcham, E.J. y R.E. McDonald. 1992. Cell wall modification during ripening of "Keith" and "Tommy Atkins" mango fruits. *Journal of Plant Physiology* 36(1), 917-924.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. 889 p.
- Murillo, F.J. y A.B. Chitarra. 1999. Efeito do aplicação do cloreto de calcio nos frutos da manga "Tommy Atkins" tratados hidrotermicamente. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 34(5), 761-769.
- Pooaiah, B.W. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technology*, May, pp. 86-89.
- Ruiz, M L. 2000. Respuesta durante el almacenamiento del melón (*Cucumis melo* L.) híbrido excelsior a tratamientos con cloruro de calcio en precosecha y poscosecha. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. pp. 17-25.
- Steel, R. y J. Torrie. 1998. Bioestadística. Principios y procedimientos. Mc-Graw Hill, México.
- Vanegas, A.D. y C.F. Villamil. 2001 Comportamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en almacenamiento refrigerado (10°C) utilizando retardante de madurez cloruro de calcio. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 51 p.
- Wills, R.; B. McGlasson y D. Graham. 1998. Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. CABI Publishing, Wallingford, UK. 262 p.
- Xu-M.H.; H. Cong Wang y W. Qun Yuan. 2005. A study of rapid senescence of detached litchi: roles of water loss and calcium. *Postharvest Biology and Technology* 36(2), 177-189.
- Zurita, J. 2003. Mercado nacional e internacional de la feijoa. pp. 143-146. En: Fischer, G.; D. Miranda; G. Cayón y M. Mazorra (eds.). Cultivo, poscosecha y exportación de la feijoa (*Acca sellowiana* Berg). Universidad Nacional de Colombia - Asohofrucol, Bogotá. 152 p.