

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO EN LA
ESTABILIDAD DE MELÓN (*Cucumis melo* L.) FRESCO PRE-
CORTADO.

NIDIA CASAS FORERO



Universidad de
La Sabana

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS

ÉNFASIS ALIMENTOS
CHÍA, 2011

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO EN LA
ESTABILIDAD DE MELÓN (*Cucumis melo* L.) FRESCO PRE-
CORTADO.

NIDIA CASAS FORERO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN
DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS

DIRECTOR
GABRIELA CAÉZ MSc.

UNIVERSIDAD DE LA SABANA

FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÉNFASIS ALIMENTOS
CHÍA, 2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

PhD. Luz Indira Sotelo Díaz

PhD. José Mauricio Pardo Benito

MSc. Ligia Rodríguez Piedrahita

Chía, 1 de Agosto de 2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la fuerza que proporciona a mi vida.

A mis padres y mi hermanita por creer siempre en mí y ser mi apoyo incondicional.

A Gabriela por su amistad, ayuda y horas de dedicación.

A Lili, Helen, Jacquie, Pili, Yuta, Anita y Gus, por su amistad, ánimo y alegría; siempre estando en el momento justo.

A mis profesores por todo el conocimiento transmitido.

A Martica, Pili, Carito, Jorge y Antonio por su paciencia y colaboración en todo lo que necesitaba en el laboratorio.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Sabana, por permitirme hacer uso de sus instalaciones para el desarrollo de mi trabajo experimental.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera aportaron en algo en este trabajo y en mi vida.

Para todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud

RESUMEN

La calidad de frutas frescas precortadas depende de atributos sensoriales, mecánicos, enzimáticos y microestructurales. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de calcio sobre la estabilidad del tejido de melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado frente a sus atributos morfométricos, físicos, enzimáticos y de calidad, realizando una evaluación después del tratamiento y durante el tiempo de almacenamiento. Al aplicar baños cálcicos con diferentes fuentes de calcio: lactato, cloruro y propionato, se estableció que el calcio presenta un efecto positivo en la preservación de la estructura del tejido vegetal, asociado con una reducción en la pérdida de la firmeza. Esto es debido a que la activación de la pectil metil esterasa, libera ácidos que interactúan con el calcio permitiendo la estabilización de la pared celular. En relación a los atributos morfométricos celulares, se evidenció un efecto positivo del lactato y del cloruro reduciendo los cambios en la forma y tamaño celular frente a la muestra control. El atributo sensorial que mostró el mayor cambio fue el aroma, el cual se intensificó con aplicación de los baños cálcicos especialmente con el tratamiento con lactato. Los resultados de la evaluación inicial del efecto del calcio indican que el tratamiento a 60°C con cloruro y lactato al 1% durante 3 min, presentan los menores cambios frente a la muestra control. Las muestras tratadas con estos dos tratamientos se almacenaron durante 14 días a 5°C, mostrando un efecto positivo en estabilidad del tejido respecto de la muestra control, evitando el ablandamiento del tejido, la reducción en la pérdida de peso por la liberación de fluidos y el conservación de las características de calidad sensorial del producto principalmente para las muestras tratadas con lactato. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede inferir que la aplicación de calcio tiene un efecto positivo en la estabilidad del tejido, siendo la mejor fuente de calcio el lactato, el cual permitió extender la vida útil del melón fresco precortado en 9 días, siendo una buena alternativa de procesamiento frente al proceso convencional. Por otra parte, se encontró una correlación lineal múltiple entre la firmeza y los parámetros morfométricos, lo que permitió describir los cambios a nivel macro a través de las fluctuaciones en el tamaño y forma celular.

ABSTRACT

The quality of pre-cut fresh fruit depends on sensory, mechanical, enzymatic and microstructural attributes. The objective was to evaluate calcium application effect over tissue stability of pre-cut fresh melon (*Cucumis melo* L.) face to their morphometric, physical, enzymatic and quality attributes, evaluating after treatment and during the storage time. Applying calcium baths with different sources as calcium lactate, chloride and propionate was established that calcium has a positive effect retaining plant tissue structure, associated with a reduction in the loss of firmness. This is due to activation pectin methylesterase, liberating pectin acids that interact with calcium, allowing cell wall stabilization. Related to cellular morphometric attributes, it was found a positive effect of lactate and chloride, diminishing changes in cell shape and size compared to the control sample. The sensory attribute which showed the maximum change was aroma, intensified by application of bath especially at calcium lactate treatment. Initial evaluation results indicated that treatment, at 60°C with chloride and lactate at 1% for 3 min, had the lowest changes compared to the control sample. Samples treated with these two treatments were stored for 14 days at 5°C, showing a positive effect on tissue stability about the control sample, avoiding softening of tissue, reducing weight loss by liberation of fluids and preserving sensory quality, mainly for those treated with lactate. According to the results it can be inferred that the application of calcium has a positive effect on stability tissue, being the best source the calcium lactate, which allowed extending shelf life pre-cut fresh melon in 9 days. It seems to be a good alternative compared to conventional process. Moreover, it was found a multiple lineal correlation between firmness and morphometric attribute, which allowed describing macro level changes through fluctuations in cell size and shape.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	OBJETIVOS.....	16
3.	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	17
4.	CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	20
4.1	Sector Hortofrutícola.....	20
4.2	Melón.....	21
4.3	Productos mínimamente procesados.....	23
4.4	Aplicación de baños cálcicos.....	27
4.5	Tejido vegetal.....	31
4.6	Mecanismos de acción del calcio sobre el tejido vegetal.....	33
4.7	Evaluación morfoestructural del tejido celular.....	36
4.8	Tratamiento de imágenes digitales.....	42
5.	CAPITULO 2. METODOLOGÍA.....	49
5.1	Selección de la materia prima.....	49
5.2	Preparación de las muestras.....	49
5.3	Aplicación de tratamientos.....	49
5.4	Métodos Analíticos.....	51
5.4.1	Análisis fisicoquímicos.....	51
5.4.2	Análisis de textura.....	52
5.4.3	Análisis enzimático.....	52
5.4.4	Análisis sensorial.....	53
5.4.5	Análisis microbiológico.....	54
5.4.6	Análisis parámetros morfométricos.....	54

5.5	Análisis estadístico.....	61
6.	CAPITULO 3. ARTICULO No 1.....	62
	Cambios morfológicos y de calidad por aplicación de tres fuentes de calcio bajo tratamiento térmico suave en melón (<i>Cucumis melo</i> L.) fresco precortado	
7.	CAPITULO 4. ARTICULO No 2.....	79
	Efecto del aplicación de calcio sobre los cambios morfológicos y de calidad durante el almacenamiento de melón fresco pre-cortado (<i>Cucumis Melo</i> L.)	
8.	CAPITULO 5. DISCUSIÓN GENERAL.....	96
9.	CONCLUSIONES.....	107
10.	RECOMENDACIONES.....	109
11.	ANEXOS.....	110

TABLAS

4.1	Calibre de melón variedad Cantaloupe (NTC 5207/04).....	22
4.2	Métodos de aplicación de calcio en frutas.....	29
4.3	Evaluación microestructural del tejido vegetal en diferentes matrices.....	38
5.1	Descriptores de calidad de melón fresco precortado.....	53
6.1	Descriptores de calidad de melón fresco precortado.....	66
6.2	Caracterización de melón fresco precortado.....	67
6.3	Valores de firmeza de muestras de melón tratadas con y sin calcio.....	68
6.4	Actividad enzimática de PME.....	69
7.1	Descriptores de calidad de melón fresco precortado.....	84
7.2	Valores de acidez y pérdida de peso para melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.....	85
7.3	Actividad enzimática de PME (nkat) de melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.....	89
8.1	Tabla de componentes principales para tratamiento 1.....	98
8.2	Matriz de correlación de Pearson – Tratamiento 1.....	99
8.3	Tabla de componentes principales para tratamiento 2.....	101
8.4	Matriz de correlación de Pearson – Muestra Control.....	102
8.5	Matriz de correlación de Pearson – Cloruro de Calcio.....	103
8.6	Matriz de correlación de Pearson – Lactato de Calcio.....	103

FIGURAS

4.1	Tabla de color de melón variedad cantaloupe (NTC 5207/04).....	23
4.2	Modelo aceptado de la pared celular.....	32
4.3	Papel del calcio en la estructura de la pared celular Modelo caja de huevos.	34
4.4	Representación esquemática de las posibles reacciones de conversión de la pectina por efecto de tratamientos térmicos.....	35
5.1	Diseño experimental – Tratamiento No 1.....	50
5.2	Diseño experimental – Tratamiento No 1.....	51
6.1	Relación entre la firmeza de las muestras de melón tratado frente a la actividad enzimática de la PME.....	70
6.2	Imágenes de los cambios microestructurales del tejido de melón después de la aplicación de los tratamientos.....	71
6.3	Relación entre los parámetros de factor de forma y área celular.....	72
6.4	Relación entre los parámetros de factor de forma y elongación celular.....	73
6.5	Relación entre la firmeza y el área celular.....	74
6.6	Relación aceptación vs calidad sensorial en muestras de melón fresco y tratado.....	75
7.1	Recuento microbiológico mesófilos aerobios totales en muestras control y tratadas con cloruro y lactato de calcio durante almacenamiento a 5°C....	87
7.2	Valores de la firmeza de muestra control y tratada con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.....	88
7.3	Cambios microestructurales del tejido de melón después del almacenamiento.....	90
7.4	Comportamiento de parámetros morfométricos de área y elongación de muestras control y tratada con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.....	91
7.5	Relación aceptación vs calidad sensorial en muestras de melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.....	92
8.1	Gráfico de dispersión dimensional de las puntuaciones de CP1, CP2 -	98

	Tratamiento No 1.....	
8.2	Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales.....	104

ANEXOS

1.	Artículo publicado en Memorias encuentro ENID 2010.....	110
2.	Certificado de participación en ponencia encuentro ENID 2010.....	116
3.	Artículo aprobado para participar en ENEIQ 2011.....	117
4.	Certificado de participación en ponencia encuentro ENEIQ 2011.....	127
5.	Artículo aprobado para participación como poster en CIBIA 2011.....	128
6.	Carta de aceptación para sometimiento a arbitraje de artículo científico...	133
7.	Pruebas estadísticas análisis de parámetros morfométricos.....	134

1. INTRODUCCIÓN

Las frutas y vegetales juegan un papel importante en la nutrición humana, ya que son una fuente importante y considerable de vitaminas, minerales, fibra dietética y antioxidantes. En la actualidad su consumo ha aumentado, debido a las intensas recomendaciones que se dan por los beneficios que trae consigo su ingesta diaria a la salud. En el mundo el consumo de frutas y hortalizas es creciente. La Organización Mundial de la Salud recomienda un consumo mínimo de 120 kg/persona/año. En la Unión Europea el consumo es en promedio de 138,4 kg/persona/año, en Estados Unidos se consumen unos 90 kg/persona/año, mientras que en Colombia solamente se consumen alrededor de 40 kg/persona/año (Marquez, 2009).

Dentro de estos consumos mundiales el melón ocupa el cuarto lugar entre las frutas más consumidas, después de la naranja, el banano y las uvas. Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, se estima en un consumo de melón per cápita de 5,3 kg para la variedad Cantaloupe y 1,23 kg para la variedad Honeydew (USDA, 2008), el cual ha incrementado gracias al auge de los productos procesados en fresco.

El melón (*Cucumis melo L*) se produce principalmente en China, Turquía, Estados Unidos, España e Irán con una producción que supera el 60% mundial, otros países productores son: Brasil, México, Costa Rica, Honduras, Republica Dominicana, Venezuela, Ecuador y Guatemala en América; Francia, Rumania e Italia en Europa y Marruecos, Egipto y África del Sur en África. Siendo los melones Cantaloupes, la variedad dominante de melones cultivados, seguido de los melones, Honeydew, Crenshaw y Casaba, con una producción a escala limitada (AMPEX, 2006).

La participación de Colombia para el año 2008 en la producción mundial de melón fue del 0,1%, en un área productiva de 1.900 ha con una producción de 23.000 Ton/año y un rendimiento promedio de 12 Ton/ha/año, siendo los principales departamentos productores Atlántico, Magdalena, Bolívar, Valle del Cauca, Santander, Huila, Tolima y Boyacá (MinAgricultura, 2008).

Aún cuando en Colombia la producción es baja se debe aprovechar el potencial de consumo que presenta el melón a nivel mundial y explorar la oportunidad de incursionar en el mercado a través del desarrollo de alternativas de procesamiento que permitan extender su vida útil. De esta manera se lograría proporcionar un producto con valor agregado, listo para su consumo, sensorialmente agradable, garantizando su seguridad y calidad nutricional. Debido a que el melón como todas las frutas, es un producto que sigue vivo

después de cosechado, continua respirando, liberando energía y calor, perdiendo humedad y sujeto al deterioro. Esto produce pérdidas en relación a su comercialización y aceptación por parte del consumidor.

Por consiguiente, hay una necesidad de encontrar alternativas que permitan su conservación, de manera que se pueda proporcionar al consumidor productos frutícolas, de fácil consumo, parecidos sensorialmente al producto fresco, con una vida útil más prolongada y al mismo tiempo, garantizar un adecuado aporte nutritivo (Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003). Se espera promover este tipo de productos dentro de un nicho de mercado con cambios de estilo de vida, que busca productos que reduzcan el tiempo de preparación, más saludables, fáciles de almacenar, que proporcionen una calidad más uniforme, una menor manipulación y con una mayor conciencia en la importancia del consumo de frutas.

Estos productos mínimamente procesados, son considerados alimentos de IV Gama o pre-cortados, los cuales están definidos como aquellas hortalizas y frutas frescas, limpias, peladas enteras y/o cortadas de diferentes maneras y empacadas al vacío o en atmósferas modificadas con o sin utilización de gases, cuyo mínimo procesamiento permite mantener sus propiedades naturales, facilitando su uso por parte del consumidor ya sea para consumo directo o para preparaciones culinarias (Ahvenainen, 1996).

Dentro de las características de mayor importancia en este tipo productos, se encuentra la firmeza, un atributo de calidad fundamental en la determinación de la aceptabilidad de las frutas frescas pre-cortadas por parte del consumidor. Esta característica es afectada negativamente durante el procesamiento, debido a las reacciones metabólicas que se desencadenan, que disminuyen la firmeza del tejido. Esto es debido a la pérdida de la integridad estructural de las paredes celulares, lamina media y membrana celular. Los cambios se reflejan a nivel macro, en: pérdida de peso por los procesos de exudación, ablandamiento de los tejidos por acciones enzimáticas, aumento en la intensidad de la tasa respiratoria, aumento en la producción de etileno, presencia de alteraciones microbiológicas y pérdida de las características organolépticas como sabor, aroma y color propias del producto (McAtee P, 2009; Oey et al., 2007; Oey, Vanstreels, De Baerdemaeker, Tijskens, Ramon & Nicolai, 2006).

El desarrollo de productos frescos pre-cortados con mejores atributos se puede lograr mediante la aplicación de diferentes técnicas, las cuales han sido objeto de estudio desde hace años. Entre ellas, cabe destacar la incorporación de calcio mediante baños cálcicos (Alandes, Hernando, Quiles, Pérez-Munuera & Lluch, 2006; Alandes, Quiles, Pérez-Munuera & Hernando, 2009b; Bett-Garber, Greene, Lamikanra, Ingram & Watson, 2011;

Bett-Garber, Watson, Lea, Champagne & Lamikanra, 2010; Cybulska, Zdunek & Konstankiewicz, 2011; Fan, Annous, Beaulieu & Sites, 2008; Lamikanra & Watson, 2004; Rico, Martín-Diana, Frías, Barat, Henahan & Barry-Ryan, 2007), a través de los cuales se busca preservar el tejido celular retrasando la senescencia, reduciendo el ablandamiento del tejido y controlando el desarrollo de alteraciones fisiológicas.

El calcio interactúa con las pectinas formando una red polimérica que fortalece la pared celular, contribuyendo al mantenimiento de la firmeza del tejido mediante un incremento en la integridad de la membrana. Los efectos positivos de la aplicación de tratamientos de calcio para mantener la estabilidad del tejido en frutas, se observan a nivel macroscópico son causados por cambios que ocurren a nivel celular y microestructural. Dichos cambios están relacionados con la variación en los parámetros morfométricos como la forma y el tamaño de la células en el tejido, la pérdida de cohesión y la disminución del grado de unión intermolecular de los polímeros de la pared celular (Manganaris, Vasilakakis, Diamantidis & Mignani, 2007; Mayor, Pissarra & Sereno, 2008; Trejo Araya et al., 2007).

Como variables para evaluar la calidad de las frutas se han aplicado indicadores físicos y químicos incluyendo peso del fruto, sólidos solubles totales, acidez total, color externo o interno, textura, entre otros. Sin embargo, si se incorporan dentro de estas pruebas la compresión de los cambios microestructurales y su relación con la textura (Trejo Araya et al., 2007; Zdunek & Umeda, 2005) se puede aproximar la comprensión del efecto de la aplicación de los tratamientos en la calidad de las frutas. Este enfoque contribuye con nuevos elementos para el diseño de procesos tecnológicos en la industria agroindustrial así como herramientas de control de calidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se busca evaluar los parámetros físicos y morfométricos que permiten describir el efecto de la aplicación de calcio sobre el tejido de melón fresco pre-cortado. De esta manera se podría desarrollar una alternativa de evaluación que permita correlacionar los cambios a nivel macro y micro-estructural para establecer el efecto de aplicación de tratamientos que buscan mantener la estabilidad del tejido en frutas pre-cortadas.

Referencias.

- Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 7, 179 - 186
- Alandes, L., Hernando, I., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Lluch, M. A. (2006). Cell Wall Stability of Fresh-Cut Fuji Apples Treated with Calcium Lactate. *Journal of Food Science*, 71(9), S615-S620.
- Alandes, L., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Hernando, I. (2009). Improving the Quality of Fresh-Cut Apples, Pears, and Melons Using Natural Additives. *Journal of Food Science*, 74(2), S90-S96.
- AMPEX (2006). Perfil de Mercado del Melón fresco (*Cucumis Melo L.*). AMPEX - Asociación macrorregional de productores para la exportación, 33.

- Bett-Garber, K. L., Greene, J. L., Lamikanra, O., Ingram, D. A., & Watson, M. A. (2011). Effect of storage temperature variations on sensory quality of fresh-cut cantaloupe melon *Journal of Food Quality*, 34(1), 19-29.
- Bett-Garber, K. L., Watson, M. A., Lea, J. M., Champagne, E. T., & Lamikanra, O. (2010). Effect of combined underwater processing and mild pre-cut heat treatment on the sensory quality and storage of fresh-cut cantaloupe melon *Journal of Food Quality*, 33(4), 424-438.
- Cybulska, J., Zdunek, A., & Konstankiewicz, K. (2011). Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. *Journal of Food Engineering*, 102(3), 217-223.
- Fan, X., Annous, B. A., Beaulieu, J. C., & Sites, J. E. (2008). Effect of Hot Water Surface Pasteurization of Whole Fruit on Shelf Life and Quality of Fresh-Cut Cantaloupe. *Journal of Food Science*, 73(3), M91-M98.
- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2004). Effect of Calcium Treatment Temperature on Fresh-cut Cantaloupe Melon during Storage. *Journal of Food Science*, 69(6), C468-C472.
- Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G., & Mignani, I. (2007). The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, 100(4), 1385-1392.
- Marquez, C. (2009). Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutracéutica, estructural y sensorial de la Guanábana (*Annona muricata L. cv. Elita*). *Departamento de Ciencias Agronómicas* vol. Doctor en Ciencias (p. 274). Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Mayor, L., Pissarra, J., & Sereno, A. M. (2008). Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 326-339.
- McAtee P, H. L., Johnston J, Schaffer R (2009). A rapid method of fruit cell isolation for cell size and shape measurements. *Plant Methods*, 5(5), 1 - 7.
- MinAgricultura (2008). Informe técnico, Bogotá, D.C.: Oficina de Información y Estadística. . *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*, 13p.
- Oey, M. L., Vanstreels, E., De Baerdemaeker, J., Tijskens, E., Ramon, H., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolaï, B. (2007). Effect of turgor on micromechanical and structural properties of apple tissue: A quantitative analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 240-247.
- Oey, M. L., Vanstreels, E., De Baerdemaeker, J., Tijskens, E., Ramon, H., & Nicolaï, B. (2006). Influence of Turgor on Micromechanical and Structural Properties of Apple Tissue. *IUFOST 2006*.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Barat, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1196-1206.
- Soliva-Fortuny, R. C., & Martín-Belloso, O. (2003). Microbiological and biochemical changes in minimally processed fresh-cut Conference pears. *European Food Research and Technology*, 217(1), 4-9.
- Trejo Araya, X. I., Hendrickx, M., Verlinden, B. E., Van Buggenhout, S., Smale, N. J., Stewart, C., & John Mawson, A. (2007). Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: A microstructural and biochemical approach. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 873-884.
- USDA (2008). Economic Research Service - United States Department Agriculture.
- Zdunek, A., & Umeda, M. (2005). Influence of cell size and cell wall volume fraction on failure properties of potato and carrot tissue. . *Journal of Texture Studies*, 36(1), 25-43.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de calcio en el tejido de melón (*Cucumis melo* L.) fresco pre-cortado frente a los cambios morfométricos, físicos, enzimáticos y de calidad.

2.2 Objetivos Específicos

- Estandarizar la metodología para la evaluación de cambios morfométricos en relación a los atributos de contorno y encogimiento celular en el tejido de melón empleando análisis de imágenes digitales.
- Evaluar el efecto de las condiciones de aplicación de calcio sobre las características morfométricos, físicas y enzimáticas de melón fresco pre-cortado.
- Determinar las dos condiciones de tratamiento de calcio que mantengan mejor la calidad de producto fresco.
- Establecer el efecto del calcio en el tejido de melón fresco pre-cortado durante su almacenamiento frente las propiedades morfométricos, físicas, enzimáticas y de calidad.
- Establecer una correlación entre los cambios de los atributos morfométricos, físicos y enzimáticos que permita determinar la interrelación de estos factores.

3. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La presente tesis está organizada en 5 capítulos, de los cuales los capítulos 3 y 4 corresponden a artículos científicos asociados a los resultados obtenidos durante la investigación. En cada uno se ha seguido el esquema de: resumen, introducción, objetivo, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones y referencias.

A continuación se describen el contenido de cada uno de los capítulos.

Capítulo 1. Revisión bibliográfica.

En este capítulo se expone la revisión bibliográfica en relación a los siguientes temas: sector hortofrutícola, melón, productos mínimamente procesados, fuentes de calcio, condiciones de aplicación y su efecto a nivel de tejido celular, descriptores físicos y morfométricos.

Capítulo 2. Metodología

El capítulo se describe la metodología para la determinación de las características fisicoquímicas, enzimáticas, estructurales, sensoriales, microbiológicas y se hará especial énfasis en la evaluación a través de análisis de imágenes digitales de los cambios morfométricos del tejido en relación a los atributos de encogimiento celular, determinado por los valores de cambios en tamaño: área, perímetro, longitud máxima, longitud mínima y diámetro de Ferrer, y de forma: elongación, factor de forma y compacidad, que corresponde al objetivo 1.

Capítulo 3. Cambios morfométricos y de calidad por aplicación de tres fuentes de calcio bajo tratamiento térmico suave en melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado

Este capítulo con formato de artículo científico presenta los resultados del objetivo 2 y 3, para evaluar el efecto que tiene el uso de baños cálcicos sobre la estabilidad del tejido de melón fresco precortado en relación a sus propiedades de textura, actividad enzimática de pectinmetilesterasa, características morfométricas de las células del tejido y análisis sensorial. Se observan los resultados de la aplicación de tres fuentes de calcio: cloruro, lactato y propionato de calcio a dos concentraciones y tres tiempos de tratamiento. De los resultados obtenidos se determinaron las dos condiciones de proceso que permiten mantener las características del tejido del melón.

Capítulo 4. Efecto del aplicación de calcio sobre los cambios morfométricos y de calidad durante el almacenamiento de melón fresco pre-cortado (*Cucumis Melo L*)

En este caso, con formato de artículo científico, se presentan los resultados del objetivo 4, estableciendo el efecto de la aplicación de calcio bajo dos condiciones de proceso en la estabilidad del tejido de melón fresco precortado almacenado durante 14 días a 4°C frente a una muestra control sin tratamiento. La evaluación incluye el seguimiento de los cambios en las características fisicoquímicas: pH, acidez, SST, pérdida de peso y textura, actividad enzimática de pectinmetilesterasa, características morfométricas, evaluación sensorial y recuento microbiológico. Los resultados determinan el tratamiento apropiado para mantener la estabilidad de muestras de melón fresco precortado dentro de un esquema de mínimo procesamiento a fin de obtener una alternativa frente al procesamiento convencional.

Capítulo 5. Discusión final

En este capítulo se realiza una discusión general de los resultados obtenidos para los objetivos planteados en el trabajo de tesis. Asimismo se presenta la correlación entre los cambios de los atributos morfométricos, físicos y enzimáticos, que corresponde a los resultados del objetivo 5.

DIVULGACIÓN DE RESULTADOS.

A continuación se listan las divulgaciones realizadas durante desarrollo del proyecto de investigación, los cuales se presentan en el anexo 1.

- Casas Nidia, Caez Gabriela. 2010. Efecto de la aplicación de tratamiento térmico suave combinado con calcio sobre la firmeza y la microestructura de melón fresco precortado (*Cucumis melo L.*). ENID. ISBN 978-958-719-571. (Anexo 1 - Artículo publicado en Memorias Encuentro)
- Casas Nidia. 2010. Efecto de la aplicación de tratamiento térmico suave combinado con calcio sobre la firmeza y la microestructura de melón fresco precortado (*Cucumis melo L.*). En: Encuentro Nacional de Investigación & Desarrollo – ENID. 22 al 24 de Septiembre de 2010. Bogotá. Presentación Oral (Anexo 2 – Certificado de participación en ponencia)
- Casas Nidia, Caez Gabriela. 2011. Efecto de la aplicación de calcio bajo tratamiento térmico suave sobre la estabilidad del tejido de melón cantaloupe (*Cucumis melo L.*) fresco precortado. En: Encuentro Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química y

Procesos – ENEIQ. ISBN 978-958-719-892-8. (Anexo 3 – Artículo publicado en Memorias Encuentro).

- Casas Nidia. 2010. Efecto de la aplicación de tratamiento térmico suave combinado con calcio sobre la firmeza y la microestructura de melón fresco precortado (*Cucumis melo* L.). En: Encuentro Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química y Procesos – ENEIQ. 20 al 25 de Junio de 2011. Bogotá. Presentación Oral (Anexo 4 – Certificado de participación en ponencia)
- Casas Nidia, Caez Gabriela. 2011. Efecto de la aplicación de calcio bajo tratamiento térmico suave sobre los cambios morfométricos y de firmeza durante el almacenamiento de melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado. En: Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos - CIBIA. Perú. (Anexo 5 – Artículo aprobado para participación como poster).
- Casas Nidia, Caez Gabriela. 2011. Cambios morfométricos y de calidad por aplicación de tres fuentes de calcio bajo tratamiento térmico suave en melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado. Artículo sometido a la Revista Mexicana de Ingeniería Química. (Anexo 6 – Carta de Aceptación para sometimiento a arbitraje).

4. CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La búsqueda de información partir de fuentes bibliográficas pertinentes se efectuó empleando principalmente las bases de datos como Science direct, Blackwell Sinergy y Springerlink. Esta revisión fundamenta desde el marco del sector hortofrutícola, las características propias del fruto del melón haciendo énfasis en sus atributos calificadorios de madurez. Profundizando en los cambios derivados del procesamiento para un esquema de productos mínimamente procesados. Se describe la aplicación específica de baños cálcicos como alternativa de estabilización en los cambios propios del tejido, indicando los mecanismos de acción del calcio, para concluir en la pertinencia del análisis de imágenes para el seguimiento de los cambios morfométricos.

4.1. Sector hortofrutícola.

Las frutas y hortalizas representan dentro del sector agroalimentario el de mayor importancia a nivel mundial. Según los datos de la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación la producción mundial de frutas y hortalizas frescas ha crecido a un promedio anual del 2,6% (2000-2007), ascendiendo a cerca de 1.465 millones de toneladas, de las cuales el 37,9% corresponde a frutas y el resto a hortalizas, siendo Asia el primer productor mundial (64,3%), seguido por Europa, África, Suramérica y Norteamérica Centroamérica, Caribe y Oceanía (FAO, 2008),.

En Colombia, la producción de frutas y hortalizas ha tenido una tasa de crecimiento anual del 3% entre el 2005 y 2009, con una producción promedio de 5,1 millones de toneladas, contribuyendo con el 19% de la producción Nacional Agrícola (ASOHOFRUCOL, 2010). A pesar de su discreta participación en la agroindustria nacional, la industria procesadora podría desempeñar un importante papel dinamizador del sector hortofrutícola, debido a la importancia de la producción y comercialización de productos hortofrutícolas con valor agregado. Como estrategia podría buscar opciones para satisfacer las preferencias del consumidor por productos frescos que conserven sus cualidades de nutrición y calidad enmarcada en productos pre-cortados, porciones individuales y listos para consumir, y de otra parte satisfacer la creciente demanda de los mismos en los mercados internacionales, algunos de ellos considerados de alto valor. Ambas propuestas determinan un potencial de crecimiento favorable para este sector en el país.

En el mundo el consumo de frutas y hortalizas es creciente, y la Organización Mundial de la Salud recomienda un consumo mínimo de 120 kg/persona/año. En la Unión Europea el consumo es en promedio de 138,4 kg/persona/año, en Estados Unidos se consumen unos 90

kg/persona/año, mientras que en Colombia solamente se consumen alrededor de 40 kg/persona/año (Marquez, 2009). Dentro de este grupo de productos de alto consumo a nivel mundial, el melón ocupa el cuarto lugar entre las frutas más consumidas, después de la naranja, el plátano y las uvas. Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, se estima en un consumo de melón per cápita de 5,3 kg para la variedad Cantaloupe y 1,23 kg para la variedad Honeydew, el cual se ha incrementado su consumo gracias al auge de los productos procesados en fresco (USDA, 2008).

4.2. Melón

El melón (*Cucumis melo* L.) es una planta cucurbitácea originaria de Asia occidental y África. Dentro de la familia Cucurbitaceae, pertenece a la subfamilia Cucurbitoideae, tribu Melothrieae, género *Cucumis*, especie *melo*. Hay un gran número de variedades dentro de *Cucumis melo*, debido al gran polimorfismo que posee, tanto en hojas y flores, como en el color, tamaño, forma u otras características (Ogbonna & Odo, 2011).

El melón se produce principalmente en China, Turquía, Estados Unidos, España e Irán con una producción que supera el 60% mundial, otros países productores son: Brasil, México, Costa Rica, Honduras, República Dominicana, Venezuela, Ecuador y Guatemala en América; Francia, Rumania e Italia en Europa y Marruecos, Egipto y África del Sur en África, siendo el melón Cantaloupe, la variedad dominante de melones cultivados, seguido de las variedades Honeydew, Crenshaw y Casaba (AMPEX, 2006).

La participación de Colombia para el año 2008 en la producción mundial de melón fue del 0,1%, en un área productiva de 1.900 ha con una producción de 23.000 Ton/año y un rendimiento promedio de 12 Ton/ha/año, siendo los principales departamentos productores Atlántico, Magdalena, Bolívar, Valle del Cauca, Santander, Huila, Tolima y Boyacá (MinAgricultura, 2008).

El melón es un fruto carnoso y puede variar el color de su pulpa entre blanca, amarilla, cremosa, anaranjada, asalmonada o verdosa. Los frutos son normalmente redondos u ovalados con cáscara lisa, reticulada o estriada de color verde, amarillo, anaranjado, blanco, y pueden pesar entre 1 y 3 kilos. Las principales variedades de melón son: Cantaloupe, que se caracteriza por frutos esféricos, con peso promedio entre 700 y 1200 gramos, piel fina y pulpa de color naranja, dulce y de aroma característico; y Honey Dew, que tiene una cáscara verde amarilla granulosa y pulpa naranja, con la piel lisa o estriada (Nunez-Palenius, Gomez-Liu, Ochoa-Alijo, Grumet, Lester & Cantliffe, 2008).

El melón, es considerado como la fruta con mayor aporte de β -caroteno o provitamina A 169 μ g/100g el cual corresponde al 19% de la cantidad diaria recomendada, constituyéndose en una buena fuente de antioxidantes; lo que otorga un poder defensivo contra la degradación celular, reforzando el sistema inmune y contrarrestando la acción de los radicales libres que dañan y envejecen al organismo, y ayudan a reducir el riesgo de contraer cáncer (FAO, 2010). Igualmente presenta un alto contenido de sodio de 10 mg/100g y aporta vitamina C en 32,1mg/100g, siendo recomendable su consumo para personas que sufren intolerancia a los cítricos. También es una buena fuente de minerales como el potasio, magnesio y calcio (FAO, 2010).

Para la determinación de la calidad de melón cantaloupe en Colombia se cuenta con la Norma NTC 5207/04, la cual establece los requisitos que debe cumplir el melón destinado para consumo en fresco o procesado.

1. Clasificación por categorías de acuerdo con los defectos de la superficie del fruto independiente del calibre y el color (NTC 5207/04).
 - Extra: lesiones <5% del área superficial, atribuibles a golpe de sol y ligeros defectos en el reticulado que recubre al fruto.
 - Categoría I: lesiones <10% del área superficial, atribuibles a golpe de sol, ligeros defectos en el reticulado que recubre al fruto y raspaduras superficiales de la corteza.
 - Categoría II: lesiones <15% del área superficial, atribuibles a golpe de sol, defectos en el reticulado que recubre al fruto y raspaduras superficiales de la corteza.
2. Clasificación por calibres de acuerdo al peso de cada fruto

Tabla 4.1. Calibres de melón variedad Cantaloupe (NTC 5207/04)

Peso (g)	Calibre
≤ 800	A
801 – 1200	B
1201 – 1600	C
1601 – 2000	D
≥ 2001	E

Fuente: NTC 5207/04

3. Clasificación de acuerdo al grado de maduración, el cual está relacionado con el cambio del color externo (NTC 5207/04).
 - Color 0: fruto verde, maduro fisiológicamente
 - Color 1: es verde y aparece unas tonalidades amarillas
 - Color 2: fruto amarillo con visos verdes hacia el centro
 - Color 3: fruto amarillo



Figura 4.1. Tabla de color de melón variedad Cantaloupe. Fuente: NTC 5207/04.

4.3. Productos Mínimamente Procesados.

Las frutas durante la etapa de postcosecha continúan activamente sus procesos metabólicos, generando cambios que pueden afectar la calidad final del producto. Los factores que influyen son: cosecha en el grado óptimo de maduración, lesiones mecánicas, condiciones higiénicas, de temperatura y humedad relativa de almacenamiento, el efecto del oxígeno atmosférico y el crecimiento de microorganismos aerobios. Al no controlar estos factores, dentro de toda la cadena, su efecto se verá reflejado en la calidad y vida útil del producto a través del tiempo, generando pérdidas económicas por devoluciones, además de disminuir la posibilidad de distribución a lugares lejanos. Lo cual ha llevado al incremento en la producción y consumo de productos mínimamente procesados.

Los productos mínimamente procesados se reconocen como aquellos alimentos a los que se les ha modificado sólo ligeramente su apariencia original, mostrando un aspecto fresco tanto en sus características como en su calidad, y que mantienen los tejidos vivos, aunque éstos no presentan las mismas respuestas fisiológicas que los vivos sin tratar, debido a las

operaciones sufridas durante su procesamiento como: calor, radiación, aplicación de conservadores, entre otros (Wiley, 1997).

En los últimos años, el consumo de estos productos ha experimentado un crecimiento muy importante, debido a sus ventajas entre las que se encuentran la calidad de la materia prima, que se mantiene fresca y natural hasta que llega al consumidor, el ahorro de tiempo para el consumidor, ya que se trata de productos listos para su consumo, que no requiere limpieza ni lavado, garantizando su inocuidad y contribuyen a llevar una dieta sana y equilibrada, debido al aporte nutricional de las frutas a la salud (Ragaert, Verbeke, Devlieghere & Debevere, 2004)

El proceso de obtención de los productos mínimamente procesados se basa en la aplicación de tratamientos simples o combinados que protejan con eficiencia al material vegetal frente a las alteraciones de tipo físico o mecánico como la deshidratación, golpes, magulladuras, de tipo microbiológico ocasionadas por hongos, levaduras y bacterias; de tipo bioquímicas como pardeamiento enzimático, oxidación de lípidos y alteraciones de aroma, sabor y textura y de tipo nutricional como la pérdida de vitaminas (Artés, 2000; Artés, Martínez & Marín, 1999).

Las etapas de obtención de estos productos se engloban en varios pasos, los cuales debe realizarse adecuadamente para asegurar una óptima calidad y mayor vida útil en el producto terminado. A continuación, se describe de forma general estas etapas.

- Lavado y desinfección: para este proceso se debe emplear agua con óptima calidad microbiológica y se recomienda una temperatura inferior a 5°C. Dentro de los agentes desinfectantes se pueden emplear: hipoclorito de sodio a concentraciones entre 1900 y 18.000 mg/l, ácido láctico a una concentración de 15 g/l y agua ozonizada a 5 mg/l y agua tratada con UV a 0,63 mW/cm² por 60s (Gil, Selma, López-Gálvez & Allende, 2009).
- Pelado y cortado: Este se debe realizar con cuchillas bien afiladas y de acero inoxidable (Portela & Cantwell, 2001), debido a que el corte con cuchillas desafiladas perjudica la calidad dado que rompe las células y libera jugos celulares (Barry-Ryan & O'Beirne, 1998). El rendimiento del proceso de corte está relacionado con la forma y las características superficiales de la fruta y del tamaño y forma del producto a obtener. Para el caso del melón el rendimiento promedio es de 0,52 después de pelar y retirar la placenta.

Dentro de las formas comunes de procesamiento de las frutas precortadas se tienen: en cubos (Alandes, Hernando, Quiles, Pérez-Munuera & Lluch, 2006; Alandes, Quiles, Pérez-Munuera & Hernando, 2009; Lamikanra, Bett-Garber, Ingram & Watson, 2005; Lamikanra & Watson, 2007; Soliva-Fortuny, Lluch, Quiles, Grigelmo-Miguel & Martín-Belloso, 2003), en cilindros (Anino, Salvatori & Alzamora, 2006; De Roeck, Mols, Sila, Duvetter, Van Loey & Hendrickx, 2010; Luna-Guzmán & Barrett, 2000; Luna-Guzman, Cantwell & Barrett 1999; Mayor, Pissarra & Sereno, 2008; Rico, Martín-Diana, Frías, Barat, Henehan & Barry-Ryan, 2007; Trejo Araya et al., 2007) y en rodajas (Beirão-da-Costa, Cardoso, Martins, Empis & Moldão-Martins, 2008).

- Lavado. Este proceso después del pelado y/o cortado tiene como objetivo disminuir la temperatura del producto, eliminar la suciedad, la carga microbiana y los fluidos de los tejidos, para reducir durante el subsiguiente almacenamiento el crecimiento microbiano y los desórdenes fisiológicos, como la oxidación enzimática (Ahvenainen, 1996; Simons y Sanguansri, 1997). La eficiencia del lavado puede mejorarse con la incorporación de soluciones de cloro y otros compuestos antibacterianos (Alandes et al., 2006; Rico et al., 2007; Silveira, Conesa, Aguayo & Artes, 2008).
- Secado y envasado. Este proceso se puede realizar empleando centrifugación automática o semiautomática, aire caliente o infrarrojos hasta que la superficie del producto procesado esté libre de agua. El envase final se puede realizar en bolsas plásticas o en bandejas, tanto en el envasado en bolsa como en bandejas. La película plástica utilizada se deberá seleccionar correctamente en función de la permeabilidad a los gases O₂ y CO₂, y se debe almacenar el producto a temperaturas entre 1 y 5°C. (Conte, Scrocco, Lecce, Mastromatteo & Del Nobile, 2009; Del Nobile, Conte, Scrocco & Brescia, 2009)

Estas operaciones de procesamiento afectan negativamente la integridad del tejido y la estructura celular, aumentando la susceptibilidad al proceso de deterioro, debido a las reacciones metabólicas que se desencadenan. Este fenómeno disminuye la firmeza del tejido debido a la pérdida de la integridad estructural de las paredes celulares, lámina media y membrana celular, cambios que se reflejan a nivel macro como: pérdida de peso por los procesos de exudación, aumento en la intensidad de la tasa respiratoria, aumento en la producción de etileno, presencia de alteraciones microbiológicas, ablandamiento de los tejidos por acciones enzimáticas, cambio de color por pardeamiento enzimático, sabor, aroma y valor nutritivo.

Estos cambios se deben al daño en la membrana celular generando un aumento de su permeabilidad, un trastorno que conduce a la descompartimentalización celular que pone en

contacto enzimas localizadas a nivel del citoplasma con substratos ubicados en la vacuola. Igualmente se produce una fuerte pérdida de jugos celulares, que puede acelerar la pérdida de agua y, además, el exudado constituye un medio muy favorable para el desarrollo de microorganismos (Sila, Smout, Vu & Hendrickx, 2004).

Muchos de estos cambios se pueden reducir no solo con el control microbiológico en las etapas de procesamiento, sino además la inactivación de las enzimas endógenas que continúan actuando en los frutos procesados y almacenados. Para esto se emplean tratamientos adicionales como:

- La incorporación de calcio mediante baños cálcicos, a través de los cuales se busca preservar el tejido celular retrasando la senescencia, reduciendo el ablandamiento del tejido y controlando el desarrollo de alteraciones fisiológicas, debido a que el calcio interactúa con las pectinas formando una red polimérica que fortalece la pared celular (Hewajulige, Wilson Wijeratnam, Wijesundera & Abeysekere, 2003; Lamikanra et al., 2005; Lamikanra, Bett-Garber, Watson & Ingram, 2010; Lamikanra et al., 2007; Luna-Guzmán et al., 2000; Luna-Guzman et al., 1999; Manganaris, Vasilakakis, Diamantidis & Mignani, 2007; Solomon, Huang, Sites & Annous, 2006b).
- El empleo de agentes antioxidantes para evitar el oscurecimiento superficial y, la aplicación de compuestos antimicrobianos para prevenir la proliferación de microorganismos causantes de alteraciones (Oms-Oliu, Aguiló-Aguayo & Martín-Belloso, 2006; Oms-Oliu et al., 2010; Rojas-Graü, Sobrino-López, Soledad Tapia & Martín-Belloso, 2006; Rojas-Graü, Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2008).
- El empaque bajo atmósferas modificadas y controladas que permitan controlar los procesos respiratorios típicos de los tejidos vivos y retardar la senescencia (Allende, Marín, Buendía, Tomás-Barberán & Gil, 2007; Bhande, Ravindra & Goswami, 2008; Oms-Oliu et al., 2006; Rapisarda, Caggia, Lanza, Bellomo, Pannuzzo & Restuccia, 2006; Rocculi, Romani & Rosa, 2004).
- La aplicación de luz ultravioleta como alternativa de reducción de carga microbiana y de la actividad enzimática (Alothman, Bhat & Karim, 2009; Artés-Hernández, Robles, Gómez, Tomás-Callejas & Artés, 2010).
- El empleo de películas y recubrimientos comestibles como barreras que reducen la difusión de gases (Olivas, Mattinson & Barbosa-Cánovas, 2007; Perez-Gago, Serra & Río, 2006; Rojas-Graü, Raybaudi-Massilia, Soliva-Fortuny, Avena-Bustillos, McHugh & Martín-Belloso, 2007; Rojas-Graü, Tapia & Martín-Belloso, 2008)

4.4. Aplicación de baños cálcicos.

Las sales de calcio forman parte del gran conjunto de agentes mejoradores y/o conservantes de las características nutricionales y de calidad de las frutas y vegetales mínimamente procesados. Son comúnmente usadas en la industria como agentes reafirmantes para los tomates en conserva, pepino y otros vegetales, y han reportado un beneficio en la reducción del oscurecimiento en manzanas, pimientos, fresas, tomates y melocotones. Cabe resaltar su gran importancia tanto en el ámbito sensorial como agente mejorador de textura y como antipardeante (Martín-Diana, Rico, Frías, Barat, Henehan & Barry-Ryan, 2007).

El efecto del calcio sobre la textura puede ser explicado por diferentes mecanismos: 1) capacidad para servir como vínculo de unión a sustancias pécticas en la pared celular y lámina media, formándose pectato cálcico que aporta firmeza al tejido reduciendo el ablandamiento y la pérdida de agua; 2) la estabilización de la membrana celular, ejerciendo un papel regulador sobre su permeabilidad y sobre el transporte de sustancias involucradas en la senescencia y 3) el aumento de la turgencia celular (Luna-Guzmán et al., 2000; Saurel, 2004). Esta acción reafirmante del calcio al mismo tiempo contribuye a una reducción de la liberación de la polifenoloxidasas y sus sustratos después del corte contribuyendo a la reducción del pardeamiento (Lamikanra, Richard & Parker, 2002).

Para la aplicación de calcio en productos mínimamente procesados se han reportado dos métodos: a) Inmersión, que consiste en la sumergir el producto en una solución de calcio con o sin agitación, seguido por la eliminación del exceso de solución. Este tratamiento favorece la dispersión de la solución en la superficie de la fruta y/o vegetal y permite retirar las enzimas y sustratos liberados durante el proceso de corte, evitando reacciones de oxidación. (Martín-Diana et al., 2007; Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003) y b) Impregnación, el objetivo de esta técnica es modificar la composición del producto mediante la eliminación parcial del agua y la impregnación de solutos y fuentes de calcio sin afectar la integridad del material. Dependiendo del tiempo de proceso, la magnitud del vacío y concentración de la solución del proceso, el producto obtenido puede ser considerado como mínimo procesado (Fito et al., 2001; Martín-Diana et al., 2007).

Cuando estos tratamientos con calcio se realizan a través de la inmersión del producto en baños a temperaturas elevadas, estas permiten que se active la enzima pectinmetilesterasa desmetilando las pectinas de la pared celular y la lámina media, lo que permite la unión del Ca^{2+} endógenos o exógenos con los grupos carboxílicos libres (desmetilados) de los polímeros de pectinas existentes, estabilizando la pared celular y mejorando la firmeza (Luna-Guzmán et al., 1999). Otra enzima que puede estar involucrada en este proceso es la poligalacturonasa, cuya expresión o actividad, al parecer es reducida por el calcio evitando el ablandamiento.

Los procesos de inmersión o baños cálcicos reducen la tasa de respiración, la pérdida de humedad y la carga microbiana y el crecimiento de bacterias ácido lácticas durante el almacenamiento de fruta pre-cortada. Además, las evaluaciones sensoriales indican que estos tratamientos intensifica los atributos deseables como los sabores y aromas dulces característicos del melón y reduce los aromas indeseables como: moho, agrio, amargo, químico y fermentado. (Lamikanra et al., 2005).

Se ha reportado que al sumergir melón entero en agua a 60°C por 60 min, reduce su tasa de respiración e incrementa la firmeza (Lamikanra et al., 2007). Además la aplicación de tratamientos con agua caliente sobre la fruta entera, tienen una efectividad en la reducción de patógenos humanos y microflora nativa en melón (Annous, Burke & Sites, 2004; Fan, Annous, Beaulieu & Sites, 2008; Solomon, Huang, Sites & Annous, 2006a). Asimismo, la eficiencia de tratamientos con agua a 70 y 97°C sobre melón inoculado con un cocktail de *Samonella serovars* (4,6 log UFC/cm²), ha mostrado una reducción de 2 a 3 log UFC/cm², para el tratamiento a 70 y 97°C, respectivamente (Ukuku, Pilizota & Sapers, 2004).

Además del efecto positivo del calcio en la textura, también se asocia la reducción en la tasa respiratoria (Lamikanra & Watson, 2004) prolongando el tiempo de vida útil de la fruta y suprimir la producción de etileno, siendo dicha supresión más efectiva a bajas temperaturas (0-12°C) (Akhtar & Hussain, 2010; Hernández-Muñoz, Almenar, Ocio & Gavara, 2006). Esta reducción es debida a que concentraciones superiores a 1µM de calcio citosólico pueden inhibir la acción de muchas enzimas (Azcón-Bieto & Talón, 2000). El calcio citosólico juega un papel importante en la regulación de la actividad respiratoria, estando inversamente relacionados. Las corrientes citoplasmáticas también se ven inhibidas con concentraciones por encima de 1µM, y además se favorece la formación de sales de calcio insolubles con ATP y otros fosfatos orgánicos (Busse & Palta, 2006).

Son diferentes las fuentes de calcio que se emplean para mantener la vida útil de frutas y vegetales, dentro de ellas se tienen, el carbonato de calcio y el citrato de calcio, que son las principales sales adicionadas a los alimentos por su valor nutricional (Martín-Diana et al., 2007). Otras formas de calcio utilizadas en la industria de alimentos son lactato de calcio, cloruro de calcio, fosfato de calcio, propionato de calcio y gluconato de calcio, estas se emplean como preservantes y mejoradores de textura (Luna-Guzmán et al., 2000; Manganaris et al., 2007). La selección de la fuente apropiada depende de varios factores: biodisponibilidad, solubilidad, cambios en sabor y la interacción con otros ingredientes.

Varios autores han reportado la aplicación de calcio como tratamiento de postcosecha de frutas pre-cortadas con efectos positivos en la retención de firmeza e incremento de vida útil, entre los cuales cabe destacar los reportados en la tabla No 4.2.

Tabla 4.2. Métodos de aplicación de calcio en frutas

Producto	Aplicación de calcio	Fuente	Conclusiones
Melón	Cloruro y lactato de calcio al 2.5% a 60°C por 1 minuto	(Luna-Guzmán et al., 2000)	<ul style="list-style-type: none"> * Extensión de vida útil * Retención de la firmeza del tejido * Reduce el crecimiento microbiano * Mayor efectividad del cloruro frente al lactato en la preservación de la textura durante el almacenamiento * La aplicación de cloruro está asociado a cambios sensoriales. * El uso de 60°C mejora la acción de la solución de calcio
	Lactato de calcio al 1.5% a 4 y 25°C por 3 minutos	(Lamikanra et al., 2004)	
	Lactato de calcio al 1% a 60°C por 60 min para melón entero	(Lamikanra et al., 2007)	
	Cloruro, lactato, propionato y carbonato de calcio al 1% a 60°C por 1 minuto	(Aguayo, Escalona & Artés, 2008)	
	Propionato, cloruro y ácido aminoquelato de calcio a 40mM por 30 segundos	(Saftner, Bai, Abbott & Lee, 2003)	
Fresa	Cloruro de calcio al 1% por 2 minutos	(Aguayo, Jansasithorn & Kader, 2006)	<ul style="list-style-type: none"> * Extensión de vida útil * Menor velocidad de senescencia * Mantiene la firmeza del futo por más tiempo
	Cloruro de calcio al 1 y 4% por 15 minutos	(Chen et al., 2011)	
Pera	Cloruro, ascorbato, lactato y propionato de calcio a 250mM por 1 minuto	(Gomes, Fundo, Santos, Amaro & Almeida, 2010)	<ul style="list-style-type: none"> * Mantiene la firmeza del futo por más tiempo * Mejora las características

Producto	Aplicación de calcio	Fuente	Conclusiones
	Lactato de calcio 5g/L a 10°C por 1 minuto	(Alandes et al., 2009)	sensoriales
Durazno	Cloruro, lactato, propionato y carbonato de calcio a 62.5 and 187.5 mM a 20°C por 5 min	(Manganaris et al., 2007)	* La incorporación de calcio a nivel celular no depende de la fuente de calcio * Prevención del desarrollo de pardeamiento enzimático
Kiwi	Cloruro de calcio al 1, 2 y 3% a 45°C por 25 minuto	(Beirão-da-Costa et al., 2008)	* Mejoramiento en la firmeza del tejido
Níspero	Cloruro de calcio al 1, 2 y 3% por 2 minutos	(Akhtar et al., 2010)	* Mayor retención de la firmeza del tejido
Manzana	Lactato de calcio 5g/L a 10°C por 1 minuto	(Alandes et al., 2006)	* Retención de la firmeza * Menor velocidad de senescencia
Albaricoque	Cloruro de calcio al 1 y 3% por 2 min	(Liu et al., 2009)	* Retarda los cambios fisicoquímicos durante el almacenamiento

4.5. Tejido vegetal

El efecto del calcio sobre el tejido ha sido objeto de numerosos estudios y para comprender como actúa el calcio es necesario entender la composición del tejido vegetal. Las partes comestibles de las frutas y vegetales están compuestas primordialmente por células parénquimas, cada célula está recubierta por una membrana semipermeable y separada por una región distinta morfológicamente llamada lámina media. Los procesos fisiológicos de las células parénquimas permiten la absorción de agua y generación de presión hidrostática llamada presión de turgor, haciendo que las vacuolas se amplíen y presionen unas contra otras impartiendo rigidez, turgencia y crujencia al tejido vegetal (Edwards, 1999).

La pared celular y la lámina media contienen polisacáridos y pequeñas cantidades de glicoproteínas y compuestos fenólicos. La pared celular es una estructura dinámica y altamente organizada compuesta por polisacáridos, proteínas y compuestos de naturaleza fenólica. No todas las funciones de la pared celular son estructurales, sino que algunas moléculas pueden participar en procesos de reconocimiento celular, reacciones metabólicas de síntesis y degradación o aspectos regulatorios. Está compuesta por microfibrillas celulares embebidas en un matriz de sustancias pécticas y hemicelulosa (Van Buggenhout, Sila, Duvetter, Van Loey & Hendrickx, 2009).

La lámina media consiste en una capa rica en compuestos de naturaleza péctica de consistencia gelatinosa que forma la interfase entre las paredes celulares de células vecinas. Interiormente a ésta se encuentra la pared celular primaria y está compuesta principalmente por sustancias pécticas lábiles al calor y actúa como un adhesivo y resiste fuerzas de compresión y tensión (Van Buggenhout et al., 2009).

La disposición espacial de los componentes de la pared celular se muestra en la figura 4.2, modelo propuesto por (Cosgrove, 2001) en el cual las microfibrillas de celulosa estarían entrecruzadas por xiloglucanos y las pectinas estarían ocupando los espacios libres. Se observa por sobre la pared celular primario, la lámina media que es una zona rica en pectinas entre las paredes primarias de dos células y que proporciona conexiones intercelulares. Se aprecian las hemicelulosas (líneas de color rojo) entrecruzando microfibrillas de celulosa (cilindros de color celeste). Las pectinas (líneas irregulares de color negro) se disponen ocupando los espacios entre la red celulosa – hemicelulosa.

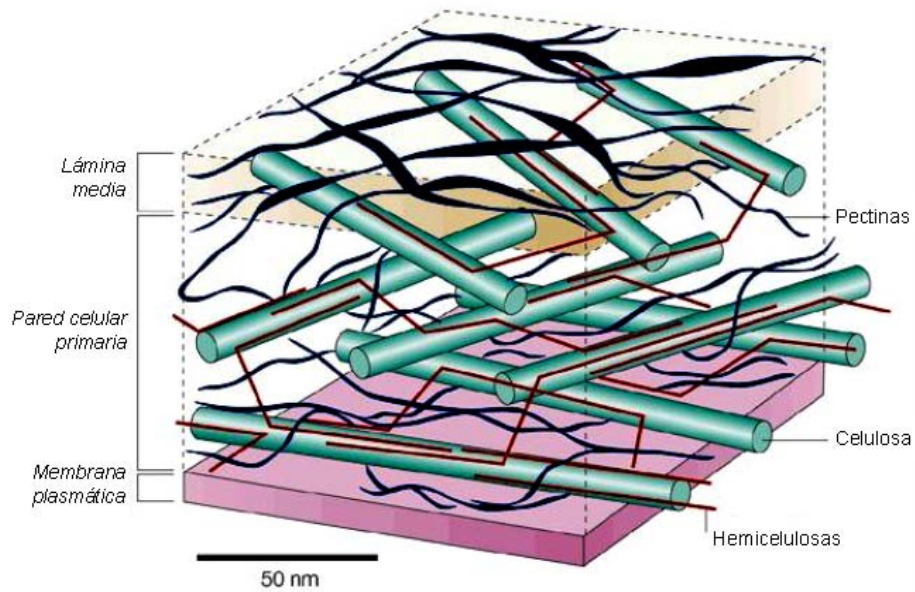


Figura 4.2. Modelo aceptado de la pared celular, adaptado por Smith (2001).

Muchos de los cambios en la textura pueden ser atribuidos a la integridad de la estructura de la pared celular y la lámina media y del turgor generado (Waldron, 2004). Durante la maduración, los polímeros que forman parte de la pared celular sufren cambios progresivos. La pared celular incrementa su hidratación y la cohesión entre pectinas disminuye, determinando una mayor facilidad para la separación entre células. En las frutas verdes, la pectina está parcialmente en forma de ácido poligalacturónico parcialmente esterificado y de muy alto peso molecular llamado protopectina, impartiendo gran fuerza y rigidez al tejido. Durante la maduración las pectinas son solubilizadas y/o depolimerizadas, formando pectina soluble en agua, la cual no está fuerte como la protopectina, afectando la estructura del tejido y ocasionando un incremento en su ablandamiento (Sila et al., 2009). Este incremento en contenido de pectina soluble es atribuido a la degradación enzimática de la poligalacturonasa, pectil metil esterasa y la β -galactosidasa.

Las Poligalacturonasas (PGs) son un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de las uniones α -1,4 entre residuos de ácido galacturónico, característico de los polímeros pécicos, y actúan fundamentalmente sobre los homogalacturonanos. La Pectinmetilesterasa (PME) cataliza la hidrólisis de metil ésteres del C-6 de residuos de ácido galacturónico, lo cual genera la demetilación de las pectinas. Esta demetilación facilitaría la formación de puentes de Ca^{+2} entre polímeros pécicos que permitiría un refuerzo de la estructura de la pared. Dado que por un lado las PMEs actúan permitiendo la formación de puentes de Ca^{+2} y por otro vuelven más susceptibles a los polímeros pécicos a la degradación por PG, aparentemente PME intervendría tanto en el refuerzo como en el

debilitamiento de la pared dependiendo de su modo de acción (Phan, Bo, West, Lycett & Tucker, 2007). Este ablandamiento en el tejido se debe a que la poligalacturonasa cataliza la hidrólisis de los enlaces glicosídicos de la pectina de la lámina media y la pared celular. La pectil metil esterasa provoca la hidrólisis de los grupos metilos que pueden estar esterificando al ácido galacturónico, y poligalacturonasa junto con la β -galactosidasa hidrolizan los compuestos pécticos dando lugar a una disminución en la turgencia de la célula y por ende causando una reducción de la firmeza del tejido.

4.6. Mecanismos de acción del calcio sobre el tejido vegetal

El calcio puede actuar como componente estructural de las paredes y membranas celulares, actuando como puente de unión intermolecular en la estabilización de la pectina-proteína en la lámina media de los tejidos vegetales y como cofactor de varias enzimas (Barcelo, Nicolas, Sabater & Sánchez-Tamés, 2001). El mantenimiento de la estructura de la pared celular depende particularmente del enlace del calcio con los componentes pécticos de la lámina media formando el pectato cálcico. El complejo calcio-pectina actúa como un cemento intracelular que proporciona firmeza al tejido vegetal (Alandes et al., 2009).

El enlace del calcio a las pectinas se produce a través de la unión del grupo carboxílico o de los grupos hidroxílicos a diversos polisacáridos, mediante uniones electrostáticas o coordinadas formando una red que incrementa su fuerza mecánica (Luna-Guzmán et al., 2000). El calcio puede alterar la estructura de la membrana debido a su habilidad para inducir una distribución asimétrica negativa de los fosfolípidos en la bicapa de la membrana y alterar la fluidez de la misma. Asimismo, los iones de calcio también pueden contribuir a la firmeza del tejido mediante un incremento en la integridad de la membrana, consiguiéndose el mantenimiento o aumento de la presión de turgencia en la célula (Mignani et al., 1995).

Según el modelo de “la caja de huevos” que se muestra en la Figura 4.3 (Brett & Waldrom, 1990; Grant, Morris, Rees, Smith & Thom, 1973), la asociación entre las pectinas de bajo grado de metilación y los iones de calcio provoca la formación de estructuras poliméricas con alta reticulación. Como consecuencia, los productos vegetales que contienen pectinas con un grado bajo de metilación, después de los tratamientos con calcio, muestran consistencias más altas o, si es fluido, un incremento en la viscosidad aparente (Luna-Guzmán et al., 2000).

De forma similar, hay que indicar que otros componentes de la pared celular, como la lignina y la celulosa, presentan también una afinidad considerable por los iones calcio. Micrografías electrónicas de paredes celulares de frutas tratadas con calcio muestran un

denso paquete de fibrillas y la lámina media es visible como una región más densa electrónicamente. En las paredes celulares de frutas sin tratar se observó una disolución de la región de la lámina media y, en general, una mayor ruptura de la estructura de la pared celular lo cual confirma la actuación del calcio como un agente ligador intermolecular estabilizando los complejos pectina-proteína de la lámina media (Chardonnet, Charron, Sams & Conway, 2003).

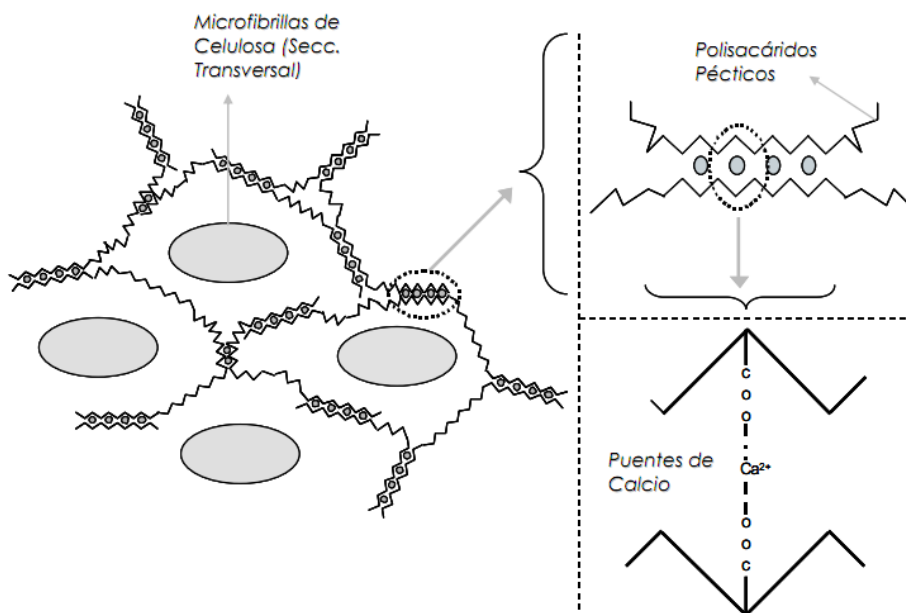


Figura 4.3. Papel del calcio en la estructura de la pared celular – Modelo de la caja de huevos (Brett et al., 1990; Grant et al., 1973).

La aplicación de calentamiento a temperaturas de 60-70°C, provoca la ruptura de las membranas, la descompartimentalización de los componentes celulares y la degradación de las pectinas de la lamina media y de la pared celular, siendo dichos fenómenos más evidentes en frutas y hortalizas de baja acidez, que contribuyen más aun a la pérdida de su firmeza (Rosli, Civello & Martinez, 2004). Se cree que esta firmeza inducida por el calor se debe a daños o lesiones que sufren las membranas celulares y a un aumento de su permeabilidad. Como consecuencia de estos daños en la membrana, se produce: 1) la liberación de calcio y su difusión de la lámina media de la pared celular. 2) la activación de la pectinmetilesterasa (PME) y la desesterificación de las pectinas y 3) el establecimiento de puentes iónicos entre el calcio (y/o magnesio) y los grupos carboxílicos de las pectinas.

Al incrementarse la actividad de la enzima pectinmetilesterasa (PME) endógena, se produce cierta desmetilación de las pectinas, creándose pectinas de bajo grado de metilación o bajo metoxilo, que gelifican formando puentes de entrecruzamiento en presencia de iones calcio,

dando lugar a estructuras más firmes y resistentes. Así, diversas frutas registran mejoras en el mantenimiento de la textura cuando se escaldan a temperaturas que refuerzan la actividad de la PME endógena o exógena (Aguayo et al., 2008; Lamikanra et al., 2004; Lamikanra et al., 2007; Liu et al., 2009; Luna-Guzmán et al., 2000).

El cambio en las pectinas se ha relacionado con cambios en la textura durante el procesamiento en las frutas y vegetales, debido a que La PME cataliza la demetoxilación específica de los homogalacturonanos dentro de las paredes celulares de las plantas, liberando metanol y protones (grupos carboxilo con carga negativa). La demetoxilación de los homogalacturonanos puede 1) favorecer el entrecruzamiento con iones divalentes de Ca^{+2} y Mg^{+2} formando conjuntos supramoleculares y/o geles importantes para mejorar o mantener la textura y 2) formar un sustrato para enzimas de pectina depolimerizada, asociadas a pérdida de textura y viscosidad, que en algunos casos puede ser útil para aumentar el rendimiento en la extracción de jugo (figura 4.4.).

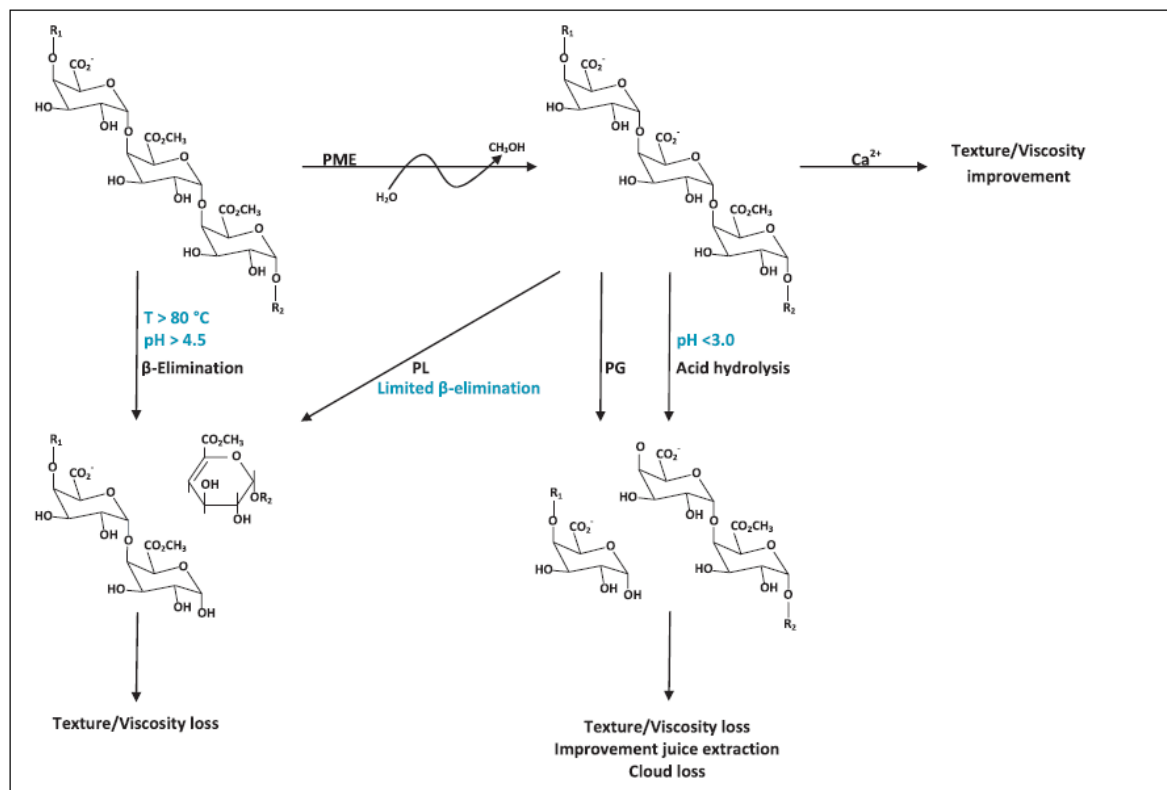


Figura 4.4 Representación esquemática de las posibles reacciones de conversión de la pectina por efecto de tratamientos térmicos. Fuente: (Sila et al., 2009)

PME: Pectil metil esterasa, Ca^{+2} : entrecruzamiento del calcio, PG: poligalacturonasa, PL: pectina liasa, T: temperatura, OMe: metoxiesterasa, R1/R2: fragmento inicial/terminal del polímero pectina.

Siendo la textura es uno de los principales atributos de calidad de frutas y está determinada por las propiedades mecánicas del tejido, que se ven afectados por factores tales como: estado de madurez, química de la pared celular, tamaño y forma celular, embalaje celular y la turgencia celular, y es evaluada mediante la determinación de las propiedades mecánicas macroscópicas de la fruta (McAtee P, 2009; Oey et al., 2007; Oey, Vanstreels, De Baerdemaeker, Tijsskens, Ramon & Nicolaï, 2006). Sin embargo el tejido de la fruta no es un material homogéneo, ya que está constituido por un complejo conglomerado de células que varían en su tamaño, en la cantidad de espacio intercelular, las propiedades mecánicas de la pared celular y la lámina media y la presión de turgencia celular.

Se ha encontrado una estrecha relación entre las histología de la piel de tomate y su resistencia a la rotura (Allende, Desmet, Vanstreels, Verlinden & Nicolaï, 2004), en el tejido de papa compuesto de células más pequeñas se observa mayor fuerza de compresión y módulo de elasticidad que los tejidos compuestos de células de mayor tamaño (Konstankiewicz, Pawlak & Zdune, 2001), y se reportan que el tamaño de las células es uno de los componentes que están relacionados con las diferencias de textura en manzanas y con su nivel de jugosidad, la cual es mayor a en tejidos con células más grandes (Allan-Wojtas, Sanford, McRae & Carbyn, 2003).

4.7. Evaluación morfoestructural del tejido celular

La morfología se encarga del estudio de la forma y estructura de un organismo o sistema, es entonces, una ciencia biológica que trata de la forma y transformaciones de los seres vivos. Sin embargo, estos pueden presentar diferentes tipos morfológicos, los cuales varían según la apariencia externa, textura y composición. En este sentido, el avance en las ciencias computacionales ha hecho posible la medición de las formas y de estructuras. Este aspecto se conoce como “morfometría”; de acuerdo a las medidas y forma que presentan los distintos objetos, se puede lograr su clasificación e identificación. Otra definición se refiere a: “La configuración arquitectónica de un objeto que condiciona su apariencia física, como fruto de la ordenación de sus elementos estructurales y de sus rasgos morfológicos fundamentales” (Anónimo, 2011).

Las propiedades mecánicas de los tejidos biológicos dependen de las contribuciones de los diferentes niveles de la estructura a nivel molecular y celular. En el ablandamiento de los productos se dan cambios en la cantidad y naturaleza de la pared celular, lamina media y polisacáridos, disminuyendo el grado de unión intermolecular entre los polímeros de la pared celular. Por lo tanto, la rigidez, resistencia, tamaño y forma de las paredes celulares, lámina media, tejidos fibrosos y presión de turgencia contribuyen en gran medida a la firmeza y rigidez del tejido (Varela, Salvador & Fiszman, 2007).

La presión de turgencia da características de elasticidad mecánica al tejido vegetal. La celulosa de la pared celular proporciona rigidez y fuerza al tejido, mientras que las pectinas y hemicelulosa de la lámina media da plasticidad y da el grado o medida que puede las células separasen durante la deformación.(Lewicki & Porzecka-Pawlak, 2005). La presión de turgencia, definida como presión hidrostática interna celular equivale normalmente a 8.1 bares, la cual es ejercida por el protoplasma frente a la membrana plasmática y pared celular (Aguilera & Stanley, 1999). Esta presión disminuye cuando el producto pierde agua, ya sea a través de sus procesos metabólicos como la transpiración y respiración o por procesos inducidos, lo que conlleva a una deshidratación del producto que se refleja en una pérdida de firmeza relacionado con el cambio en las características morfométricos de la célula.

La aplicación de altas temperaturas dentro un proceso de deshidratación osmótica y/o incorporación de agentes estabilizantes y conservantes en frutas o vegetales, pueden desnaturalizar la membrana celular incrementando la velocidad de deshidratación, y como consecuencia puede ocurrir un daño a nivel del tejido celular como el encogimiento y deformación de las células, plasmólisis y ruptura celular (Lewicki et al., 2005; Mayor, Silva & Sereno, 2005). La aplicación de lactato de calcio con un calentamiento suave (60°C), muestra una mayor efectividad en el mantenimiento del turgor celular del tejido reduciendo la medida de lignificación en el área del corte de zanahoria (Martín-Diana et al., 2007).

Muchos de los cambios que se observan a nivel macroscópico, son causados por cambios que ocurren a nivel microestructural y celular, indicando que el estudio de cambios microestructurales a nivel de la morfología celular son una importante herramienta para entender y predecir los cambios que ocurren en las propiedades físicas y bioquímicas relacionadas con los cambios estructurales durante la aplicación de procesos como la deshidratación osmótica, el secado por aire caliente y los tratamientos térmicos y cambios durante el tiempo de almacenamiento (Alandes et al., 2006; Alandes et al., 2009; Mayor et al., 2008; Nunes et al., 2009). A continuación se indican algunos estudios relacionados con la evaluación de las características morfométricas en diferentes matrices alimentarias en la tabla No 4.3.

Tabla 4.3. Evaluación microestructural del tejido vegetal en diferentes matrices

MATRIZ	OBJETIVO	ATRIBUTOS MEDIDOS	CONCLUSIONES	FUENTE
Calabaza	Evaluar los cambios del tejido por efecto del proceso de deshidratación osmótica	Área, perímetro, longitud máxima y mínima, redondez, elongación, compactación,	La deshidratación osmótica cambia los parámetros de forma y tamaño celular del tejido, relacionadas con encogimiento celular	(Mayor et al., 2008)
Melón	Evaluar si existe una relación entre el tamaño celular y el tamaño del fruto de genotipos de la variedad cantaloupe	Tamaño celular: área y perímetro	Evidenciaron diferencia celulares entre dos genotipos de melón, lo que permite su clasificación a nivel histológico	(Higashi, Ezura & Hosoya, 1999)
Manzana	Evaluar la influencia del turgor sobre las propiedades micro mecánicas y la deformación celular	Área, longitud máxima y mínima, y redondez	La influencia de la presión de turgor afecta los parámetros de evaluación celular, presentando los mayores cambios los parámetros de longitud máxima y mínima.	(Oey et al., 2007)
	Evaluar el efecto del proceso de deshidratación osmótica sobre los cambios en forma, tamaño y diámetro celular	Área, perímetro, diámetro de Feret y factor de forma	La deshidratación osmótica cambia los parámetros de forma y tamaño celular por efecto del turgor celular y daños en la membrana celular	(Lewicki et al., 2005)
	Deshidratar células de manzana aisladas y estudiar cómo influye la organización estructural en la transferencia de masa	Longitud máxima y mínima, perímetro, elongación, redondez,	Los resultados sugieren que la compartimentación celular podría ser mejor conservada si la DO se aplica con pequeños gradientes osmóticos, mejorando así los atributos de calidad y el proceso de rehidratación.	(Seguí, Fito & Fito, 2010)

MATRIZ	OBJETIVO	ATRIBUTOS MEDIDOS	CONCLUSIONES	FUENTE
Manzana	Evaluar los cambios microestructurales de rebanadas de manzana sometido a secado	Parámetros geométricos de tamaño: área, perímetro, diámetro equivalente, y longitud máxima y mínima y los parámetros de forma: redondez compactación y alargamiento.	Se observó claramente una contracción celular por efecto del proceso de secado. En cuanto a los factores de forma, se mantuvo constante la compactación y la redondez y el aumento la elongación en la etapa final del proceso.	(Mayor et al., 2005)
Almendras	Estudiar el efecto del proceso del tostado sobre la micro estructura	Área	La alteración del parénquima interno de las muestras fue la principal causa del aumento en fragilidad del producto	(Varela, Aguilera & Fiszman, 2008)
Uva	Cuantificar el cambio microestructural y la contracción celular por efecto del proceso de secado	Área, perímetro, longitud máxima y mínima, diámetro de Feret, elongación, redondez y compactación	El secado genera cambios a nivel de las dimensiones de la célula pero no en su forma. Los cambios microestructurales de Área, perímetro, longitud máxima y mínima, y diámetro de Feret presentaron una disminución exponencial con el tiempo de secado	(Ramos, Silva, Sereno & Aguilera, 2004)
Papa	Correlacionar los cambios micro estructurales, sensoriales e instrumental en el procesamiento de papa	Factor de forma	No hay cambio en el factor de forma durante el almacenamiento después del proceso de cocción	(Martens & Thybo, 2000)

MATRIZ	OBJETIVO	ATRIBUTOS MEDIDOS	CONCLUSIONES	FUENTE
Papa	Observar los cambios en la estructura de las células y del almidón de la papa durante el proceso de fritura	Área y redondez	Las paredes celulares no mostraron signos de alteración, sin embargo a temperaturas por encima de 100°C, se produjo una reducción de la superficie celular	(Aguilera, Cadoche, López & Gutierrez, 2001)
	Influencia de los parámetros de tamaño y forma celular en la firmeza del tejido	Área, perímetro, longitud máxima y mínima, y elongación.	Los parámetros de área y perímetro celular influyen significativamente en los parámetros mecánicos del tejido en relación al modulo de elasticidad y firmeza.	(Konstankiewicz et al., 2001)
	Describir la estructura del tejido de la papa en base a los para parámetros morfométricos de 4 variedades	Área, perímetro, Longitud máxima y mínima, elongación y compactación.	Los parámetros de tamaño y forma permiten encontrar diferencias entre las variedades de papa, encontrando que el tamaño de las células cambia con el tipo de variedad, lo cual no ocurre para el parámetro de forma.	(Konstankiewicz, Czachor, Gancarz, Krol, Pawlak & Zdunek, 2002)
Zanahoria	Estudiar las relaciones entre los cambios microestructurales y físicos durante el secado.	Diámetro celular, por análisis fractal	El análisis imágenes es una herramienta útil para monitorear los cambios físicos aparentes en relación a la contracción y dureza del producto durante el proceso de secado.	(Sansiribhan, Devahastin & Soponronnarit, 2010)

MATRIZ	OBJETIVO	ATRIBUTOS MEDIDOS	CONCLUSIONES	FUENTE
Zanahoria	Comprender los mecanismos que se producen a nivel de respuestas bioquímicas, mecánicas y microestructurales por efecto de la aplicación de altas presiones	Longitud máxima y mínima, elongación y factor de forma.	Observaron una correlación entre los cambios de firmeza y el daño a nivel celular. Asimismo, indican que el análisis de imágenes permite profundizar en los mecanismos del cambio en tejido, relacionado cambio de firmeza con las variables de factor de forma y elongación de las células.	(Trejo Araya et al., 2007)
Papa y zanahoria	Influencia del tamaño y volumen celular en los parámetros de textura del tejido de papa y zanahoria	Área y elongación	Al aumentar el tamaño de las células se debilita la firmeza del tejido. La distribución, forma y tamaño de las células dentro del tejido explican las diferencias en los parámetros de textura entre los diferentes productos con el mismo nivel de turgor celular.	(Zdunek & Umeda, 2005)

Los diferentes estudios realizados muestran que los cambios morfométricos son el principal factor relacionados con propiedades de textura como la turgencia celular e integridad de la pared celular (Trejo Araya et al., 2007). El encogimiento celular es uno de los fenómenos que ha mostrado correlación con cambios estructurales en productos como manzana (Lewicki et al., 2005), uvas (Ramos et al., 2004) y calabaza (Mayor et al., 2008). (Konstankiewicz et al., 2001) reportaron que en tejido de papa compuestos por células más pequeñas tienen una mayor resistencia a la fuerza compresión y mayor módulo de elasticidad que los tejidos con células grandes.

Para la determinación de estos parámetros morfométricos se emplean técnicas de análisis de imágenes, que tiene como finalidad la cuantificación de las propiedades de los objetos presentes en éstas, para lo cual es necesario entender los elementos que la componen, su origen y su naturaleza (Lira, 2002). Todos los cuerpos no son simétricos, haciendo de la descripción de éstos en ocasiones una medición subjetiva. Por tal razón, la estimación de la forma de los cuerpos irregulares se hace a través de descriptores morfométricos, los cuales tienen la finalidad de cuantificar y describir de la manera más objetiva posible, dichos objetos (Isaza et al. 2006), estos descriptores se pueden dividir en tres grupos:

- Dimensionalidad: Son aquellos que pueden medir a través de software específicos diversas características tales como área, perímetro, diámetro de Feret, longitud máxima y mínima, entre otros. Todos ellos, tienen unidades de medición (mm y mm²).
- Forma: Son aquellos que describen la forma del objeto estudiado, asociándolo a una figura de geometría euclidiana aproximada, entre estos están los factores de forma circular y elíptica, excentricidad, compactación, esfericidad y convexidad.
- Regularidad: Son aquellos que proporcionan la información necesaria para describir la regularidad o no de un objeto; en este sentido, se hace uso de algunos conceptos de la dimensión fractal tales como la de perímetro, área y textura.

4.8. Tratamiento de las imágenes digitales.

Este proceso se refiere a una serie de procedimientos por los cuales la información contenida en una imagen guardada digitalmente puede ser manipulada para: recuperarla, optimizarla, mejorar su aspecto visual o las características estructurales y luego proceder a la cuantificación de los parámetros de interés (Lira, 2002; González y Woods, 2008). Este proceso se inicia con:

- Captura de la imagen como objeto de estudio, para lo cual se emplean cámaras, videocámaras o scanner, y frecuentemente se utiliza la ayuda de un sistema amplificador para lograr la captura de la imagen, como un estereoscopio, estereomicroscopio o un microscopio.

- Procesamiento de la imagen, en esta etapa se lleva la imagen a una computadora en dónde se almacenará digitalmente y manipulará de tal forma, que se deje en condiciones que permitan realizar la extracción del objeto de estudio. Aquí se llevan a cabo entre otros procesos, los de binarización, segmentación y ajuste de brillo/contraste/intensidad de las imágenes, que consisten básicamente en cambiar la imagen a una escala en blanco y negro (2 bits, es decir binarizada) para asignar a cada pixel un valor especial, para extraer el objeto de interés del resto de la imagen.
- Análisis de la imagen, se hace uso de software específico que entrega datos que dependen de las características y alcances del mismo. El tener una imagen de calidad, permite la extracción de una buena cantidad de datos y por ende, precisión en los resultados. En este paso se emplean programas como ImageJ®, Image Tool® y Sigma Scan Pro.

Conclusión.

El estudio de los cambios físicos y morfoestructurales de los productos mínimamente procesados es importante porque están relacionados directamente con la calidad final de producto y su aceptación por parte de los consumidores. Estos cambios se pueden clasificar en dos grupos: los cambios que ocurren a nivel celular y microestructural y los cambios que ocurren a nivel macroestructural, los cuáles muestran alta relación e influencia en el otro. La mayoría de los estudios realizados muestran el efecto de la aplicación baños cálcicos a nivel del tejido celular evaluando los efectos a nivel microscopia electrónica. Sin embargo es importante evidenciar que a nivel macro, es necesario evaluar cómo cambia la distribución de las células en relación a sus características morfométricas de forma y tamaño, aspectos medibles a través de análisis de imágenes y si existe una correlación con los cambios en firmeza medidos de forma instrumental y mediante evaluación organoléptica.

Referencias

- Aguayo, E., Escalona, V. H., & Artés, F. (2008). Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 397-406.
- Aguayo, E., Jansasithorn, R., & Kader, A. A. (2006). Combined effects of 1-methylcyclopropene, calcium chloride dip, and/or atmospheric modification on quality changes in fresh-cut strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 40(3), 269-278.
- Aguilera, J. M., Cadoche, L., López, C., & Gutierrez, G. (2001). Microstructural changes of potato cells and starch granules heated in oil. *Food Research International*, 34(10), 939-947.
- Aguilera, J. M., & Stanley, D. (1999). *Microstructural Principles of Food Processing and Engineering* Food Engineering Series. 2da edición. p 432.
- Akhtar, A., & Hussain, A. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of Loquat fruit during storage. *Pak. J. Bot.*, 42(1), 181 - 188.

- Alandes, L., Hernando, I., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Lluch, M. A. (2006). Cell Wall Stability of Fresh-Cut Fuji Apples Treated with Calcium Lactate. *Journal of Food Science*, 71(9), S615-S620.
- Alandes, L., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Hernando, I. (2009). Improving the Quality of Fresh-Cut Apples, Pears, and Melons Using Natural Additives. *Journal of Food Science*, 74(2), S90-S96.
- Alothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 512-516.
- Allan-Wojtas, P., Sanford, K., McRae, K., & Carbyn, S. (2003). An integrated microstructural and sensory approach to describe apple texture. *Journal of the American Society for horticultural Science*, 128(3), 381 - 390
- Allende, A., Desmet, M., Vanstreels, E., Verlinden, B. E., & Nicolai, B. M. (2004). Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. *Postharvest Biology and Technology*, 34(2), 131-141.
- Allende, A., Marín, A., Buendía, B., Tomás-Barberán, F., & Gil, M. I. (2007). Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, superatmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 46(3), 201-211.
- AMPEX (2006). Perfil de Mercado del Melón fresco (*Cucumis Melo L.*). AMPEX - Asociación macroregional de productores para la exportación, 33.
- Anino, S. V., Salvatori, D. M., & Alzamora, S. M. (2006). Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research International*, 39(2), 154-164.
- Annous, B., Burke, A., & Sites, J. (2004). Surface pasteurization of whole fresh cantaloupes inoculated with *Salmonella poona* or *Escherichia coli*. *J Food Prot*, 67, 1876 – 1885.
- Anónimo (2011). Morfoestructura de la Sierra de Gredos. Glosario - Morfoestructura.
- Artés-Hernández, F., Robles, P. A., Gómez, P. A., Tomás-Callejas, A., & Artés, F. (2010). Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 55(2), 114-120.
- Artés, F. (2000). *Productos vegetales procesados en fresco*. En *Aplicación del frío a los alimentos*. Lamua. Mundi Prensa. 127-214.
- Artés, F., Martínez, J. A., & Marín, J. G. (1999). Quality changes in minimally processed Romaine lettuce as affected by several treatments. . In: R. A. M. Hägg, A.M. Evers and K. Tiikkala., *Agriculture Food Quality II. Quality Management of Fruits and Vegetables*. The Royal Society of Chemistry (pp. 115 - 118). London.
- ASOHOFrucol (2010). Lineamientos de política para el sector hortofrutícola en Colombia. Asociación Hortifrutícola de Colombia.
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2000). *Fundamentos de fisiología vegetal* Universidad de Barcelona, Spain: Editorial McGraw-Hill Interamérica.
- Barcelo, J., Nicolas, G., Sabater, B., & Sánchez-Tamés, R. (2001). *Fisiología vegetal*. Madrid: Editorial Piramide.
- Barry-Ryan, C., & O'Beirne, D. (1998). Quality and Shelf-life of Fresh Cut Carrot Slices as Affected by Slicing Method. *Journal of Food Science*, 63(5), 851-856.
- Beirão-da-Costa, S., Cardoso, A., Martins, L. L., Empis, J., & Moldão-Martins, M. (2008). The effect of calcium dips combined with mild heating of whole kiwifruit for fruit slices quality maintenance. *Food Chemistry*, 108(1), 191-197.
- Bhande, S. D., Ravindra, M. R., & Goswami, T. K. (2008). Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 87(1), 116-123.
- Brett, C., & Waldrom, K. (1990). *Physiology and biochemistry of plant cell walls*. Inglaterra: Ed. Chapman & Hall.
- Busse, J. S., & Palta, J. P. (2006). Investigating the in vivo calcium transport path to developing potato tuber using ⁴⁵Ca: a new concept in potato tuber calcium nutrition. *Physiologia Plantarum*, 128(2), 313-323.
- Conte, A., Scrocco, C., Lecce, L., Mastromatteo, M., & Del Nobile, M. A. (2009). Ready-to-eat sweet cherries: Study on different packaging systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 564-571.

- Cosgrove, D. (2001). Wall structure and wall loosening. A look backwards and forwards. *Plant Physiology*, 125, 131 - 134.
- Chardonnet, C. O., Charron, C. S., Sams, C. E., & Conway, W. S. (2003). Chemical changes in the cortical tissue and cell walls of calcium-infiltrated [°]Golden Delicious' apples during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 97-111.
- Chen, F., Liu, H., Yang, H., Lai, S., Cheng, X., Xin, Y., Yang, B., Hou, H., Yao, Y., Zhang, S., Bu, G., & Deng, Y. (2011). Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry*, 126(2), 450-459.
- De Roeck, A., Mols, J., Sila, D. N., Duvetter, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2010). Improving the hardness of thermally processed carrots by selective pretreatments. *Food Research International*, 43(5), 1297-1303.
- Del Nobile, M. A., Conte, A., Scrocco, C., & Brescia, I. (2009). New strategies for minimally processed cactus pear packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(3), 356-362.
- Edwards, M. (1999). Vegetables and Fruit. In: A. Rosenthal, *Food Texture* (pp. 259 - 327). Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Fan, X., Annous, B. A., Beaulieu, J. C., & Sites, J. E. (2008). Effect of Hot Water Surface Pasteurization of Whole Fruit on Shelf Life and Quality of Fresh-Cut Cantaloupe. *Journal of Food Science*, 73(3), M91-M98.
- FAO (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Base de datos FAOSTAT.
- FAO (2010). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Tablas de composición de alimentos.
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., Andrés, A., & Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 175-183.
- Gil, M. I., Selma, M. V., López-Gálvez, F., & Allende, A. (2009). Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: Problems and solutions. *International Journal of Food Microbiology*, 134(1-2), 37-45.
- Gomes, M. H., Fundo, J. F., Santos, S., Amaro, A. L., & Almeida, D. P. F. (2010). Hydrogen ion concentration affects quality retention and modifies the effect of calcium additives on fresh-cut [°]Rocha' pear. *Postharvest Biology and Technology*, 58(3), 239-246.
- Grant, G. T., Morris, E. R., Rees, D. A., Smith, P. J. C., & Thom, D. (1973). Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box model. *FEBS Letters*, 32, 195-198.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M. J., & Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), 247-253.
- Hewajulige, I. G. N., Wilson Wijeratnam, R. S., Wijesundera, R. L. C., & Abeysekere, M. (2003). Fruit calcium concentration and chilling injury during low temperature storage of pineapple. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(14), 1451-1454.
- Higashi, K., Ezura, H., & Hosoya, K. (1999). Histological analysis of fruit development between two melon (*Cucumis melo* L. *reticulatus*) genotypes setting a different size of fruit. *Journal of Experimental Botany*, Volume 50, Number 339, October 1999, pp. 1593-1597(5), 50(5), 1593 - 1597.
- Konstankiewicz, K., Czachor, H., Gancarz, M., Krol, A., Pawlak, K., & Zdunek, A. (2002). Cell structural parameters of potato tuber tissue *International Agrophysics*, 16(2), 119 - 127.
- Konstankiewicz, K., Pawlak, K., & Zdunek, A. (2001). Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *Int. Agrophysics*, 15, 243 - 246
- Lamikanra, O., Bett-Garber, K. L., Ingram, D. A., & Watson, M. A. (2005). Use of Mild Heat Pretreatment for Quality Retention of Fresh-cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 70(1), C53-C57.
- Lamikanra, O., Bett-Garber, K. L., Watson, M. A., & Ingram, D. A. (2010). Underwater processing with and without added calcium influences shelf life quality of fresh-cut cantaloupe. *Journal of Food Quality*, 33, 246-261.
- Lamikanra, O., Richard, O. A., & Parker, A. (2002). Ultraviolet induced stress response in fresh cut cantaloupe. *Phytochemistry*, 60(1), 27-32.

- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2004). Effect of Calcium Treatment Temperature on Fresh-cut Cantaloupe Melon during Storage. *Journal of Food Science*, 69(6), C468-C472.
- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2007). Mild heat and calcium treatment effects on fresh-cut cantaloupe melon during storage. *Food Chemistry*, 102(4), 1383-1388.
- Lewicki, P. P., & Porzecka-Pawlak, R. (2005). Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 43-50.
- Liu, H., Chen, F., Yang, H., Yao, Y., Gong, X., Xin, Y., & Ding, C. (2009). Effect of calcium treatment on nanostructure of chelate-soluble pectin and physicochemical and textural properties of apricot fruits. *Food Research International*, 42(8), 1131-1140.
- Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61-72.
- Luna-Guzman, I., Cantwell, M., & Barrett, D. M. (1999). Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology*, 17, 201-213.
- Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G., & Mignani, I. (2007). The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, 100(4), 1385-1392.
- Marquez, C. (2009). Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutracéutica, estructural y sensorial de la Guanábana (*Annona muricata L. cv. Elita*). *Departamento de Ciencias Agronómicas* vol. Doctor en Ciencias (p. 274). Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Martens, H. J., & Thybo, A. K. (2000). An Integrated Microstructural, Sensory and Instrumental Approach to Describe Potato Texture. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 33(7), 471-482.
- Martín-Diana, A. B., Rico, D., Frías, J. M., Barat, J. M., Henahan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(4), 210-218.
- Mayor, L., Pissarra, J., & Sereno, A. M. (2008). Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 326-339.
- Mayor, L., Silva, M. A., & Sereno, A. M. (2005). Microstructural Changes during Drying of Apple Slices. *Drying Technology: An International Journal*, 23(9), 2261 - 2276.
- McAtee P, H. L., Johnston J, Schaffer R (2009). A rapid method of fruit cell isolation for cell size and shape measurements. *Plant Methods*, 5(5), 1 - 7.
- Mignani, I., Greve, L. C., Ben-Arie, R., Stotz, H. U., Li, C., Shackel, K. A., & Labavitch, J. M. (1995). The effects of GA₃ and divalent cations on aspects of pectin metabolism and tissue softening in ripening tomato pericarp. *Physiologia Plantarum*, 93(1), 108-115.
- MinAgricultura (2008). Informe técnico. Bogotá, D.C.: Oficina de Información y Estadística. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*, 13p.
- NTC5207 (2004). Frutas Frescas: Melon variedad Cantaloupe - Especificaciones. (pp. 1 - 19): Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC.
- Nunes, C., Santos, C., Pinto, G., Silva, S., Lopes-da-Silva, J. A., Saraiva, J. A., & Coimbra, M. A. (2009). Effects of ripening on microstructure and texture of "Ameixa d'Elvas" candied plums. *Food Chemistry*, 115(3), 1094-1101.
- Nunez-Paleniuss, H., Gomez-Liu, M., Ochoa-Alijo, N., Grumet, R., Lester, G., & Cantliffe, D. (2008). Melon fruits: Genetic diversity, physiology and biotechnology features. *Critical Reviews in Biotechnology*, 28, 13 - 55.
- Oey, M. L., Vanstreels, E., De Baerdemaeker, J., Tijskens, E., Ramon, H., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolai, B. (2007). Effect of turgor on micromechanical and structural properties of apple tissue: A quantitative analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 240-247.
- Oey, M. L., Vanstreels, E., De Baerdemaeker, J., Tijskens, E., Ramon, H., & Nicolai, B. (2006). Influence of Turgor on Micromechanical and Structural Properties of Apple Tissue. *IUFOST 2006*.
- Ogbonna, P. E., & Odo, L. C. (2011). Efficiency of seed extraction methods in the control of loss and low seed quality in egusi melon (*Colocynthis citrullus L.*). *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(2), 58 - 62.

- Olivas, G. I., Mattinson, D. S., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2007). Alginate coatings for preservation of minimally processed ['Gala' apples. *Postharvest Biology and Technology*, 45(1), 89-96.
- Oms-Oliu, G., Aguiló-Aguayo, I., & Martín-Belloso, O. (2006). Inhibition of Browning on Fresh-cut Pear Wedges by Natural Compounds. *Journal of Food Science*, 71(3), S216-S224.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M. A., González, L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I. H., Munuera, I. P., Fiszman, S., & Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139-148.
- Perez-Gago, M. B., Serra, M., & Río, M. A. d. (2006). Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 84-92.
- Phan, T., Bo, W., West, G., Lycett, G., & Tucker, G. (2007). Silencing of the major salt dependent isoform of pectinesterase in tomato alters fruit softening. *Plant Physiology*, 144, 1960 - 1916.
- Portela, S. I., & Cantwell, M. I. (2001). Cutting Blade Sharpness Affects Appearance and Other Quality Attributes of Fresh-cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 66(9), 1265-1270.
- Ragaert, P., Verbeke, W., Devlieghere, F., & Debevere, J. (2004). Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Quality and Preference*, 15, 259 - 270.
- Ramos, I. N., Silva, C. L. M., Sereno, A. M., & Aguilera, J. M. (2004). Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. *Journal of Food Engineering*, 62(2), 159-164.
- Rapisarda, P., Caggia, C., Lanza, C. M., Bellomo, S. E., Pannuzzo, P., & Restuccia, C. (2006). Physicochemical, Microbiological, and Sensory Evaluation of Minimally Processed Tarocco Clone Oranges Packaged with 3 Different Permeability Films. *Journal of Food Science*, 71(3), S299-S306.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Barat, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1196-1206.
- Rocculi, P., Romani, S., & Rosa, M. D. (2004). Evaluation of physico-chemical parameters of minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere. *Food Research International*, 37(4), 329-335.
- Rojas-Graü, M. A., Raybaudi-Massilia, R. M., Soliva-Fortuny, R. C., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., & Martín-Belloso, O. (2007). Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, 45(2), 254-264.
- Rojas-Graü, M. A., Sobrino-López, A., Soledad Tapia, M., & Martín-Belloso, O. (2006). Browning Inhibition in Fresh-cut 'Fuji' Apple Slices by Natural Antibrowning Agents. *Journal of Food Science*, 71(1), S59-S65.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Effect of Natural Antibrowning Agents on Color and Related Enzymes in Fresh-Cut Fuji Apples as an Alternative to the Use of Ascorbic Acid. *Journal of Food Science*, 73(6), S267-S272.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., & Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1), 139-147.
- Rosli, H. G., Civello, P. M., & Martinez, G. A. (2004). Changes in cell wall composition of three *Fragaria x ananassa* cultivars with different softening rate during ripening. *Plant physiology and biochemistry : PPB / Societe francaise de physiologie vegetale*, 42(10), 823-831.
- Saftner, R. A., Bai, J., Abbott, J. A., & Lee, Y. S. (2003). Sanitary dips with calcium propionate, calcium chloride, or a calcium amino acid chelate maintain quality and shelf stability of fresh-cut honeydew chunks. *Postharvest Biology and Technology*, 29(3), 257-269.
- Sansiribhan, S., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2010). Quantitative Evaluation of Microstructural Changes and their Relations with Some Physical Characteristics of Food during Drying. *Journal of Food Science*, 75(7), E453-E461.
- Saurel, R. (2004). Improving the texture of processed vegetable by vacuum infusion. In: D. Kilcast, *Texture in Food: Solid Foods* (pp. 364 - 387). England: CRC Press.
- Seguí, L., Fito, P. J., & Fito, P. (2010). Analysis of structure-property relationships in isolated cells during OD treatments. Effect of initial structure on the cell behaviour. *Journal of Food Engineering*, 99(4), 417-423.

- Sila, D. N., Smout, C., Vu, T. S., & Hendrickx, M. E. (2004). Effects of High-Pressure Pretreatment and Calcium Soaking on the Texture Degradation Kinetics of Carrots during Thermal Processing. *Journal of Food Science*, 69(5), E205-E211.
- Sila, D. N., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., De Roeck, A., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Pectins in Processed Fruits and Vegetables: Part II—Structure–Function Relationships. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 86-104.
- Silveira, A. C., Conesa, A., Aguayo, E., & Artes, F. (2008). Alternative Sanitizers to Chlorine for Use on Fresh-Cut “Galia” (Cucumis melo var. catalupensis) Melon. *Journal of Food Science*, 73(9), M405-M411.
- Soliva-Fortuny, R. C., Lluch, M. A., Quiles, A., Grigelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (2003). Evaluation of Textural Properties and Microstructure During Storage of Minimally Processed Apples. *Journal of Food Science*, 68(1), 312-317.
- Soliva-Fortuny, R. C., & Martín-Belloso, O. (2003). Microbiological and biochemical changes in minimally processed fresh-cut Conference pears. *European Food Research and Technology*, 217(1), 4-9.
- Solomon, E., Huang, L., Sites, J., & Annous, B. (2006a). Thermal inactivation of Salmonella on cantaloupes using hot water. *Journal of Food Science*, 71(2), M25 - 30.
- Solomon, E. B., Huang, L., Sites, J. E., & Annous, B. A. (2006b). Thermal Inactivation of Salmonella on Cantaloupes Using Hot Water. *Journal of Food Science*, 71(2), M25-M30.
- Trejo Araya, X. I., Hendrickx, M., Verlinden, B. E., Van Buggenhout, S., Smale, N. J., Stewart, C., & John Mawson, A. (2007). Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: A microstructural and biochemical approach. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 873-884.
- Ukuku, D., Pilizota, V., & Sapers, G. (2004). Effect of hot water and hydrogen peroxide treatment on survival of Salmonella and microbial quality of whole cantaloupe and fresh-cut cantaloupe. *J Food Prot*, 67, 432 - 437.
- USDA (2008). Economic Research Service - United States Department Agriculture.
- Van Buggenhout, S., Sila, D. N., Duvetter, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Pectins in Processed Fruits and Vegetables: Part III—Texture Engineering. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 105-117.
- Varela, P., Aguilera, J. M., & Fiszman, S. (2008). Quantification of fracture properties and microstructural features of roasted Marcona almonds by image analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1), 10-17.
- Varela, P., Salvador, A., & Fiszman, S. (2007). Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 622-629.
- Waldron, K. (2004). Plant structure and fruit and vegetable texture In: D. Kilcast, *Texture in Food: Solid Foods* (pp. 242 - 258). England: CRC Press.
- Wiley, R. C. (1997). *Introducción a las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, en: Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Zdunek, A., & Umeda, M. (2005). Influence of cell size and cell wall volume fraction on failure properties of potato and carrot tissue. *Journal of Texture Studies*, 36(1), 25-43.

5. CAPÍTULO 2 - METODOLOGÍA

5.1 Selección de la fruta

Los experimentos se realizaron utilizando Melón (*Cucumis melo* L.) variedad cantaloupe, adquiridos en el mercado local procedente de la región del Valle del Cauca. Los melones fueron seleccionados teniendo en cuenta el parámetro color observado en la cáscara correspondiente al grado de maduración 3 (NTC5207, 2004). Una vez verificada la ausencia de defectos como daños por frío, daños por insectos, golpes y fisuras; las muestras se almacenaron por máximo 48 horas a 4°C hasta su procesamiento.

5.2 Preparación de la muestras.

Los melones enteros fueron lavados y desinfectados en una solución de hipoclorito de sodio de 150 mg/L (Silveira, Conesa, Aguayo & Artes, 2008). La fruta se cortó en sentido longitudinal en dos mitades, siendo removidas manualmente la cáscara y las semillas. De los dos trozos se obtuvieron cilindros de radio 12 ± 2 mm por 5 mm de altura con un peso aproximado de $5 \pm 0,5$ g, empleando para ello un sacabocados metálico.

5.3 Aplicación de tratamientos

Tratamiento 1.

Las muestras de melón fueron sometidos a inmersión a 60°C en soluciones de tres sales: lactato, cloruro y propionato de calcio, cada una a dos concentraciones: 0,5 y 1% durante 1, 2 y 3 min, en una relación fruta – solución 1:4. Como muestras control se emplearon cilindros de melón sumergidos en agua destilada durante 1, 2 y 3 min a 60°C. Una vez terminado el tratamiento se enfriaron las muestras por inmersión en agua a 5°C por 3 min y luego se retiró el exceso de solución. Se empleó como muestra patrón melón fresco pre-cortado sin tratamiento.

La temperatura de aplicación del tratamiento de calcio, se definió como un factor fijo teniendo en cuenta los resultados preliminares obtenidos al comparar las temperaturas de 50 y 60°C. Los resultados indican que la aplicación de calcio a 60°C favorece el mantenimiento de la firmeza del tejido del melón, como se muestra en el artículo presentado en el ENID (Anexo No 1). Resultados similares ha sido reportado por varios autores en melón (Aguayo, Escalona & Artés, 2008; Lamikanra & Watson, 2007; Luna-Guzmán & Barrett, 2000; Luna-Guzman, Cantwell & Barrett 1999; Martín-Diana, Rico, Frías, Barat, Henehan & Barry-Ryan, 2007; Rico, Martín-Diana, Frías, Barat, Henehan & Barry-Ryan, 2007).

Diseño Experimental

Como se muestra en la figura 5.1, se trabajó con un diseño de bloques completamente al azar, con tres factores:

- Fuente de calcio: cloruro, lactato, propionato de calcio y sin calcio
- Concentración: 0,5 y 1%
- Tiempo de aplicación del tratamiento: 1, 2 y 3 minutos,

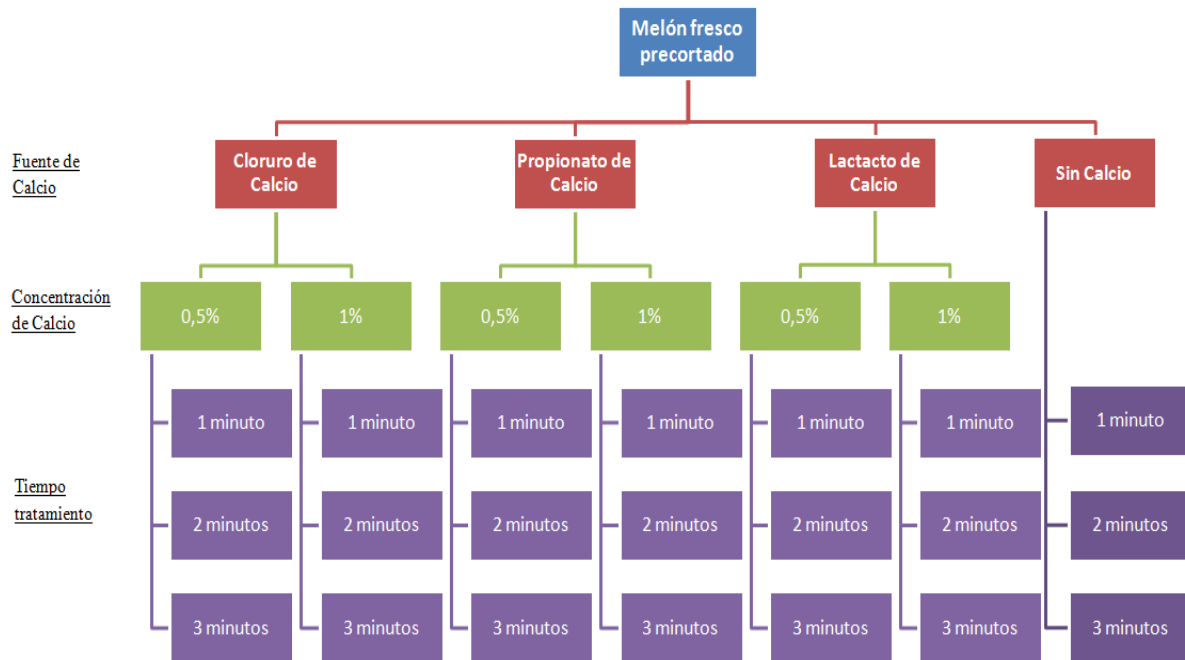


Figura 5.1. Diseño Experimental – Tratamiento No 1.

Tratamiento 2.

Las muestras de melón fueron sometidas a inmersión en soluciones de lactato y cloruro de calcio al 1% durante 3 min a 60°C, en una relación fruta – solución 1:4. Una vez terminado el tratamiento se enfriaron las muestras por inmersión en agua a 5°C por 3 min y luego se retiró el exceso de solución. Se empleó como muestras control melón fresco pre-cortado sin tratamiento bajo las mismas condiciones de almacenamiento.

Posteriormente las muestras fueron empacadas en películas BOPP flexible de 140 micras a 150 mbar utilizando una empacadora a vacío Multivac® y almacenadas a 4°C durante 14 días en una incubadora Friocell Marca MMM Medcenter®. Como muestra control se emplearon cilindros de melón sin tratamiento.

Diseño Experimental

En la figura 5.2 se muestra el diseño experimental, en el cual se empleó un diseño de bloques completamente al azar, con dos factores:

- Tipo de tratamiento: control, lactato de calcio 1% y cloruro de calcio 1%
- Tiempo de almacenamiento: 0, 3, 5, 7, 10, 12 y 14 días

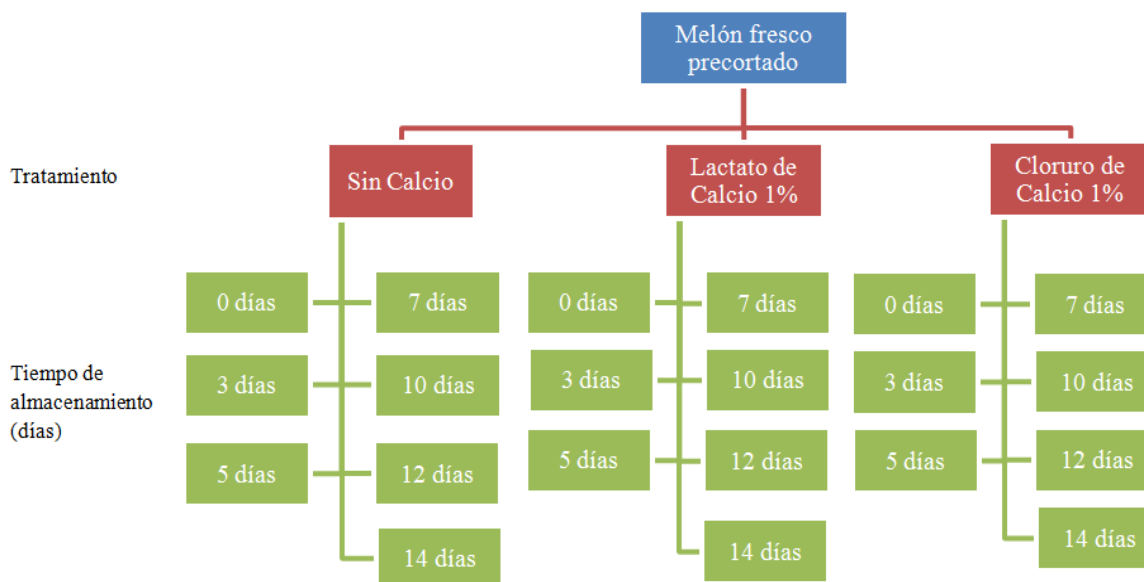


Figura 5.2. Diseño Experimental – Tratamiento No 2.

5.4 Métodos analíticos

A continuación se describen todos los métodos analíticos empleados en el desarrollo de la experimentación, independiente de su aplicación en cada los experimentos.

5.4.1. Análisis fisicoquímicos

Determinación del Contenido de Sólidos Solubles Totales - SST

La medición de SST se realizó por refractometría (°Brix) a partir del jugo obtenido de las muestras de melón, empleando corrección por temperatura (AOAC 932.13 de 1990)

Determinación de pH y Acidez

A partir de las muestras de melón fresco y tratado se obtuvieron por maceración 5 gr de jugo y se le adicionaron 50 ml de agua destilada. Con un autotitulado TITRINO 702SM marca METROHM®, se determinó el valor de pH y el porcentaje de acidez por titulación con NaOH

0,1N hasta pH 8.3. La acidez fue expresada como porcentaje de ácido cítrico (AOAC 942.15 de 2005).

Determinación pérdida de peso

El porcentaje de pérdida de peso se determinó como la relación entre el peso final y el peso inicial de las muestras de melón almacenadas, empleando una balanza analítica marca Mettler Toledo® de precisión 0,0001g.

Determinación contenido de calcio

La medición del contenido de calcio se realizó por espectrofotometría de absorción atómica con llama a partir de las muestras de melón AOAC 985.35 de 2005.

5.4.2. Análisis de textura

La firmeza fue evaluada como la fuerza máxima de penetración empleando un texturometro TATX2® (Stable Micro Systems LTD. Surrey, Inglaterra) con una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro y base plana (P5). Los parámetros de operación fueron: velocidad pre-ensayo de: 2mm/s, velocidad de ensayo de: 1mm/s, velocidad post-ensayo de: 10mm/s, fuerza de: 90g y distancia de penetración de: 3,5 mm. Se realizó la medición a cinco muestras de melón por réplica de tratamiento y los valores fueron reportados como media \pm desviación.

5.4.3. Análisis enzimáticos

Extracción de pectinmetilesterasa (PME)

Para la extracción de PME se empleó el método de (Beirão-da-Costa, Cardoso, Martins, Empis & Moldão-Martins, 2008) con modificaciones. 12 gramos de tejido de melón fueron homogeneizados con 40 ml de NaCl 1.5M a 5°C con un T25 Ultraturax® a una velocidad de 24000 rpm durante 2 minutos. La mezcla homogenizada se mantuvo a 4°C durante 30min y posteriormente centrifugada a 9000g por 30 minutos a 4°C. El sobrenadante resultante fue utilizado como extracto para la medición de la actividad enzimática.

Medición Actividad enzimática de pectinmetilesterasa (PME)

La actividad enzimática de la PME se determinó volumétricamente al evaluar los grupos carboxilo libres formados como resultado de la acción de la enzima sobre la pectina, empleando el método de (Wolti-Chanes, Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán, 2009) con modificaciones. A diez mililitros de una solución de pectina cítrica al 1% previamente llevada a 30°C se adicionaron 10 ml de extracto enzimático y 0,1755 g de cloruro de sodio. Manteniendo una temperatura constante de 30°C de la mezcla pectina – extracto se adicionó una solución de NaOH 0,5N hasta alcanzar un pH de 7,5. Empleando un autotitulado

TITRINO 702SM marca METROHM®, la mezcla pectina – extracto fue valorada cada 2 minutos con NaOH 0,02N hasta mantener el pH en 7,5 durante 10 minutos. Al extracto enzimático se determinó el contenido de proteína por el método de Biuret usando albumina de suero bovino (BSA) como estándar (Gornall, Bardawill & David, 1949). La actividad de la PME fue expresada como nkat, indicando la cantidad de enzima que cataliza la reacción de 1 μ mol de sustrato por un minuto por gr de proteína y fue calculada usando la siguiente fórmula.

$$PME (nkat) = \frac{Volumen NaOH (ml) * [] NaOH (N) * 1000}{Tiempo (min) * Volumen extracto (ml) * proteina \left(\frac{mg}{ml} \right)} * 0,060$$

5.4.4. Análisis sensorial.

Un panel de cinco jueces preentrenados llevaron a cabo la evaluación sensorial de los atributos de calidad de melón fresco precortado y de las muestras de los respectivos tratamientos. Se efectuaron dos ensayos: hedónico y de calidad. El ensayo hedónico determinó la aceptación general del producto, empleando una escala de 1 a 9, siendo 9: me gusta mucho, 7: me gusta moderadamente, 5: No me gusta ni me disgusta, 3: me disgusta moderadamente y 1: me disgusta mucho. En el ensayo de calidad se evaluaron los parámetros de color, olor, sabor y textura de acuerdo con los descriptores de calidad de melón que se presentan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Descriptores de calidad de melón fresco precortado.

Atributo de Calidad	Puntaje subjetivo*				
	9	7	5	3	1
Color	Color naranja	Pérdida ligera del color naranja	Presencia de partes pálidas	Coloración palida	Color translucido
Olor	Aromatico - dulce	Pérdida ligera aroma dulce	Aroma dulce poco perceptible	No se detecta aroma	Olor no característico
Sabor	Característico - dulce	Pérdida ligera sabor dulce	Sabor dulce poco perceptible	Insipido	Sabor no característico
Textura	Fresco y crujiente	Pérdida ligera de frescura	Textura normal	Textura blanda	Textura muy blanda

A partir de los datos obtenidos, se determinaron el índice de apreciación y el índice de calidad de los productos para relacionarlos a través de mapa de aceptación – calidad. Para su determinación se evaluó el promedio ponderado de todas calificaciones asignadas a los atributos evaluados mediante la siguiente ecuación

$$\bar{X} = \sum \frac{a_i v_i}{n} \quad (1)$$

En donde a_i es el número de panelistas que calificaron una de las características del producto, y v_i es el valor numérico que se le asignó a cada uno de esas calificaciones. Posteriormente, con los promedios de cada característica se procede a agruparlos en cada una de los índices a evaluar, a partir de la siguiente ecuación:

$$\bar{X}_p = \sum \frac{\bar{X}}{na} \quad (2)$$

En este caso \bar{X} es el promedio calculado anteriormente para cada atributo, y na es el número de atributos que se evalúan. Cada índice debió ser ajustado a un valor porcentual considerando como máximo de calidad el 100%, el mismo que debe ser equivalente al máximo para cada índice, empleando una regla de proporcionalidad simple (Nestrud & Lawless, 2008; Tietel, Bar, Lewinsohn, Feldmesser, Fallik & Porat, 2010).

5.4.5. Análisis microbiológico.

Se homogeneizó 1g de jugo de melón fresco y tratado con 9 ml de agua estéril y se realizaron 4 diluciones seriadas. Empleando la técnica de microgota (Doyle, Beuchat & Montville, 2000), se realizó el recuento de mesófilos aerobios totales en agar nutritivo, coliformes totales en EMB y mohos y levaduras en PDA. Las condiciones de incubación fueron 37°C durante 48 h para bacterias mesófilas y coliformes y de 25°C durante 5 días para hongos y levaduras. Los recuentos totales se expresaron en unidades logarítmicas de unidades formadoras de colonias por g (UFC/g). Al no contar con un referente colombiano específico, la calidad microbiológica fue evaluada de acuerdo con los límites máximos exigidos en la RD3484/2000 de España, que establece como límites máximos 7Log UFC/g para bacterias aerobias, 4 Log UFC/g para coliformes y 3 Log UFC/g para mohos.

5.4.6. Análisis morfométrico.

Tratamiento del material vegetal y captura de imagen

A continuación se indica a través de un diagrama de flujo, las etapas que con llevan esta parte del análisis morfométrico.

5.4.6. Análisis morfométrico.

Tratamiento del material vegetal y captura de imagen

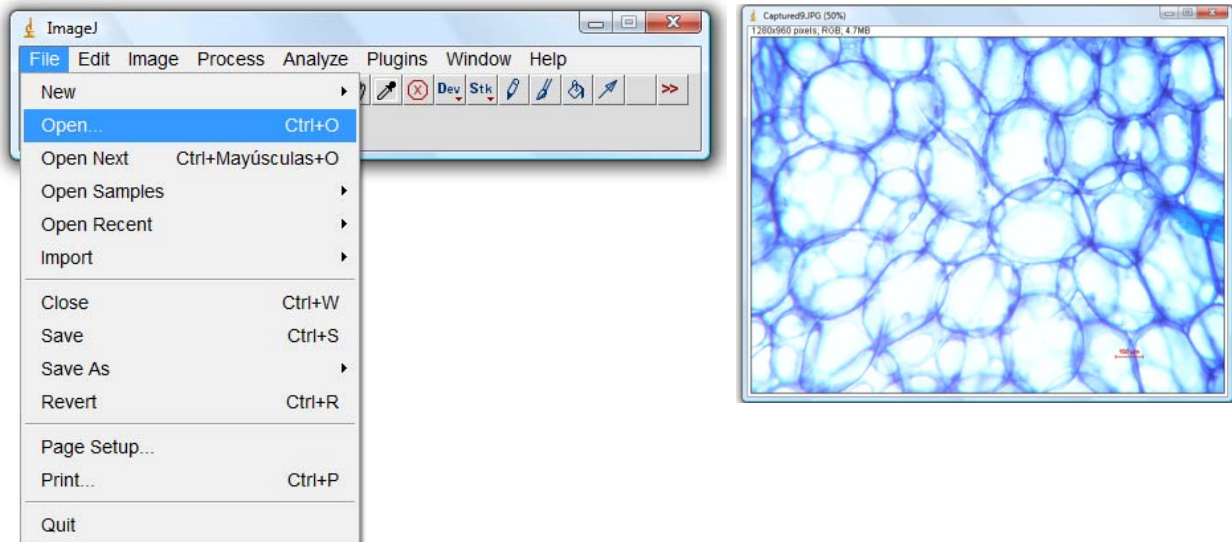
A continuación se indica a través de un diagrama de flujo, las etapas que con llevan esta parte del análisis morfométrico.



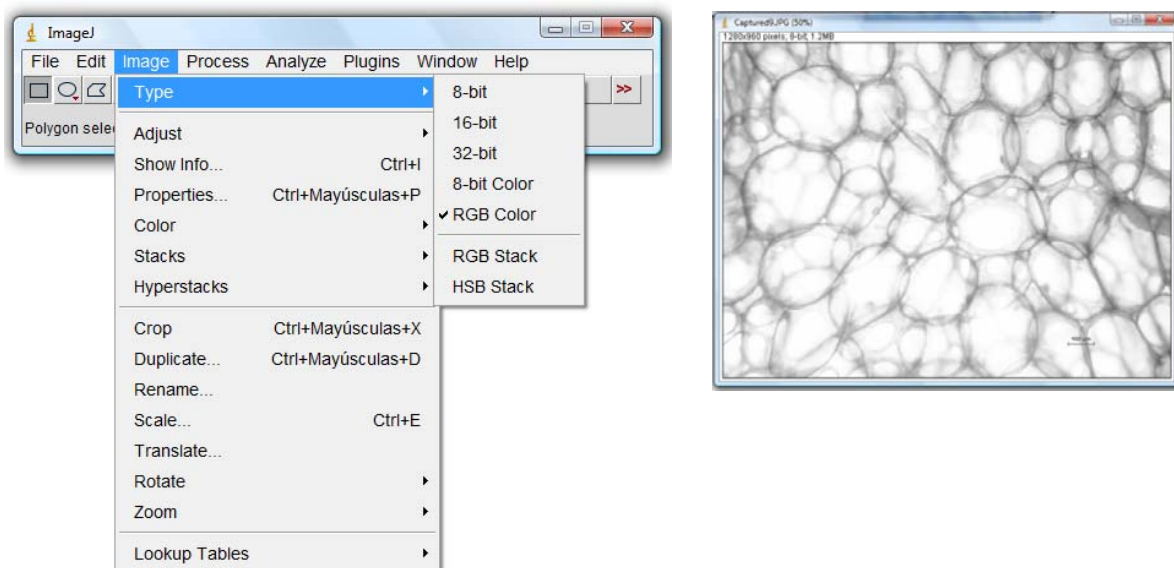
Tratamiento y Análisis de las imágenes

La estandarización y análisis de las imágenes se realizó con la ayuda del programa Image J® (Rasband, 1997 - 2004), de acuerdo con el procedimiento que se indica a continuación.

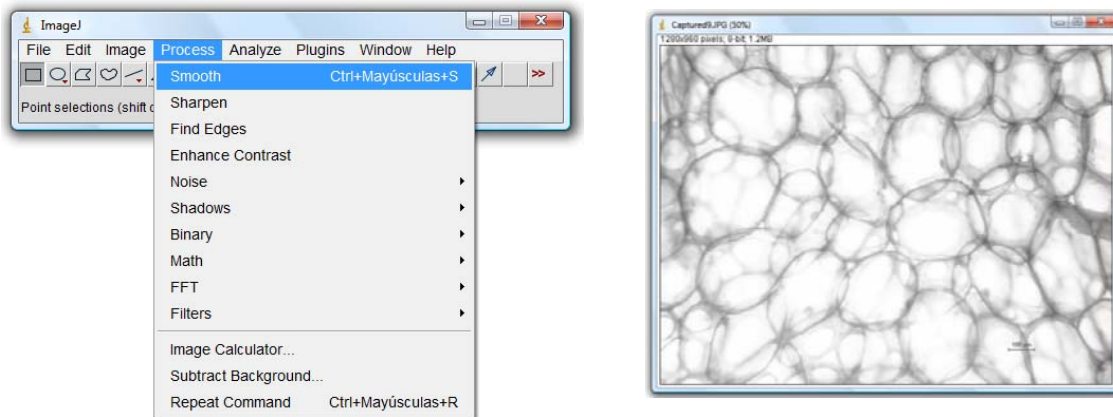
1. Abrir la Imagen *.jpg en el software Image J®



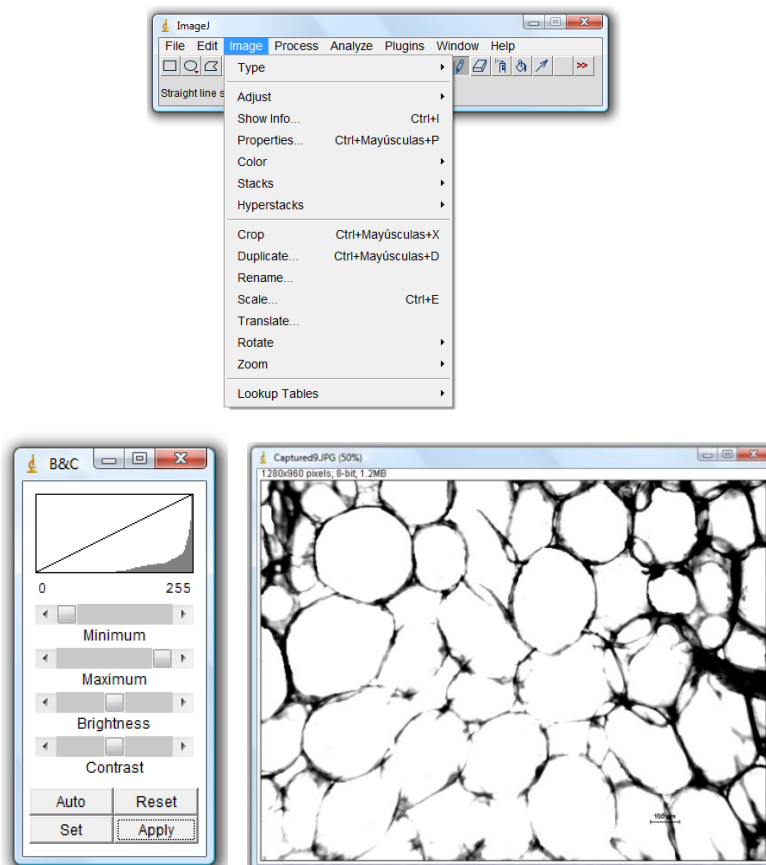
2. Convertir la imagen a escala de grises (8 bits, formato *.bmp), con la herramienta *type* seguido de *8-bits* del menú *image*.



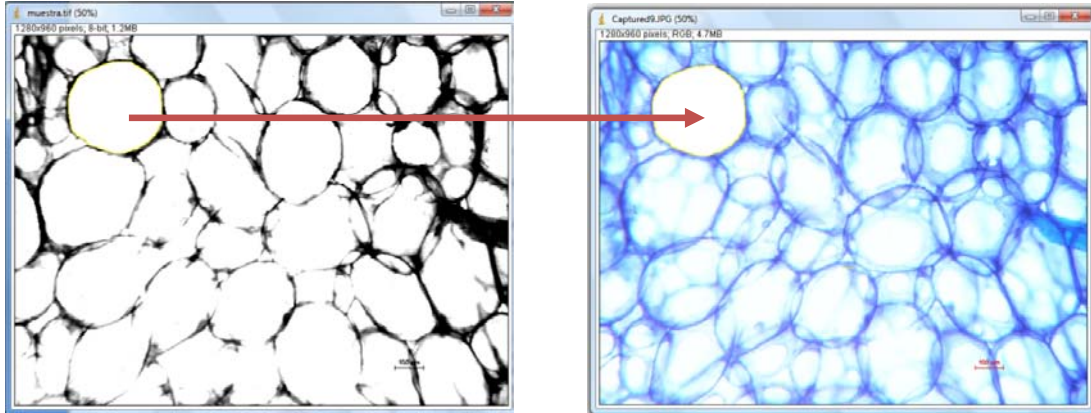
3. Se aplica el filtro "Smooth" para suavizar los límites del objeto con la herramienta *smooth* del menú *process*.



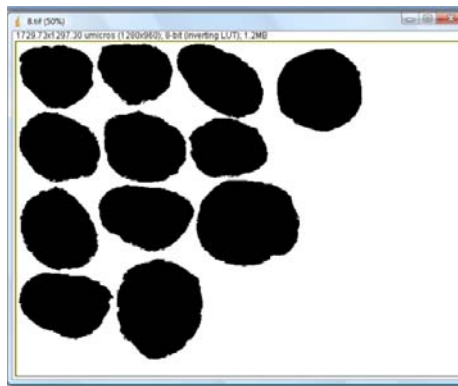
4. Se ajustó el brillo, contraste e intensidad con la herramienta *Adjust / brightness-contrast* ajustar del menú *imagen*.



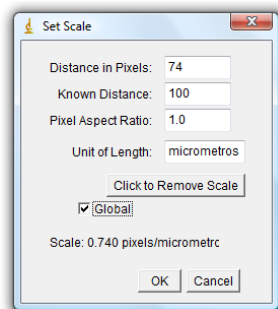
5. Cada objeto de interés se seleccionó de forma manual con la herramienta *varita mágica* y hacer la prueba de sobreposición para validar que se ha tomado la porción de célula correcta.



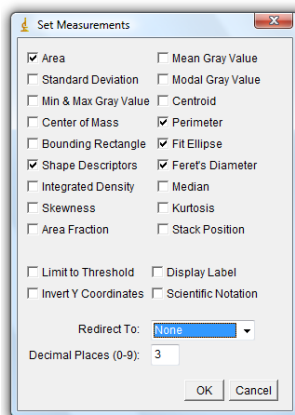
6. Los objetos seleccionados y validados, se recortaron y pegaron en una nueva carpeta y luego fueron rellenos. Estas nuevas imágenes se guardaron en un formato *.tiff.



7. Se calibró el software Image J con el referente métrico utilizado en la captura de las imágenes; se escoge la distancia tomando dos puntos del sistema métrico y se seleccionó la opción *scale* del menú *analyse*, colocando la equivalencia en milímetros para la cantidad de píxeles correspondientes a esa distancia.



8. Para determinar los parámetros morfométricos se seleccionó en *set measurements* del menú *analyse*, las siguientes medidas: área, descriptores de forma, perímetro, diámetro de Feret.



9. Para obtener los parámetros morfométricos se selecciona los objetos con la varita mágica y se escogió *analyse particles* del menú *Analyse*. Los datos obtenidos son guardados en un archivo en Excel para su posterior análisis.

	Area	Perim.	Major	Minor	Angle	Circ.	Feret	FeretAngle	MinFeret	AR	Round	Solidity
4	83533.601	1106.961	334.197	318.251	179.068	0.857	342.799	24.949	318.895	1.050	0.952	0.985
5	69508.766	1170.491	332.709	266.003	159.977	0.638	344.687	155.445	268.988	1.251	0.800	0.971
6	64282.323	1093.888	324.735	252.042	155.542	0.675	332.075	151.036	258.063	1.288	0.776	0.968
7	54472.243	993.912	303.777	228.313	174.700	0.693	315.953	163.348	229.730	1.331	0.752	0.965
8	106559.533	1370.253	403.990	335.840	0.991	0.713	404.955	168.840	335.357	1.203	0.831	0.975
9	70217.312	1177.536	366.310	244.065	171.547	0.636	373.523	176.889	249.349	1.501	0.666	0.967
10	71738.495	1156.547	334.598	272.985	125.640	0.674	337.678	141.662	274.721	1.226	0.816	0.970
11	100164.354	1387.317	381.194	334.562	88.034	0.654	392.576	81.089	332.432	1.139	0.878	0.972
12	68730.825	1115.974	357.308	244.917	171.148	0.694	368.285	3.576	248.813	1.459	0.685	0.968

Las características morfológicas fueron basadas en los parámetros de tamaño y forma, los cuales se definen a continuación de acuerdo con (Zheng, Sun & Zheng, 2006)

Parámetros de Tamaño

- Área (A): es una medida de la extensión de una superficie, expresada en unidades de medida denominadas superficiales
- Perímetro (P): medida del contorno de una figura geométrica.
- Longitud máxima (LM): es la distancia lineal entre los dos píxeles más alejados entre sí, en un objeto.
- Longitud mínima (lm): es la línea más larga que se pueden extraer a través del objeto perpendicular al eje mayor.
- Diámetro de Feret (Df): es determinado por la distancia de dos píxeles con las coordenadas más grandes y más pequeñas a diferentes orientaciones.

Parámetros de Forma

- Elongación o factor elíptico: Es una relación entre la longitud máxima y mínima.

$$\text{Elongación} = \frac{\text{Longitud Máxima}}{\text{Longitud Mínima}}$$

- Factor de forma: Es un factor que indica que tanto un objeto se circunscribe a un círculo. Es decir al valor de 1 se refiere a un círculo perfecto.

$$\text{Factor de forma} = \frac{4 \cdot \text{Area}}{\text{Perimetro}^2}$$

- Compacidad: es un factor que define la rugosidad de un objeto

$$\text{Compacidad} = \frac{\text{Perimetro}^2}{\text{Area}}$$

Determinación número de muestras.

Para determinar el número mínimo de células a analizar por tratamiento y garantizar un error en la medición menor al 0.05%, se realizaron la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnof, el gráfico de histogramas y el grafico de error estándar de muestreo. Los resultados obtenidos indicaron que con número de mediciones de las parámetros morfométricos $n = 60$ permiten garantizar un error al 0,05% como se muestra la Figura 3. Los resultados de la prueba de normalidad y el grafico de histogramas se muestran en el Anexo No 5.

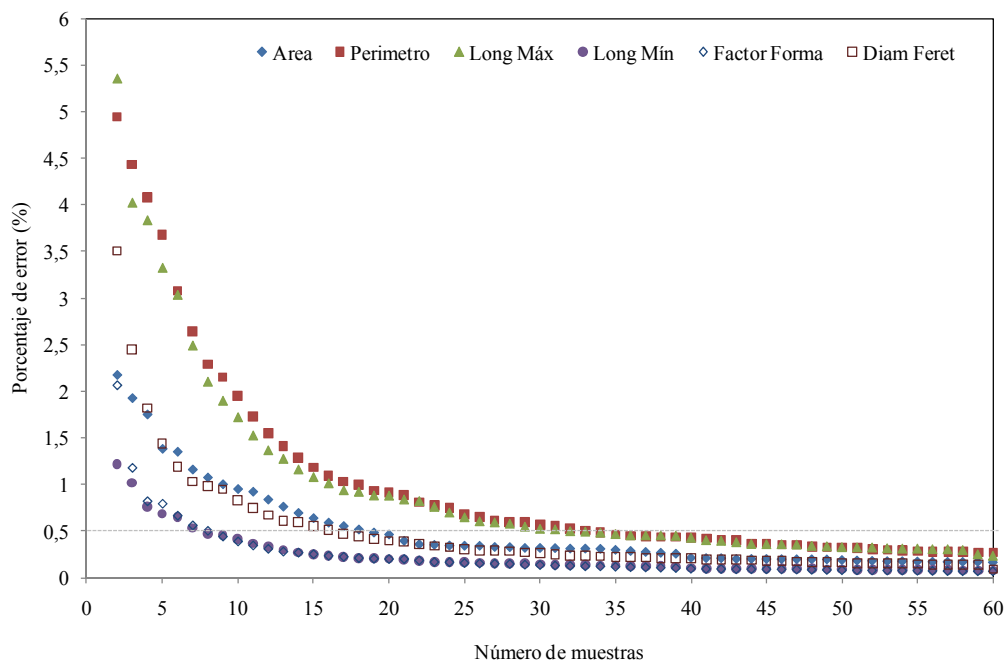


Figura 3. Error estándar de muestreo en función del número de muestras

5.1 Análisis estadísticos.

Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento y los datos obtenidos se expresaron en términos de media \pm desviación estándar. Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza – ANOVA con un nivel de confianza del 95%, y una prueba de diferencia de medias Tukey's empleando el software de Minitab® version 16.

Referencias.

- A.O.A.C (1990). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists 15th Edition.
- A.O.A.C (2005). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists 18th Edition
- Aguayo, E., Escalona, V. H., & Artés, F. (2008). Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 397-406.
- Beirão-da-Costa, S., Cardoso, A., Martins, L. L., Empis, J., & Moldão-Martins, M. (2008). The effect of calcium dips combined with mild heating of whole kiwifruit for fruit slices quality maintenance. *Food Chemistry*, 108(1), 191-197.
- Doyle, M., Beuchat, L., & Montville, T. (2000). *Microbiología de los alimentos fundamentos y fronteras.*: Acribia. España.
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of Serum Proteins by Means of the Biuret Reaction. *Journal Biology and Chemical*, 177, 751.
- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2007). Mild heat and calcium treatment effects on fresh-cut cantaloupe melon during storage. *Food Chemistry*, 102(4), 1383-1388.
- Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61-72.
- Luna-Guzman, I., Cantwell, M., & Barrett, D. M. (1999). Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology*, 17, 201-213.
- Martín-Diana, A. B., Rico, D., Frías, J. M., Barat, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(4), 210-218.
- Nestrud, M. A., & Lawless, H. T. (2008). Perceptual mapping of citrus juices using projective mapping and profiling data from culinary professionals and consumers. *Food Quality and Preference*, 19(4), 431-438.
- NTC5207 (2004). Frutas Frescas . Melón Variedad Cantaloupe. Especificaciones. (pp. 1 - 19): Icontec.
- Rasband, W. S. (1997 - 2004). ImageJ, National Institutes of Health. vol. 2011. Maryland, USA: <http://rsb.info.nih.gov/ij/>.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Barat, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1196-1206.
- Silveira, A. C., Conesa, A., Aguayo, E., & Artes, F. (2008). Alternative Sanitizers to Chlorine for Use on Fresh-Cut “Galia” (Cucumis melo var. catalupensis) Melon. *Journal of Food Science*, 73(9), M405-M411.
- Tietel, Z., Bar, E., Lewinsohn, E., Feldmesser, E., Fallik, E., & Porat, R. (2010). Effects of wax coatings and postharvest storage on sensory quality and aroma volatile composition of ‘Mor’ mandarins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(6), 995-1007.
- Welti-Chanes, J., Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2009). High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectinmethylesterase. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 457-462.
- Zheng, C., Sun, D.-W., & Zheng, L. (2006). Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection - a review. *Trends in Food Science & Technology*, 17(12), 642-655.

6. CAPITULO 3 - ARTICULO No 1

CAMBIOS MORFOMETRICOS Y DE CALIDAD POR APLICACIÓN DE TRES FUENTES DE CALCIO BAJO TRATAMIENTO TÉRMICO SUAVE EN MELÓN (*Cucumis melo* L.) FRESCO PRECORTADO¹

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la aplicación de baños cálcicos sobre los parámetros morfométricos del tejido celular y los atributos de calidad de melón (*Cucumis melo* L) fresco precortado. Las muestras fueron tratadas con tres fuentes de calcio: cloruro, lactato y propionato a dos concentraciones: 0.5 y 1% a 60°C por tres tiempos de aplicación frente a un blanco. La activación de la pectin metil esterasa en presencia de calcio permitió la estabilización de la firmeza del tejido. Los parámetros morfométricos, indican un efecto positivo para lactato y cloruro de calcio al mantener la integridad de la pared celular, mientras el propionato y el tratamiento sin calcio incrementan el área celular en un 38% y 51% respectivamente, lo cual se refleja en una pérdida de firmeza del tejido. El propionato mantiene los atributos sensoriales propios del melón, pero son intensificados por el tratamiento con lactato. La aplicación de baños cálcicos empleando sales como el cloruro y el lactato dentro de un esquema de mínimo procesamiento, permite conservar las características del tejido del melón fresco precortado, sugiriendo que este tratamiento contribuiría a mantener su estabilidad durante el almacenamiento.

Palabras Clave— Melón, cloruro de calcio, lactato, propionato, textura, pectin metil esterasa, parámetros morfométricos.

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos de calcio han sido ampliamente utilizados para la extensión de la vida útil de frutas frescas precortadas (Lamikanra et al., 2004; Manganaris et al., 2007; Rico et al., 2007). El calcio ayuda a mantener la estructura de la pared celular, debido a su capacidad para servir como puente entre las sustancias pécticas tanto de la pared celular como de la lámina media, formándose pectato cálcico que aporta estructura al tejido previendo el ablandamiento (Alandes, Pérez-Munuera, Llorca, Quiles & Hernando, 2009a).

¹ Artículo sometido a la Revista Mexicana de Ingeniería Química

La incorporación de calcio también aumenta la presión de turgencia celular y la estabilización de la membrana celular (Hernández-Muñoz, Almenar, Ocio & Gavara, 2006), retrasa la senescencia, controla el desarrollo de alteraciones fisiológicas y hace que la textura del producto sea más firme (Alandes et al., 2006; Sila et al., 2009). Diferentes tipos de sales de calcio se utilizan para este propósito, como el cloruro de calcio que a pesar de sus beneficios en la textura puede impartir sabores amargos (Hernández-Muñoz et al., 2006; Luna-Guzmán et al., 2000; Varela, Salvador & Fiszman, 2007). Otras sales empleadas son el lactato y propionato de calcio, en las cuales se reportan efectos positivos en la textura de frutas precortadas (Alandes et al., 2006; Alandes et al., 2009b; Luna-Guzmán et al., 2000; Martín-Diana et al., 2007) y pueden ayudar a reducir el crecimiento microbiano (Alandes et al., 2006). Se ha reportado que la aplicación de baños cálcicos a temperaturas entre 40 y 60°C puede favorecer la activación de la enzima pectin metil esterasa, demetilando las pectinas de la pared celular, lo que permite la unión del Ca^{2+} endógeno o exógeno con los grupos carboxílicos libres de los polímeros de pectinas existentes, estabilizando la pared celular (Beirão-da-Costa et al., 2008; Luna-Guzman et al., 1999; Sila, Smout, Vu & Hendrickx, 2004).

La morfología celular cambia durante la aplicación de procesos como la deshidratación osmótica y tratamientos térmicos, constituyéndose en un importante atributo que cuantificado permitiría entender y predecir los cambios que ocurren en las propiedades físicas y bioquímicas relacionadas con los cambios estructurales (Mayor et al., 2008). Varios autores han investigado la influencia de las características microestructurales sobre las propiedades mecánicas del material (Zdunek et al., 2005), así como los efectos de la microestructura sobre las propiedades del producto final (Seguí, Fito & Fito, 2010). El cambio en los atributos descriptores de forma y tamaño celular han mostrado correlación con cambios estructurales en productos como manzana (Lewicki & Porzecka-Pawlak, 2005), uvas (Ramos, Silva, Sereno & Aguilera, 2004) y calabaza (Mayor et al., 2008). Para la determinación de estos cambios se pueden emplear descriptores morfométricos (Mayor et al., 2008), en relación a las características de tamaño: área, perímetro y diámetro de Feret, además los atributos de forma: redondez, elongación, compactación y factor de forma, los cuales se obtienen a través del procesamiento de imágenes digitales del corte del tejido vegetal.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de tres fuentes de calcio sobre los cambios morfométricos de tamaño y forma celular, y los cambios en calidad asociados a variación en atributos de firmeza, sensoriales y enzimáticos de melón fresco precortado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Melón cantaloupe (*Cucumis melo* L var. *Reticulatus* Naud) grado de maduración 3 (NTC5207, 2004b) obtenido del mercado local procedente de la región del Valle del Cauca colombiano, se almacenó a 4°C hasta su uso por máximo 48 horas. Los melones enteros fueron lavados y desinfectados en una solución con 150mg/L de hipoclorito de sodio (Silveira et al., 2008). La fruta se cortó en sentido longitudinal en dos mitades, siendo removidas manualmente la cascara y las semillas. De los trozos se obtuvieron cilindros de radio 12 ± 2 mm por 5 mm de altura con un peso aproximado de $5 \pm 0,5$ g, empleando para ello un sacabocados metálico.

Tratamiento con baños cálcicos

Las muestras de melón se sometieron a inmersión a 60°C en soluciones de tres sales: lactato, cloruro y propionato de calcio, cada una a dos concentraciones: 0,5 y 1% durante 1, 2 y 3 min, en una relación fruta – solución 1:4(w/v). Como muestras control se emplearon cilindros de melón sumergidos en agua destilada durante 1, 2 y 3 min a 60°C y melón sin tratamiento como muestra patrón. Una vez terminado el tratamiento se enfriaron las muestras por inmersión en agua a 5°C por 3 min y luego se retiró el exceso de solución.

Métodos.

Caracterización fisicoquímica.

A partir del jugo obtenido de las muestras de melón, se determinaron los sólidos solubles totales (SST) como porcentaje de °Brix mediante el método refractométrico según AOAC 932.13 de 1990 con corrección por temperatura. Con un autotitulado Titrimo 702SM marca Metrohm®, se determinó el valor de pH y el porcentaje de acidez por titulación con NaOH 0,1N y se expresó como porcentaje de ácido cítrico (AOAC 942.15 de 2005).

Análisis de Textura

La firmeza fue evaluada como la fuerza máxima de penetración empleando un texturometro TATX2® (Stable Micro Systems LTD. Surrey, Inglaterra) con una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro y base plana (P5). Los parámetros de operación fueron: velocidad pre-ensayo de: 2mm/s, velocidad de ensayo de: 1mm/s, velocidad post-ensayo de: 10mm/s, fuerza de: 90g y distancia de penetración de: 3,5 mm. Se realizó la medición a cinco muestras de melón por réplica de tratamiento y los valores fueron reportados como media \pm desviación.

Extracción de pectinmetilestereasa (PME)

Para la extracción de PME se empleó el método de (Beirão-da-Costa et al., 2008) con modificaciones. 12 gramos de tejido de melón fueron homogeneizados con 40 ml de NaCl 1.5M a 5°C con un T25 Ultraturax® a una velocidad de 24000 rpm durante 2 minutos. La mezcla homogenizada se mantuvo a 4°C durante 30min y posteriormente centrifugada a 9000g por 30 minutos a 4°C. El sobrenadante resultante fue utilizado como extracto para la medición de la actividad enzimática.

Medición Actividad enzimática de pectinmetilestereasa (PME)

La actividad enzimática de la PME se determinó volumétricamente al evaluar los grupos carboxilo libres formados como resultado de la acción de la enzima sobre la pectina, empleando el método de (Welti-Chanes et al., 2009) con modificaciones. A diez mililitros de una solución de pectina cítrica al 1% previamente llevada a 30°C se adicionaron 10 ml de extracto enzimático y 0,1755 g de cloruro de sodio. Manteniendo una temperatura constante de 30°C de la mezcla pectina – extracto se adicionó una solución de NaOH 0,5N hasta alcanzar un pH de 7,5. Empleando un autotitulado Titrino 702SM marca Metrohm®, la mezcla pectina – extracto fue valorada cada 2 minutos con NaOH 0,02N hasta mantener el pH en 7,5 durante 10 minutos. Al extracto enzimático se determinó el contenido de proteína por el método de Biuret usando albumina de suero bovino (BSA) como estándar (Gornall et al., 1949). La actividad de la PME fue expresada como nkat, indicando la cantidad de enzima que cataliza la reacción de 1 μmol de sustrato por un minuto por gr de proteína y fue calculada usando la siguiente formula.

$$PME (nkat) = \frac{Volumen NaOH (ml) * [] NaOH (N) * 1000}{Tiempo (min) * Volumen extracto (ml) * proteína \left(\frac{mg}{ml} \right)} * 0,060$$

Análisis morfométrico.

Los cortes del tejido vegetal se obtuvieron haciendo cortes transversales a las muestras cilíndricas de melón, sin acondicionamiento previo. Se realizó la tinción del tejido con una solución de azul de metileno 0,1% durante 15 seg, y se removió el exceso de colorante con agua destilada. Las imágenes de las muestras fueron adquiridas en campo claro utilizando un microscopio triocular de contraste de fases con objetivo 10X (Zeiss®). Una vez seleccionado el campo de interés, se realizó la captura de la imagen utilizando una cámara digital Nikon® DSFi1 adaptada al microscopio y conectada mediante interfaz al computador empleando el software NIS-Elements F V2.30 (Melville, NY, USA). Las imágenes capturadas tuvieron una resolución de 1024 X 960 píxeles (200ppp) y se almacenaron en *.jpg en formato color (32bit).

Las imágenes se procesaron empleando el software ImageJ®. Para ello se transformaron a escala de grises (8 bits), y se aplicó el filtro “*Smooth*” para suavizar los límites del objeto. Posteriormente se ajustó manualmente el umbral “*Threshold*” (brillo-contraste-intensidad) en un rango entre 150-170 para destacar, célula a célula, el contorno celular (Camacho et al., 2010). Para garantizar la correcta selección de los contornos celulares se realizó la sobreposición del objeto segmentado sobre la imagen original. Posteriormente, se determinaron las características morfométricas de tamaño: área proyectada, perímetro y diámetro de Feret; y características morfométricas de forma: elongación, compacidad y factor de forma. Se realizó la medición a 60 células por replica de tratamiento y los valores fueron reportados como media \pm desviación estándar.

Análisis sensorial.

Un panel de cinco jueces pre-entrenados llevo a cabo la evaluación sensorial de los atributos de calidad de melón fresco precortado y de las muestras de los respectivos tratamientos. Se efectuaron dos ensayos: hedónico y de calidad. El ensayo hedónico determinó la aceptación general del producto, empleando una escala de 1 a 9, siendo 9: me gusta mucho, 7: me gusta moderadamente, 5: No me gusta ni me disgusta, 3: me disgusta moderadamente y 1: me disgusta mucho. En el ensayo de calidad se evaluaron los parámetros de color, olor, sabor y textura de acuerdo con los descriptores de calidad de melón que se presentan en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Descriptores de calidad de melón fresco precortado.

Atributo de Calidad	Puntaje subjetivo*				
	9	7	5	3	1
Color	Color naranja	Pérdida ligera del color naranja	Presencia de partes pálidas	Coloración palida	Color translucido
Olor	Aromatico - dulce	Pérdida ligera aroma dulce	Aroma dulce poco perceptible	No se detecta aroma	Olor no característico
Sabor	Característico - dulce	Pérdida ligera sabor dulce	Sabor dulce poco perceptible	Insipido	Sabor no característico
Textura	Fresco y crujiente	Pérdida ligera de frescura	Textura normal	Textura blanda	Textura muy blanda

A partir de los datos obtenidos, se determinaron el índice de apreciación y el índice de calidad de los productos para relacionarlos a través de mapa de aceptación – calidad. Para su determinación se evaluó el promedio ponderado de todas calificaciones asignadas a los atributos evaluados mediante la siguiente ecuación

$$\bar{X} = \sum \frac{a_i v_i}{n} \quad (1)$$

En donde a_i es el número de panelistas que calificaron una de las características del producto, y v_i es el valor numérico que se le asignó a cada uno de esas calificaciones.

Posteriormente, con los promedios de cada característica se procede a agruparlos en cada una de los índices a evaluar, a partir de la siguiente ecuación:

$$\bar{X}_p = \sum \frac{\bar{X}}{na} \quad (2)$$

En este caso \bar{X} es el promedio calculado anteriormente para cada atributo, y na es el número de atributos que se evalúan. Cada índice debió ser ajustado a un valor porcentual considerando como máximo de calidad el 100%, el mismo que debe ser equivalente al máximo para cada índice, empleando una regla de proporcionalidad simple (Nestrud et al., 2008; Tietel et al., 2010).

Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron por triplicado y los datos obtenidos se expresaron en términos de media \pm desviación estándar. Los valores promedios fueron comparados con una prueba de significancia ANOVA (análisis de la varianza) con un $P < 0,05$ y una prueba de diferencia de medias Tukey's empleando el software de Minitab® version 16.

RESULTADOS

Caracterización de la materia prima.

En la tabla 6.2, se muestra los resultados de la caracterización del melón cantaloupe empleado en los ensayos. El material trabajado corresponde al grado de maduración No 3 de acuerdo con la NTC 5207.

Tabla 6.2. Caracterización de melón fresco precortado

Característica	Valor
Sólidos Solubles Totales (°Brix)	8,030 \pm 0,058
pH	7,030 \pm 0,006
Acidez total (g ácido cítrico / 100g)	0,060 \pm 0,001
Pectilmetilestereasa (nkat)	0,391 \pm 0,009
Textura (N)	36,009 \pm 0,495

Textura

La aceptación de los productos mínimamente procesados está relacionada con la percepción de calidad principalmente asociada a la firmeza como atributo mecánico, debido a que su variación concierne a la respuesta de procesos de degradación, cambios bioquímicos o enzimáticos del producto (Oms-Oliu et al., 2010). En la tabla 6.3 se observa que las

muestras tratadas a 60°C sin calcio, presentan una disminución en la firmeza del tejido en un 20%. Este ablandamiento puede deberse a la degradación de los polisacáridos pécticos involucrados en la adhesión celular (Alandes et al., 2009a).

Tabla 6.3. Valores de Firmeza (N) de muestras de melón tratadas con y sin calcio.

Tratamiento	Tiempo de aplicación		
	1	2	3
Sin calcio	28,686±0,721 ^{ab}	29,900±0,909 ^a	27,768±0,541 ^b
Lactato de calcio 0,5%	32,759±0,159 ^a	33,386±0,203 ^a	34,241±1,159 ^a
Lactato de calcio 1%	34,416±1,161 ^a	35,300±1,200 ^a	36,132±0,501 ^a
Cloruro de calcio 0,5%	31,509±1,743 ^a	29,347±0,876 ^a	31,113±1,074 ^a
Cloruro de calcio 1%	30,871±0,572 ^a	31,689±0,195 ^a	32,716±1,235 ^a
Propionato de calcio 0,5%	29,102±1,963 ^a	31,716±1,921 ^a	31,259±1,977 ^a
Propionato de calcio 1%	30,416±0,371 ^a	29,262±0,394 ^{ab}	28,009±0,966 ^b

Los resultados se presentan como media ± desviación de tres mediciones.

^{a, b, c}: Los valores con la misma letra en cada fila indican que no existe diferencia significativa entre las muestras (Tukey's P <0,05).

En relación a la adición de sales cálcicas, el cloruro y propionato de calcio reduce la firmeza en 13 y 16% respectivamente, mientras el lactato cálcico al 1% permite mantener la firmeza del tejido respecto de muestra de melón fresco pre-cortado sin tratamiento. Resultados similares en melón, indican que la presencia de lactato de calcio en el tratamiento térmico no altera significativamente la textura en comparación con muestras tratadas a 60°C sin calcio (Lamikanra et al., 2007). Asimismo, se ha observado que los baños empleando lactato cálcico retienen mejor la firmeza de melón en comparación con el cloruro de calcio (Luna-Guzmán et al., 2000).

Respecto a la concentración de calcio, se observa una tendencia a aumentar los valores de la firmeza con el incremento en la concentración, sin embargo al evaluar el efecto del tiempo de aplicación del tratamiento no se encontró diferencia significativa para las tres fuentes de calcio, similar a lo reportado al evaluar el efecto del cloruro de calcio a tres concentraciones y tres tiempos en melón fresco precortado (Luna-Guzman et al., 1999).

Actividad enzimática de la pectilmetilesterasa - PME.

La actividad enzimática de la PME de las muestras de melón tratadas con las tres sales de calcio fue mayor en comparación con las muestras sin incorporación de calcio (Tabla 6.4). Varios autores señalan que la temperatura es el factor determinante en el aumento de la actividad de la PME, sin mostrar efecto significativo para el calcio (Beirão-da-Costa et al., 2008; Martín-Diana et al., 2007). Sin embargo, otras investigaciones reportan una mayor actividad de la PME al sumergir muestras de tomate, zanahoria y durazno en soluciones de

calcio, en comparación con muestras tratadas sin calcio (Anthon, Blot & Barret, 2005; Manganaris et al., 2007; Rico et al., 2007). El lactato cálcico presenta los mayores valores seguidos por el cloruro y luego por el propionato, similar a los resultados logrados en manzana (Manganaris et al., 2007).

Tabla 6.4. Actividad enzimática de PME (nkat)

Tratamiento	Tiempo de aplicación		
	1	2	3
Sin calcio	0,386±0,014 ^a	0,393±0,005 ^a	0,397±0,017 ^a
Lactato de calcio 0,5%	0,471±0,010 ^a	0,466±0,015 ^a	0,463±0,009 ^a
Lactato de calcio 1%	0,475±0,014 ^a	0,481±0,007 ^a	0,486±0,030 ^a
Cloruro de calcio 0,5%	0,458±0,011 ^a	0,452±0,017 ^a	0,461±0,006 ^a
Cloruro de calcio 1%	0,446±0,009 ^a	0,461±0,004 ^a	0,459±0,027 ^a
Propionato de calcio 0,5%	0,411±0,015 ^a	0,411±0,011 ^a	0,431±0,002 ^b
Propionato de calcio 1%	0,424±0,005 ^a	0,423±0,005 ^a	0,437±0,014 ^a

Los resultados se presentan como media ± desviación de tres mediciones.

^{a, b, c}: Los valores con la misma letra en cada fila indican que no existe diferencia significativa entre las muestras (Tukey's $P < 0,05$).

Relación entre la textura y la actividad enzimática.

La correlación entre la firmeza y la actividad enzimática de la PME, muestra efecto significativo respecto a la fuente de calcio ($p < 0,05$). Sin embargo, indica que para una misma fuente de calcio, los valores de firmeza y de actividad enzimática presentan similitudes entre sí, señalando que no existe efecto significativo ($P < 0,05$) tanto para la concentración de calcio en la solución, como para el tiempo de aplicación. Lo anterior permite diferenciar los cuatro tipos de tratamientos, los cuales están clasificado con grupo A: lactato, B: cloruro, C: propionato y D: sin calcio, como se observa en la Fig. 6.1.

Una mayor concentración de calcio en el tejido está relacionado con un incremento de la activación de la PME (Beirão-da-Costa et al., 2008; Manganaris et al., 2007), de lo cual se podría inferir que para las muestras de melón evaluadas en este estudio, el tratamiento con lactato podría permitir ligar más calcio que las otras dos fuentes. Adicionalmente, se evidencia que el lactato de calcio presenta un incremento del 20% en los valores de actividad enzimática respecto de la muestra sin tratamiento manteniendo la firmeza del tejido, lo cual coincide con lo reportado en manzanas y fresas (Degraeve, Saurel & Coutel, 2003), en peras (Alandes et al., 2009a) y en manzana (Alandes et al., 2006).

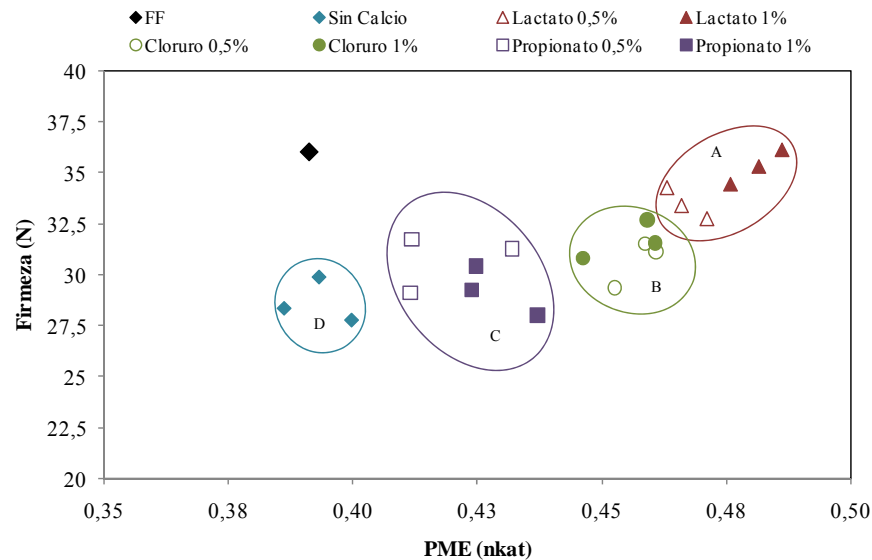


Figura 6.1. Relación entre la firmeza de las muestras de melón tratadas frente a la actividad enzimática de la PME

La activación de la PME hace que la cantidad de ácido carboxílico liberado por el incremento de la PME, aumente el número de sitios de enlace en las pectinas permitiendo un mayor nivel de entrecruzamiento del calcio formando pectato de calcio, el cual contribuye en la firmeza del tejido mediante un incremento en la integridad de la membrana y de la estructura de la pared celular (Alandes et al., 2006; Alandes et al., 2009a) para dar lugar a tejidos más firmes y resistentes (Aguayo et al., 2008) y por consiguiente este permite mantener más estable el tejido celular.

Parámetros morfométricos

El análisis de imágenes permite la cuantificación de los cambios de tamaño y forma de las células, para lo cual las muestras fueron teñidas con azul de metileno, el cual posee una alta concentración de grupos hidroxilo y una carga positiva, reaccionando con las moléculas de carga negativa de los componentes de la pared celular (Montuenga, Esteban & Calvo, 2009).

Las células del tejido de melón fresco presentan en promedio tres diferentes formas: redondas, elongadas y poligonales. Las células de Calabaza muestran un comportamiento similar (Mayor et al., 2008), fruta que pertenece a la familia de las Cucurbitaceae, de la cual también el melón hace parte. El factor de forma determinado para las muestras de melón fresco fue de 0.87, el cual es similar a los valores reportados para calabaza – 0.83 (Mayor et al., 2008) y manzana – 0.83 (Lewicki et al., 2005). Las imágenes de los cortes transversales de las muestras melón fresco y tratado, se observan en la Fig.6.2.

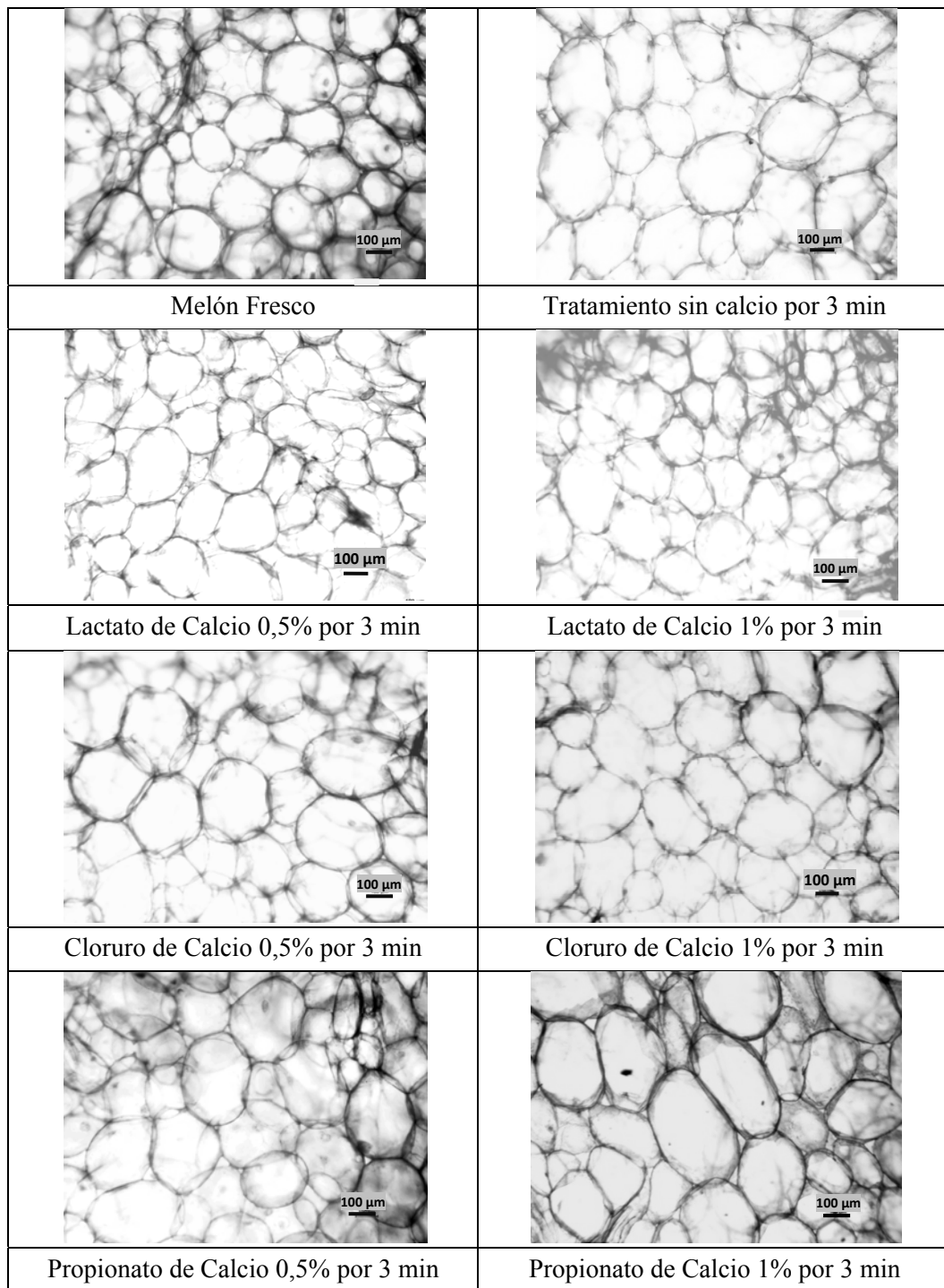


Fig. 6.2. Imágenes de los cambios microestructurales del tejido de melón después de la aplicación de los tratamientos (imagen binarizada a 8bits).

Las células del melón fresco presentan una forma redondeada y son similares a las obtenidas por otros estudios donde indican que las células de melón presentan un morfología redondeada con paredes delgadas (Fernandes, Gallão & Rodrigues, 2008). Comparando las imágenes de las muestras tratadas con lactato de calcio al 0.5 y al 1%, se puede observar que las células presentan formas muy similares al producto fresco, lo cual indica que el tratamiento con lactato permite conservar la estructura celular. La aplicación de lactato de calcio con un calentamiento suave a 60°C, muestra una mayor efectividad en el mantenimiento de la turgencia celular (Martín-Diana et al., 2007).

Las muestras tratadas a 60°C sin calcio evidencian un incremento en el tamaño celular perdiendo su forma redondeada, lo cual podría ser resultado de un cambio en la turgencia debido al estrés celular producido por el tratamiento térmico (Rico et al., 2007). Las muestras tratadas con cloruro de calcio también presentan un incremento en el área celular manteniendo la forma celular del tejido fresco. Los mayores cambios celulares se presentan en las muestras tratadas con propionato donde se evidencia un cambio celular tanto en tamaño como en forma, presentando un incremento del 13 y 27% en la elongación y tamaño celular, respectivamente.

La correlación de los datos obtenidos de los parámetros morfométricos de factor de forma y área (Fig. 6.3), muestra una disminución significativa el factor de forma respecto de las muestras de melón fresco en un 10% para el tratamiento sin calcio y 25% para el tratamiento con propionato. Este cambio está relacionado con un incremento en el área celular del 38% para el tratamiento con propionato y del 51% para el tratamiento sin calcio.

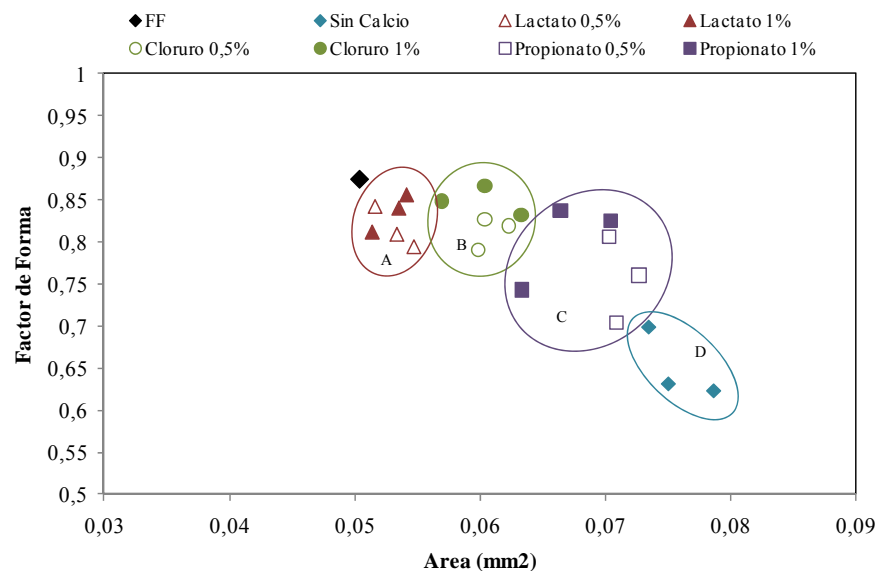


Figura 6.3. Relación entre los parámetros factor de forma y el área celular.

En relación a las muestras tratadas con lactato y cloruro de calcio, se presenta un incremento en el área celular, manteniendo los valores de factor de forma similares a la fruta fresca. La pérdida de redondez está relacionada con cambios en la turgencia celular y a la pérdida del empaquetamiento fibrilar (Rico et al., 2007). El lactato y el cloruro de calcio parecen reforzar la pared celular por su interacción con las pectinas de la lámina media de manera que preserva el contacto célula – célula a nivel microestructural.

La correlación entre los parámetros factor de forma y elongación se muestran en la Fig.6.4, donde se observa que la reducción en el factor de forma correspondiente a la pérdida de redondez, está relacionada con la elongación de las células del tejido, y no la pérdida de circularidad de la célula definida como la relación entre perímetro/área, ya que no hay efecto significativo en este parámetro por la aplicación de los tratamientos, indicando que los tratamientos no generan un cambio en la rugosidad de la pared celular (Jiménez et al., 2005). En las imágenes de los cortes se evidencia que las células presentan cambios en la relación entre la longitud máxima y mínima, sin presentar cambios significativos en la rugosidad de la pared celular.

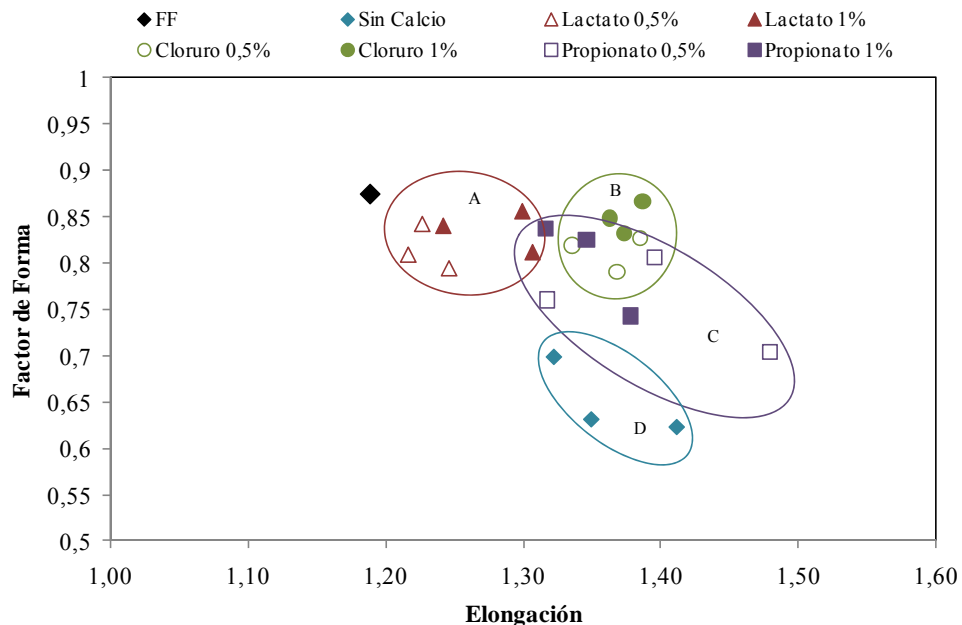


Figura 6.4. Relación entre los parámetros factor de forma y elongación celular.

Correlación textura con los parámetros morfométricos.

En la Fig.6.5 se presenta la correlación entre firmeza y el parámetro morfométrico de área, observándose que el tratamiento sin calcio y con propionato presentan los mayores cambios características mecánicas y morfométricas del tejido, mientras el lactato al 1% mantiene

las características muy similares al producto fresco, es decir que el tratamiento permite reforzar la pared celular preservando el contacto célula – células a nivel microestructural, manteniendo la integridad de la pared celular (Rojas, Castro, Alzamora & Gerschenson, 2001). Varios estudios indican que los cambios morfométricos son el principal factor relacionado con los atributos de firmeza como la turgencia celular e integridad de la pared celular (Trejo Araya et al., 2007), siendo el encogimiento celular uno de los fenómenos que ha mostrado correlación con cambios estructurales en productos como manzana (Lewicki et al., 2005), uvas (Ramos et al., 2004) y calabaza (Mayor et al., 2008).

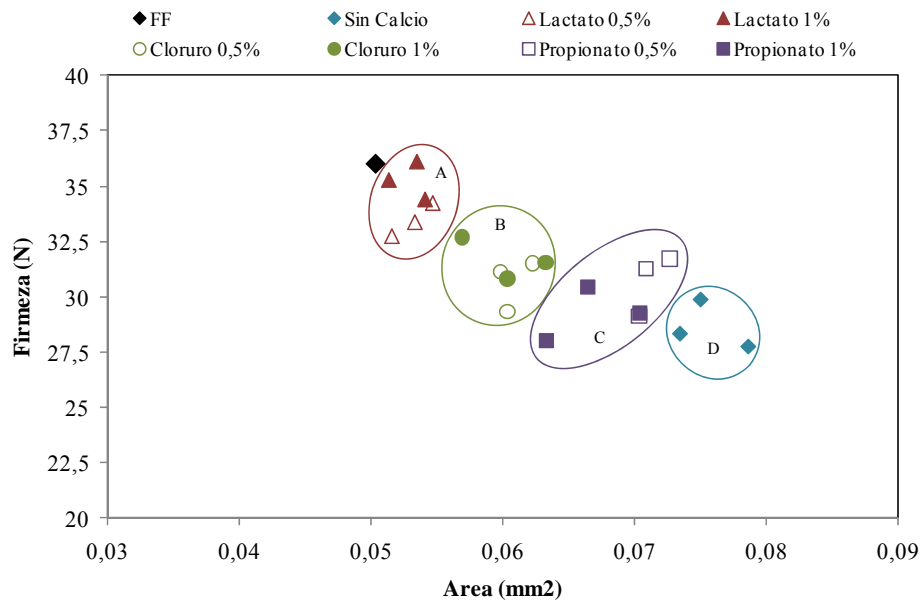


Figura 6.5. Relación entre la firmeza y el área celular.

Igualmente se observa que con el aumento del área celular hay una disminución de la firmeza, aspecto que coincide con reportes en papa, indicando que tejidos compuestos por células más pequeñas tienen una mayor resistencia a la fuerza de compresión y mayor módulo de elasticidad frente a los tejidos con células grandes (Konstankiewicz, Pawlak & Zdune, 2001). Teniendo en cuenta que las características de la estructura celular en conjunto con la presión de turgencia están relacionadas con las características de crujencia de los tejidos de los vegetales y frutas (Waldron, 2004), se puede inferir que los tratamientos con lactato permiten mantener el producto más parecido al fresco, con un posible efecto positivo durante el almacenamiento.

Análisis Sensorial

Los resultados respecto de las variables de calidad indican que el empleo de baños cálcicos influye en la retención de la textura sensorial aspecto que coincide con otros estudios para

lactato y propionato de calcio (Aguayo et al., 2008; Pereira, Carmello-Guerreiro, Junqueira, Ferrari & Hubinger, 2010). Sin embargo, los jueces percibieron un ablandamiento en el tejido en las muestras tratadas sin calcio.

Adicionalmente, se detectó un sabor ligero a salado únicamente en el melón tratado con cloruro de calcio al 0.5%, similar a lo reportado por otros estudios que indicaron aroma y sabores amargos (Luna-Guzmán et al., 2000; Martín-Diana et al., 2007). El aroma característico del melón se intensificó con la aplicación de todos los tratamientos. Otros estudios evidencian que la aplicación de tratamientos térmicos suaves permite la intensificación los atributos sensoriales deseables como el sabor y aroma dulce característico en frutos como el melón (Aguayo et al., 2008; Bett-Garber et al., 2010; Lamikanra et al., 2004; Luna-Guzmán et al., 2000; Martín-Diana et al., 2007).

La Fig. 6.6 muestra la relación de la aceptación en la prueba hedónica frente a la calidad en el ensayo efectuado por jueces pre entrenados. Las muestras que se encuentra por encima del valor 70, corresponden a productos con una alta calidad y aceptación, lo cual indica que el tratamiento con lactato, propionato y cloruro de calcio al 1%, presentan un nivel aceptable de calidad, contrario a las muestras tratadas sin calcio que presentan un nivel bajo de aceptación y calidad, frente a la muestra fresca.

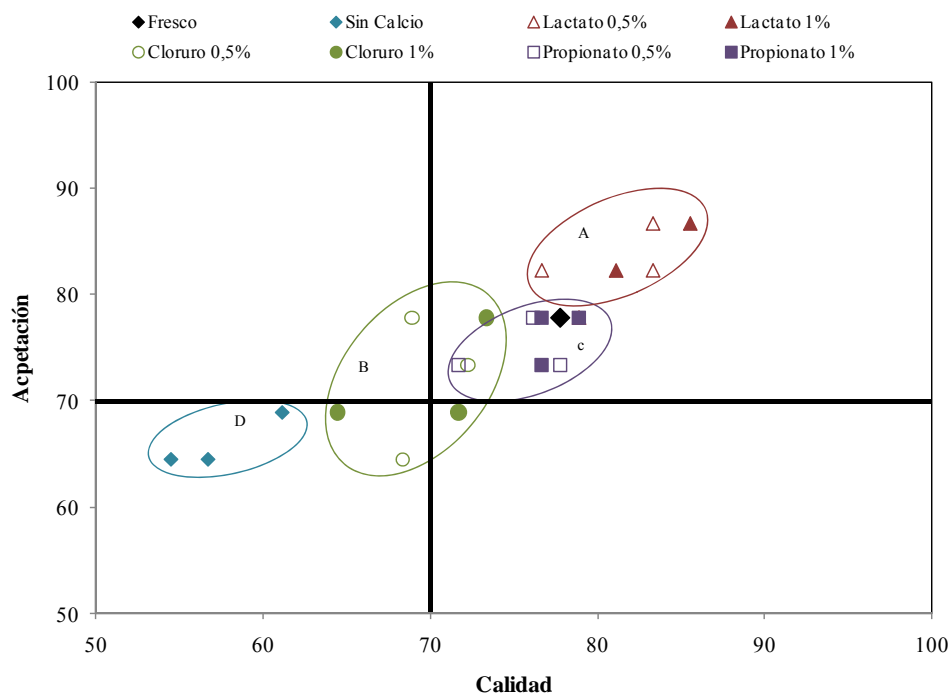


Figura 6.6. Relación aceptación vs calidad sensorial en muestras de melón fresco y tratado

Varios autores reportan que el lactato de calcio es una buena fuente de calcio que permite mantener la calidad del producto frente a otras fuentes de calcio, constituyéndose en una buena opción para aplicar en los procesos de extensión de vida útil de frutas pre-cortadas (Aguayo et al., 2008; Alandes et al., 2006; Alandes et al., 2009a; Beirão-da-Costa et al., 2008; Lamikanra et al., 2007; Manganaris et al., 2007; Rico et al., 2007). Teniendo en cuenta los resultados se puede inferir que el tratamiento con lactato intensifica las características del melón ya que los niveles de aceptación y calidad se incrementan.

Conclusiones.

Los resultados obtenidos de la aplicación de baños cálcicos a 60°C con tres fuentes de calcio: lactato, cloruro y propionato de calcio, a dos concentraciones: 0,5 y 1% durante 1, 2 y 3 minutos, indican que la incorporación de calcio incrementa la actividad enzimática de la PME contribuyendo en la reducción de la pérdida de la firmeza del tejido mediante formación de pectato cálcico, asociado a un incremento en la integridad de la membrana y de la estructura de la pared celular dando lugar a tejidos más firmes y resistentes. El efecto de las diferentes fuentes de calcio influyó en las propiedades morfométricas, mecánicas, enzimáticas y sensoriales de melón precortado de manera diferente, presentándose la mayor retención de calidad en los atributos evaluados con el lactato y el cloruro de calcio. Los efectos a nivel macroscópico se evidenciaron en el comportamiento celular. Según todo lo expuesto el lactato de calcio como primera opción, seguido por el cloruro de calcio, ambos al 1% durante 3 minutos a una temperatura de 60°C podrían ser una alternativa de tratamiento para extender la vida útil de melón fresco precortado.

Referencias.

- Aguayo, E., Escalona, V. H., & Artés, F. (2008). Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 397-406.
- Alandes, L., Hernando, I., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Lluch, M. A. (2006). Cell Wall Stability of Fresh-Cut Fuji Apples Treated with Calcium Lactate. *Journal of Food Science*, 71(9), S615-S620.
- Alandes, L., Pérez-Munuera, I., Llorca, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2009a). Use of calcium lactate to improve structure of "Flor de Invierno" fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 145-151.
- Alandes, L., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Hernando, I. (2009b). Improving the Quality of Fresh-Cut Apples, Pears, and Melons Using Natural Additives. *Journal of Food Science*, 74(2), S90-S96.
- Anthon, G., Blot, L., & Barret, D. (2005). Improved firmness in calcified diced tomatoes by temperature activation of pectin methylesterase. *Journal of Food Science*, 70(5), C342-C347.
- Beirão-da-Costa, S., Cardoso, A., Martins, L. L., Empis, J., & Moldão-Martins, M. (2008). The effect of calcium dips combined with mild heating of whole kiwifruit for fruit slices quality maintenance. *Food Chemistry*, 108(1), 191-197.
- Bett-Garber, K. L., Watson, M. A., Lea, J. M., Champagne, E. T., & Lamikanra, O. (2010). Effect of combined underwater processing and mild pre-cut heat treatment on the sensory quality and storage of fresh-cut canatoupe melón *Journal of Food Quality*, 33(4), 424-438.

- Camacho, B. H., Aparicio, A. J., Chanona-Pérez, J. J., Calderón-Domínguez, G., Alamilla-Beltrán, L., Hernández-Sánchez, H., & Gutiérrez-López, G. F. (2010). Morphological characterization of the growing front of *Rhizopus oligosporus* in solid media. *Journal of Food Engineering*, 101(3), 309-317.
- Degraeve, P., Saurel, R., & Coutel, Y. (2003). Vacuum impregnation pretreatment with pectinmethylesterase to improve firmness of pasteurized fruits. *Journal of Food Science*, 68(2), 716 - 721.
- Fernandes, F. A. N., Gallão, M. I., & Rodrigues, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT - Food Science and Technology*, 41(4), 604-610.
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of Serum Proteins by Means of the Biuret Reaction. *Journal Biology and Chemical*, 177, 751.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M. J., & Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), 247-253.
- Jiménez, J. C., Salcedo, M. G., Martínez, B. B., Chanona, P. J., Alamilla, B. L., Arenas, O. M., Gutiérrez, L. G., & Jiménez, A. R. (2005). Naturaleza fractal de células en suspensión de *Beta vulgaris* L., sometidas a un proceso de permeabilización. *Biótica*, 2, 39 - 53
- Konstankiewicz, K., Pawlak, K., & Zdune, A. (2001). Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *Int. Agrophysics*, 15, 243 - 246
- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2004). Effect of Calcium Treatment Temperature on Fresh-cut Cantaloupe Melon during Storage. *Journal of Food Science*, 69(6), C468-C472.
- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2007). Mild heat and calcium treatment effects on fresh-cut cantaloupe melon during storage. *Food Chemistry*, 102(4), 1383-1388.
- Lewicki, P. P., & Porzecka-Pawlak, R. (2005). Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 43-50.
- Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61-72.
- Luna-Guzman, I., Cantwell, M., & Barrett, D. M. (1999). Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology*, 17, 201-213.
- Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G., & Mignani, I. (2007). The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, 100(4), 1385-1392.
- Martín-Diana, A. B., Rico, D., Frías, J. M., Barat, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(4), 210-218.
- Mayor, L., Pissarra, J., & Sereno, A. M. (2008). Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 326-339.
- Montuenga, L., Esteban, F., & Calvo, A. (2009). *Histología y biología celular*. España: Elsevier p 391.
- Nestrud, M. A., & Lawless, H. T. (2008). Perceptual mapping of citrus juices using projective mapping and profiling data from culinary professionals and consumers. *Food Quality and Preference*, 19(4), 431-438.
- NTC5207 (2004). Frutas Frescas: Melon variedad Cantaloupe - Especificaciones. (pp. 1 - 19): Instituto Colombino de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M. A., González, L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I. H., Munuera, I. P., Fiszman, S., & Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139-148.

- Pereira, L. M., Carmello-Guerreiro, S. M., Junqueira, V. C. A., Ferrari, C. C., & Hubinger, M. D. (2010). Calcium Lactate Effect on the Shelf Life of Osmotically Dehydrated Guavas. *Journal of Food Science*, 75(9), E612-E619.
- Ramos, I. N., Silva, C. L. M., Sereno, A. M., & Aguilera, J. M. (2004). Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. *Journal of Food Engineering*, 62(2), 159-164.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Barat, J. M., Henahan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1196-1206.
- Rojas, A. M., Castro, M. A., Alzamora, S. M., & Gerschenson, L. N. (2001). Turgor Pressure Effects on Textural Behavior of Honeydew Melon. *Journal of Food Science*, 66(1), 111-117.
- Seguí, L., Fito, P. J., & Fito, P. (2010). Analysis of structure-property relationships in isolated cells during OD treatments. Effect of initial structure on the cell behaviour. *Journal of Food Engineering*, 99(4), 417-423.
- Sila, D. N., Smout, C., Vu, T. S., & Hendrickx, M. E. (2004). Effects of High-Pressure Pretreatment and Calcium Soaking on the Texture Degradation Kinetics of Carrots during Thermal Processing. *Journal of Food Science*, 69(5), E205-E211.
- Sila, D. N., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., De Roeck, A., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Pectins in Processed Fruits and Vegetables: Part II—Structure–Function Relationships. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 86-104.
- Silveira, A. C., Conesa, A., Aguayo, E., & Artes, F. (2008). Alternative Sanitizers to Chlorine for Use on Fresh-Cut “Galia” (*Cucumis melo* var. *catalupensis*) Melon. *Journal of Food Science*, 73(9), M405-M411.
- Tietel, Z., Bar, E., Lewinsohn, E., Feldmesser, E., Fallik, E., & Porat, R. (2010). Effects of wax coatings and postharvest storage on sensory quality and aroma volatile composition of ‘Mor’ mandarins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(6), 995-1007.
- Trejo Araya, X. I., Hendrickx, M., Verlinden, B. E., Van Buggenhout, S., Smale, N. J., Stewart, C., & John Mawson, A. (2007). Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: A microstructural and biochemical approach. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 873-884.
- Varela, P., Salvador, A., & Fiszman, S. (2007). Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 622-629.
- Waldron, K. (2004). Plant structure and fruit and vegetable texture In: D. Kilcast, *Texture in Food: Solid Foods* (pp. 242 - 258). England: CRC Press.
- Welti-Chanes, J., Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2009). High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectinmethylesterase. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 457-462.
- Zdunek, A., & Umeda, M. (2005). Influence of cell size and cell wall volume fraction on failure properties of potato and carrot tissue. *Journal of Texture Studies*, 36(1), 25-43.

7. CAPITULO 4 - ARTICULO No 2

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO SOBRE LOS CAMBIOS MORFOMETRICOS Y DE CALIDAD DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE MELÓN FRESCO PRE-CORTADO (*Cucumis Melo L.*)

RESUMEN

La calidad de frutas frescas precortadas depende de atributos sensoriales, mecánicos, enzimáticos y microestructurales. En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación por inmersión a 60°C de cloruro y lactato de calcio al 1% en la calidad y la estabilidad estructural de melón (*Cucumis melo L.*) fresco precortado almacenado a 5°C por 14 días. Los resultados muestran a nivel macroscópico indican que la aplicación tanto de cloruro como de lactato de calcio presentan un efecto reafirmante del tejido reduciendo el ablandamiento en un 38 y 58% y la pérdida de peso por la liberación de exudados de 39 y 45%, compensando la actividad de la pectin metil esterasa en un 18 y 25% respectivamente. A nivel microestructural se observó que la aplicación de lactato permite mantener la morfología celular en relación a los parámetros morfométricos de área y factor de elongación en un 66%. Las características de frescura de las muestras tratadas con calcio se mantienen durante el tiempo de evaluación, conservando la frescura sensorial en la muestra con lactato en un 72% hasta el día 14 de almacenamiento. La aplicación de baños cálcicos empleando lactato de calcio, el dentro de un esquema de mínimo procesamiento incrementa la estabilidad del producto hasta 14 días, resultando ser una buena alternativa frente al procesamiento convencional.

Palabras Clave— Melón, cloruro de calcio, lactato, propionato, textura, pectin metil esterasa, características morfométricas.

INTRODUCCIÓN

Los cambios en el estilo de vida de los consumidores, junto con el aumento en el consumo de productos frescos y de alta calidad, han llevado al desarrollo de los alimentos mínimamente procesados. La clave de estos productos está en la aplicación de tratamientos que permitan conservar todos los atributos de calidad manteniendo las características de frescura (Alandes et al., 2009a; Quiles, Hernando, Pérez-Munuera & Lluch, 2007), e incrementar su vida útil para mejorar las condiciones de comercialización de este tipo de productos (Rico et al., 2007). Dentro de estos tratamientos cabe destacar la aplicación de baños cálcicos, los cuáles reportan efectos positivos en la extensión de la vida útil de frutas

frescas precortadas (Alandes et al., 2009a; Lamikanra et al., 2004; Manganaris et al., 2007; Rico et al., 2007).

La aplicación de baños cálcicos ayudan a preservar el tejido durante el tiempo de almacenamiento, al retrasar la senescencia, reducir el ablandamiento, controlar el desarrollo de alteraciones fisiológicas, inhibir los cambios de color durante el almacenamiento, disminuir la pérdida de jugos celulares y la reducción del crecimiento microbiano por las propiedades antimicrobianas que tiene algunas sales como el propionato y el lactato de calcio (Saftner, Bai, Abbott & Lee, 2003; Sila et al., 2004; Varela, Aguilera & Fiszman, 2008). Se han demostrado estos efectos positivos en varios tipos de frutas, tales como: melón (Aguayo et al., 2008; Bett-Garber et al., 2010; Lamikanra et al., 2007; Luna-Guzmán et al., 2000), manzana (Alandes et al., 2006; Anino, Salvatori & Alzamora, 2006; Cybulska et al., 2011; Quiles et al., 2007), guayaba (Pereira et al., 2010), melocotón (Manganaris et al., 2007) y kiwi (Beirão-da-Costa et al., 2008).

Otro beneficio de la aplicación de tratamientos de calcio, es la incorporación del calcio en la matriz de frutas y hortalizas, obteniéndose productos funcionales o enriquecidos (Anino et al., 2006), de manera que se pueda dar un valor agregado a este tipo de productos (Martín-Diana et al., 2007).

La textura es uno de los factores claves en la determinación del deterioro de las frutas mínimamente procesadas durante su almacenamiento y que influye directamente en la aceptación del producto por parte del consumidor, pero la integridad de la firmeza del tejido puede ser dependiente de cambios a nivel fisicoquímico y microestructural. Por tanto, muchos de los cambios que se observan a nivel macroscópico, se deben a cambios que ocurren a nivel celular como: variación en las propiedades mecánicas de la pared celular y lámina media, la presión de turgencia (Oey et al., 2007; Oey et al., 2006), y en los parámetros morfométricos de las células, como tamaño y forma, constituyéndose en un importante atributo que cuantificado permitiría entender y predecir los cambios que ocurren en las propiedades físicas y bioquímicas relacionadas con los cambios estructurales (Mayor et al., 2008; Zdunek et al., 2005).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de cloruro y lactato de calcio sobre los parámetros morfométricos celulares, la textura, la actividad enzimática de la PME y las características sensoriales de melón fresco precortado durante 14 días de almacenamiento a 5°C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales:

Melón cantaloupe (*Cucumis melo* L var. *Reticulatus* Naud) grado de maduración 3 (NTC5207, 2004b) obtenido del mercado local procedente de la región del Valle del Cauca colombiano, se almacenó a 4°C hasta su uso por máximo 48 horas. Los melones enteros se lavaron y desinfectaron en una solución con 150 mg/L de hipoclorito de sodio (Silveira et al., 2008). La fruta se cortó en sentido longitudinal en dos mitades, siendo removidas manualmente la cascara y las semillas. De los trozos se obtuvieron cilindros de radio 12 ± 2 mm por 5 mm de altura con un peso aproximado de 5 ± 0.5 g, empleando para ello un sacabocados metálico.

Tratamiento

Las muestras de melón se sometieron a inmersión en soluciones de lactato y cloruro de calcio al 1% durante 3 min a 60°C, en una relación fruta – solución 1:4(w/v). Una vez terminado el tratamiento se enfriaron las muestras por inmersión en agua a 5°C por 3 min y se retiró el exceso de solución. Se empleo como muestra control muestras de melón sin tratamiento.

Las muestras fueron empacadas en películas BOPP flexible de 140 micras a 150 mbar utilizando una empacadora a vacío Multivac® y almacenadas a 4°C durante 14 días en una incubadora Friocell Marca MMM MEDCENTER®. Como muestra patrón se emplearon cilindros de melón sin tratamiento.

Métodos.

Características fisicoquímicas.

A partir del jugo obtenido de las muestras de melón, se determinó los sólidos solubles totales (SST) como porcentaje de °Brix mediante el método refractométrico según AOAC 932.13 de 1990 con corrección por temperatura. El valor de pH y el porcentaje de acidez se determinaron con un autotitulado Titrino 702SM marca Metrohm® (Herisau, Switzerland). La acidez evaluada con NaOH 0.1 N, se expresó como porcentaje de ácido cítrico (AOAC 942.15, 2005). El porcentaje de pérdida de peso se determino como la relación entre el peso final y el peso inicial, empleando una balanza analítica marca Mettler Toledo® de precisión 0,0001g. El contenido de calcio se determinó por espectrofotometría de absorción atómica con llama (AOAC 985.35 de 2005).

Análisis de Textura

La firmeza fue evaluada como la fuerza máxima de penetración empleando un texturometro TATX2® (Stable Micro Systems LTD. Surrey, Inglaterra) con una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro y base plana (P5). Los parámetros de operación fueron: velocidad pre-ensayo de: 2mm/s, velocidad de ensayo de: 1mm/s, velocidad post-ensayo de: 10mm/s, fuerzade: 90g y distancia de penetración de: 3,5 mm. Se realizo la medición a cinco muestras de melón por replica de tratamiento y los valores fueron reportados como media ± desviación.

Extracción de pectinmetilestereasa (PME)

Para la extracción de PME se empleó el método de (Beirão-da-Costa et al., 2008) con modificaciones. 12 gramos de tejido de melón fueron homogeneizados con 40 ml de NaCl 1.5M a 5°C con un T25 Ultraturrax® a una velocidad de 24000 rpm durante 2 minutos. La mezcla homogenizada se mantuvo a 4°C durante 30min y posteriormente centrifugada a 9000g por 30 minutos a 4°C. El sobrenadante resultante fue utilizado como extracto para la medición de la actividad enzimática.

Medición Actividad enzimática de pectinmetilestereasa (PME)

La actividad enzimática de la PME se midió mediante la determinación volumétrica de los grupos carboxilo libres formados como resultado de la acción de la enzima sobre la pectina, empleando el método de (Welti-Chanes et al., 2009) con modificaciones. A diez mililitros de una solución de pectina cítrica al 1% previamente llevada a 30°C se adicionaron 10 ml de extracto enzimático y 0,1755 g de cloruro de sodio. Manteniendo una temperatura constante de 30°C de la mezcla pectina – extracto se adicionó una solución de NaOH 0,5N hasta alcanzar un pH de 7,5. Empleando un autotitulado Titrino 702SM marca Metrohm®, la mezcla pectina – extracto fue valorada cada 2 minutos con NaOH 0,02N para mantener el pH en 7,5 durante 10 minutos. Al extracto enzimático se determinó el contenido de proteína por el método de Biuret usando albumina de suero bovino (BSA) como estándar (Gornall et al., 1949). La actividad de la PME fue expresada como nkat, indicando la cantidad de enzima que cataliza la reacción de 1 μmol de sustrato por un minuto por gr de proteína y fue calculada usando la siguiente formula.

$$PME (nkat) = \frac{Volumen NaOH (ml) * [] NaOH (N) * 1000}{Tiempo (min) * Volumen extracto (ml) * proteína \left(\frac{mg}{ml} \right)} * 0,060$$

Análisis morfométrico.

Los cortes del tejido vegetal se obtuvieron haciendo un corte transversal a las muestras cilíndricas de melón, sin acondicionamiento adicional. Se realizó la tinción del tejido con

una solución de azul de metileno 0,1% durante 15 seg y se removió el exceso de colorante con agua destilada. Las imágenes de las muestras fueron adquiridas en campo claro utilizando un microscopio triocular de contraste de fases con objetivo 10X (Zeiss®, Thornwood, New York, USA), con cámara digital Nikon® DSFi1 (Melville, NY, USA) adaptada al microscopio y conectada mediante interfaz al computador empleando el software NIS-Elements F V2.30 (Melville, NY, USA). Las imágenes capturadas tuvieron una resolución de 1024 X 960 píxeles (200ppp) y se almacenaron en formato *.jpg color de 32bits.

Las imágenes se procesaron empleando el software ImageJ 1.44 (National Institute of Health, Bethesda, MD, USA.). Para ello se transformaron a escala de grises (8 bits), y se aplicó el filtro “*Smooth*” para suavizar los límites del objeto. Posteriormente se ajustó manualmente el umbral “*Threshold*” (brillo-contraste-intensidad) en un rango entre 150-170 para destacar, célula a célula y el contorno celular (Camacho et al., 2010). Para garantizar la correcta selección de los contornos celulares se realizó la sobreposición del objeto segmentado sobre la imagen original. Posteriormente, se determinaron las características morfométricas de tamaño: área proyectada, perímetro y diámetro de Feret; y características morfométricas de forma: elongación, compacidad y factor de forma. Se realizó la medición a 60 células por replica de tratamiento y los valores fueron reportados como media \pm desviación estándar.

Análisis sensorial.

Un panel de cinco jueces pre-entrenados llevaron a cabo la evaluación sensorial de los atributos de calidad de melón fresco precortado y de las muestras de los respectivos tratamientos. Se efectuaron dos ensayos: hedónico y de calidad. El ensayo hedónico determinó la aceptación general del producto, empleando una escala de 1 a 9, siendo 9: me gusta mucho, 7: me gusta moderadamente, 5: No me gusta ni me disgusta, 3: me disgusta moderadamente y 1: me disgusta mucho. En el ensayo de calidad se evaluaron los parámetros de color, olor, sabor y textura de acuerdo con los descriptores de calidad de melón que se presentan en la tabla 7.1.

A partir de los datos obtenidos, se determinaron el índice de apreciación y el índice de calidad de los productos para relacionarlos a través de mapa de aceptación – calidad. Para su determinación se evaluó el promedio ponderado de todas calificaciones asignadas a los atributos evaluados mediante la siguiente ecuación

$$\bar{X} = \sum \frac{a_i v_i}{n} \quad (1)$$

En donde a_i es el número de panelistas que calificaron una de las características del producto, y v_i es el valor numérico que se le asignó a cada uno de esas calificaciones. Posteriormente, con los promedios de cada característica se procede a agruparlos en cada una de los índices a evaluar, a partir de la siguiente ecuación:

$$\bar{X}_p = \sum \frac{\bar{X}}{na} \quad (2)$$

En este caso \bar{X} es el promedio calculado anteriormente para cada atributo, y na es el número de atributos que se evalúan. Cada índice debió ser ajustado a un valor porcentual considerando como máximo de calidad el 100%, el mismo que debe ser equivalente al máximo para cada índice, empleando una regla de proporcionalidad simple (Nestrud et al., 2008; Tietel et al., 2010).

Tabla 7.1. Descriptores de calidad de melón fresco precortado.

Atributo de Calidad	Puntaje subjetivo*				
	9	7	5	3	1
Color	Color naranja	Pérdida ligera del color naranja	Presencia de partes pálidas	Coloración palida	Color translucido
Olor	Aromatico - dulce	Pérdida ligera aroma dulce	Aroma dulce poco perceptible	No se detecta aroma	Olor no característico
Sabor	Característico - dulce	Pérdida ligera sabor dulce	Sabor dulce poco perceptible	Insipido	Sabor no característico
Textura	Fresco y crujiente	Pérdida ligera de frescura	Textura normal	Textura blanda	Textura muy blanda

Seguimiento de inocuidad microbiológica

Con el fin de garantizar la seguridad del producto se realizó un recuento microbiológico de rutina durante el estudio. Se homogeneizó 1g de jugo de melón fresco y tratado con 9 ml de agua estéril y se realizaron 4 diluciones seriadas. Empleando la técnica de microgota (Doyle et al., 2000), se realizó el recuento de mesófilos aerobios totales en agar nutritivo, coliformes totales en EMB y mohos y levaduras en PDA. Las condiciones de incubación fueron 37°C durante 48 h para bacterias mesófilas y coliformes y de 25°C durante 5 días para hongos y levaduras. Los recuentos totales se expresaron en unidades logarítmicas de unidades formadoras de colonias por g (UFC/g). Al no contar con un referente colombiano específico, la calidad microbiológica fue evaluada de acuerdo con los límites máximos exigidos en la RD3484/2000 de España, que establece como límites máximos 7Log UFC/g para bacterias aerobias, 4 Log UFC/g para coliformes y 3 Log UFC/g para mohos.

Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron por triplicado y los datos obtenidos se expresaron en términos de media \pm desviación estándar. Los valores promedios fueron comparados con una prueba de significancia ANOVA (análisis de la varianza) con un $P < 0,05$ y una prueba de diferencia de medias Tukey's empleando el software de Minitab® version 16.

RESULTADOS

Características fisicoquímicas y contenido de calcio.

Las muestras de melón almacenadas a 5°C durante 14 días, presentan un incremento en los valores de acidez expresados como porcentaje de ácido cítrico (tabla 7.2), pasando de valores de 0,060 a 0,679%, con la consiguiente disminución del pH de 7 a 4. La aplicación de baños cálcicos permite reducir estos cambios en la acidez en un 5%, presentándose los menores cambios con la aplicación de lactato.

En relación a los valores de pérdida de peso que se muestran en la tabla 7.2, la muestra control presenta una pérdida del 5% de su peso inicial en el día 14, debido a la liberación de exudados por efecto de cambios bioquímicos y fisiológicos del tejido. Niveles de pérdida similares fueron reportados en melón fresco después del almacenamiento por 14 días (Bett-Garber et al., 2010).

Tabla 7.2. Valores de acidez y pérdida de peso para melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.

Tiempo (min)	Acidez (g ácido cítrico /100 g)			Pérdida de peso (%)		
	Control	Cloruro de calcio	Lactato de calcio	Control	Cloruro de calcio	Lactato de calcio
0	0,060 \pm 0,000 ^d	0,078 \pm 0,004 ^d	0,069 \pm 0,003 ^{cd}			
3	0,063 \pm 0,000 ^d	0,063 \pm 0,004 ^{de}	0,064 \pm 0,004 ^d	0,944 \pm 0,018 ^c	0,399 \pm 0,008 ^c	0,211 \pm 0,007 ^f
5	0,068 \pm 0,001 ^d	0,061 \pm 0,001 ^e	0,067 \pm 0,002 ^{cd}	1,522 \pm 0,028 ^d	0,779 \pm 0,043 ^d	0,351 \pm 0,003 ^e
7	0,068 \pm 0,001 ^d	0,064 \pm 0,000 ^{de}	0,074 \pm 0,002 ^{cd}	1,575 \pm 0,025 ^d	0,787 \pm 0,033 ^d	0,710 \pm 0,017 ^d
10	0,379 \pm 0,023 ^c	0,170 \pm 0,002 ^c	0,075 \pm 0,001 ^c	3,112 \pm 0,059 ^c	1,384 \pm 0,066 ^c	1,216 \pm 0,049 ^c
12	0,473 \pm 0,001 ^b	0,323 \pm 0,008 ^b	0,103 \pm 0,002 ^b	4,421 \pm 0,072 ^b	2,052 \pm 0,023 ^b	2,076 \pm 0,017 ^b
14	0,671 \pm 0,019 ^a	0,430 \pm 0,009 ^a	0,280 \pm 0,007 ^a	5,537 \pm 0,256 ^a	3,353 \pm 0,029 ^a	3,036 \pm 0,055 ^a

Los resultados se presentan como media \pm desviación de tres mediciones.

^{a, b, c, d, e}: Los valores con la misma letra en cada fila indican que no existe diferencia significativa entre las muestras (Tukey's $P < 0,05$).

El nivel de exudado es reducido por la aplicación de baños cálcicos, debido a que el tratamiento térmico aumenta la viscosidad del protoplasma y reduce la pérdida de permeabilidad de la membrana, lo cual podría contribuir a la retención de la humedad por parte del tejido de las frutas (Lamikanra, Bett-Garber, Ingram & Watson, 2005).

El contenido de sólidos solubles totales, no fue afectado significativamente por el tiempo de almacenamiento para las tres muestras evaluadas, manteniendo su valor entre 7.5 y 8°Brix, Comportamiento similar se reporta en melón cantaloupe durante el almacenamiento a 4°C durante 14 días (Lamikanra, Chen, Banks & Hunter, 2000). Sin embargo, la muestra control presento una mayor disminución en el contenido de SST, esto puede estar relacionado con una mayor velocidad de respiración respecto de las muestras tratadas con calcio (Rivera, Vásquez, Ayala & González, 2005).

Respecto de la cuantificación del calcio presente en las muestra se encontró que el melón fresco tiene un contenido de calcio de 22mg/100g de muestra, y con la aplicación de los baños cálcicos con cloruro y lactato, este contenido incrementa a 25 mg y 27 mg, que corresponde a un incremento del 12 y 18 % respectivamente. En otras matrices como manzana han incorporado a través de procesos de impregnación a presión atmosférica entre un 23 y 63% de calcio, dependiendo del tiempo de tratamiento que puede variar en 6 y 22 horas (Anino et al., 2006). Esto podría generar una oportunidad para ofrecer a los consumidores otra fuente de obtención de calcio (Martín-Diana et al., 2007).

Recuento microbiológico.

En la figura 7.1 se muestran los resultados del recuento microbiológico de los mesófilos aerobios totales, donde se observa que después de ocho días del almacenamiento, la velocidad de crecimiento microbiológico se incrementa, presentándose el mayor recuento para las muestras control. Teniendo en cuenta la Norma Española RD 3484 de 2000, que establece los recuentos máximos permitidos para productos mínimamente procesados, el límite de 6Log, fue alcanzado por las muestra control en el día 12 de almacenamiento.

Para las muestras tratadas con baños cálcicos no se alcanzó el límite, esto podría ser debido a que la concentración de calcio induce una mayor resistencia en la pared celular reforzándose frente a las enzimas secretadas por los microorganismos e impidiendo su colonización (Lamikanra et al., 2005). Asimismo también se puede relacionar la reducción en el crecimiento microbiológico con la disminución en la liberación de exudados, disminuyendo la disponibilidad de agua superficial para el desarrollo bacteriano (Luna-Guzmán et al., 2000).

En relación al recuento de coliformes totales y hongos y levaduras, se encontró que el límite de 4 y 3Log UFC/g, no fue alcanzado para las muestras tratadas con baños cálcicos. En relación a la muestra control, el recuento límite se superó el día 12 para hongos y levaduras y el día 14 para coliformes.

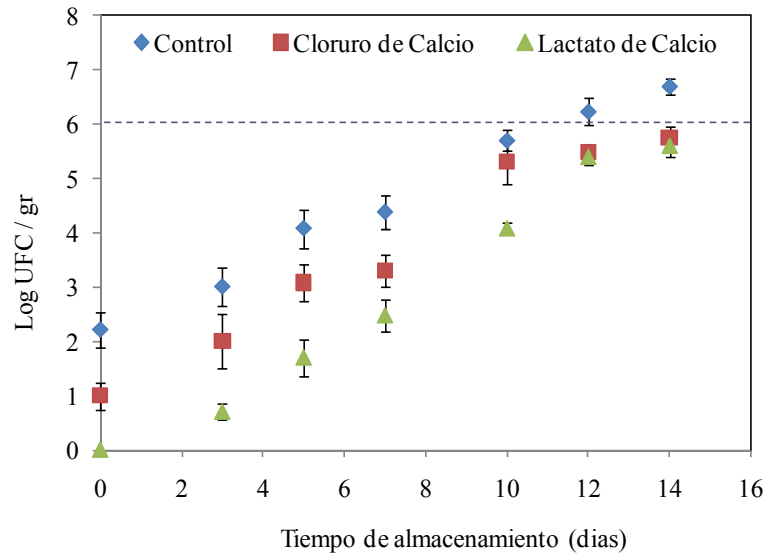


Figura 7.1. Recuento microbiológico de mesófilos aerobios totales en muestras de melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.

De otra parte, el aumento en la acidez puede estar vinculado al crecimiento microbiológico y por ende los baños cálcicos presentan un efecto positivo debido a sus propiedades antibacterianas que tienen las sales de calcio especialmente el lactato de calcio (Alandes et al., 2006).

Textura

En la figura 7.2 se muestra el comportamiento de los valores de la firmeza del tejido de melón tratado con calcio y sin calcio durante catorce días de almacenamiento. Al finalizar el tiempo de almacenamiento, el porcentaje de reducción de la firmeza para los tratamientos aplicados fue del 60% para la muestra control y del 37% y 25% para las muestras tratadas con baños cálcicos con cloruro y lactato respectivamente, indicando que la aplicación de baños calcios influye en la reducción del ablandamiento del tejido.

Los valores obtenidos son un indicador de la pérdida de integridad estructural del tejido durante el almacenamiento, y este cambio puede estar asociado con el nivel de exudados presentes en la superficie del tejido, los cuales son un indicador de la disrupción de la

membrana celular y de la pérdida de fluidos, que están asociados conjuntamente en la disminución de la firmeza en el tejido de frutas (Varela et al., 2007).

Como se observa en la figura 7.2, el comportamiento del cambio en la firmeza del melón durante el almacenamiento presenta una cinética de primer orden, mostrando una mayor velocidad de cambio la muestra control con un valor de 4,25 seguido por el tratamiento con cloruro con 2,82. La muestra tratada con lactato de calcio, presenta una velocidad de cambio de 1,64, que es 60 y 40% menor a la reportada por las muestras del control y el tratamiento con cloruro respectivamente.

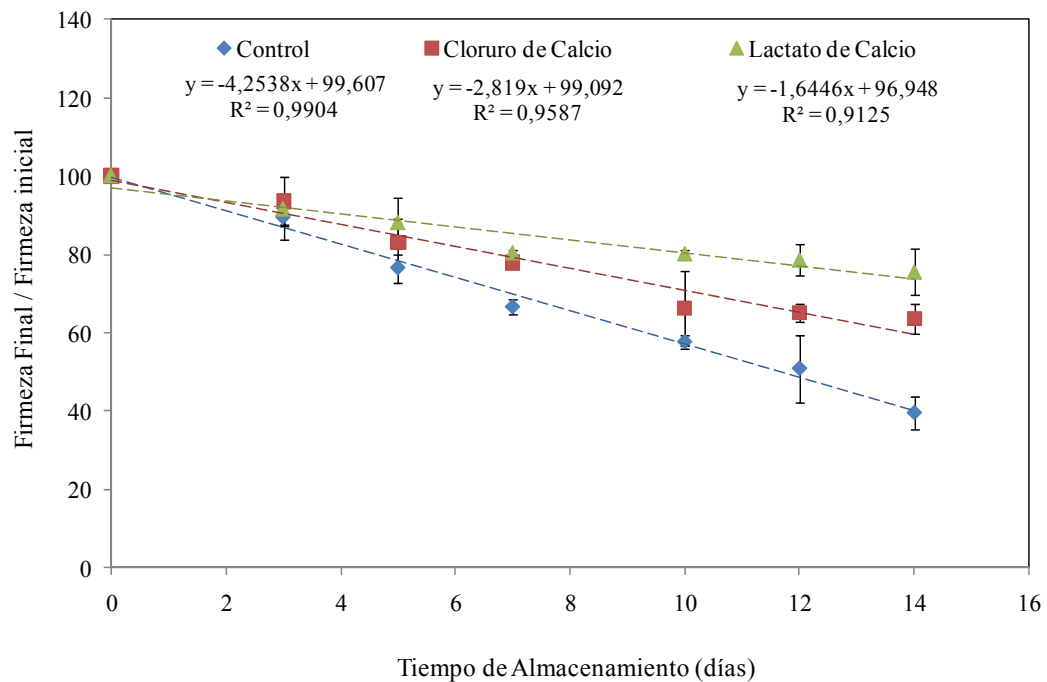


Figura 7.2. Valores de la firmeza de melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.

Al comparar las dos fuentes de calcio, el lactato de calcio reduce el ablandamiento del tejido, lo cual concuerda con lo reportado en melón cantaloupe (Luna-Guzmán et al., 2000). Sin embargo, se reporta lo contrario en melón amarillo (Aguayo et al., 2008). Por lo tanto, no se puede definir una única condición de aplicación de baños cálcicos para diferentes matrices. Cada tejido presenta una interacción distinta con cada fuente de calcio, debido a la solubilidad de la sal, a la capacidad para difundirse en el tejido y el mecanismo de unión para formar pectatos de calcio en la pared celular. (Aguayo et al., 2008)

Actividad enzimática de la pectilmetilestereasa - PME.

Los datos de la actividad enzimática en las muestras control y tratadas se muestran en la tabla 7.3. En esta observa que la PME del melón fresco tiene una actividad enzimática de 0,415 nkat, la cual se incrementa con la aplicación del baño cálcico en un 25% a 60°C por efecto de la temperatura y de la incorporación del calcio (Beirão-da-Costa et al., 2008; Manganaris et al., 2007; Martín-Diana et al., 2007). Este incremento de la actividad hace que la cantidad de ácido carboxílico liberado extienda el número de sitios de unión del calcio en las pectinas, aumentando el entrecruzamiento del calcio y por ende mejorando la firmeza del tejido (Anthon et al., 2005; Sila et al., 2004).

Tabla 7.3. Actividad enzimática de PME (nkat) de melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.

Tiempo (min)	PME (nkat)		
	Control	Cloruro de calcio	Lactato de calcio
0	0,415±0,024 ^a	0,489±0,016 ^a	0,588±0,006 ^a
3	0,350±0,018 ^b	0,371±0,047 ^b	0,460±0,032 ^b
5	0,252±0,005 ^c	0,333±0,032 ^b	0,394±0,020 ^c
7	0,249±0,009 ^c	0,256±0,039 ^c	0,319±0,006 ^d
10	0,798±0,006 ^d	0,268±0,009 ^c	0,308±0,010 ^d
12	0,922±0,009 ^d	0,804±0,004 ^d	0,680±0,014 ^e
14	1,957±0,018 ^e	1,588±0,006 ^e	1,453±0,003 ^f

Los resultados se presentan como media ± desviación de tres mediciones.

^{a, b, c, d, e}: Los valores con la misma letra en cada fila indican que no existe diferencia significativa entre las muestras (Tukey's P <0,05).

Durante el almacenamiento las muestras presentan una disminución en la actividad enzimática hasta el día 12 para las tratadas con baño cálcico y en el día 10 para el control. La reducción de la actividad de la PME puede ser debido a la progresiva insolubilización del calcio por la formación de pectato cálcico que remueve los iones calcio del medio. En todos los tratamientos se presenta un posterior incremento significativo de la actividad, presentándose valores similares para los dos tratamientos y el control para el día 14. El incremento en la actividad enzimática ha sido atribuido a la presencia de PME exógena proveniente por los microorganismos que empiezan a proliferar en las muestras (Alandes et al., 2006).

Parámetros morfológicos.

Las imágenes de los cortes transversales de las muestras melón fresco y tratado, después del almacenamiento durante 14 días a 5°C se muestran en la figura 7.3. La forma de las células del tejido de melón tratado con calcio presenta una disminución en su tamaño manteniendo su estructura con un empaquetamiento uniforme similar al tejido fresco (Figura 3). En otros estudios en pera almacenada durante tres semanas, se evidencia que la aplicación de calcio permite mantener el empaquetamiento fibrilar en las paredes celulares y por lo tanto refuerza el contacto célula – célula, lo cual está relacionado con la formación de pectatos de calcio (Alandes et al., 2009a).

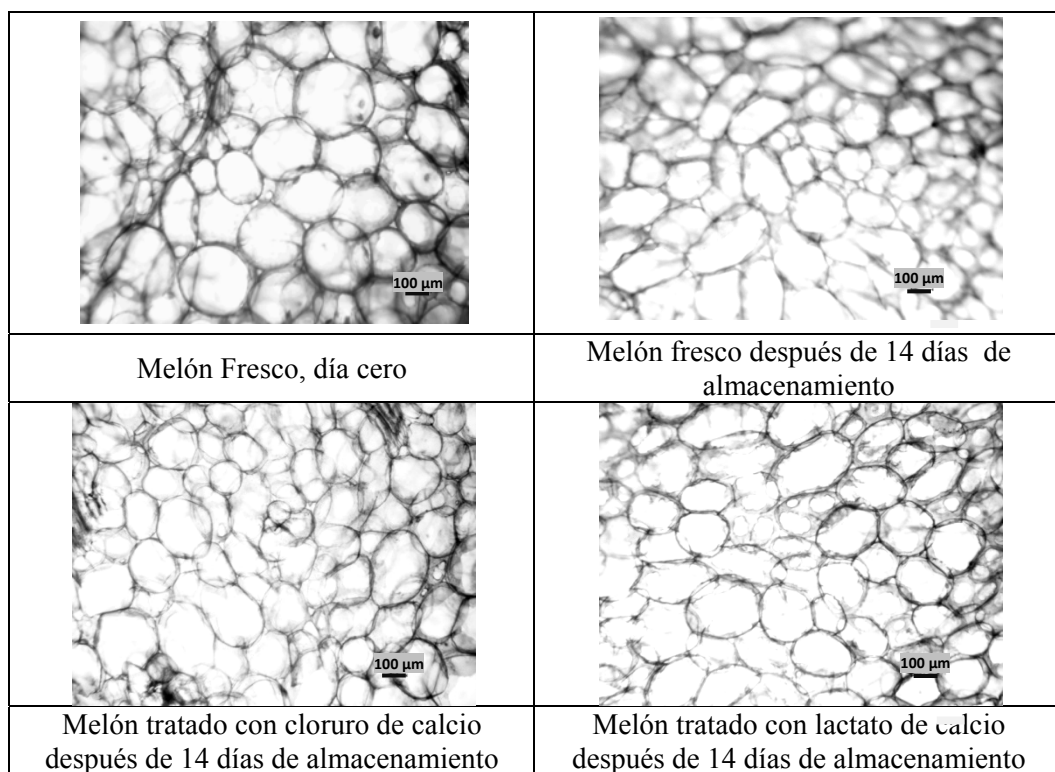


Fig. 7.3 Cambios microestructurales del tejido de melón después del almacenamiento

En las muestras sin aplicación de calcio, se observa un incremento en la elongación celular, la cual está asociada con un cambio en la redondez, indicando un posible colapso celular en algunos sitios del tejido (Varela et al., 2007). Comparando las imágenes de las muestras tratadas con cloruro y lactato de calcio, se puede observar que las células tratadas con lactato conservan la estructura celular del tejido fresco, lo cual muestra una mayor efectividad en el mantenimiento de la turgencia celular, por parte de esta fuente de calcio. Sin embargo, estadísticamente no hay efecto significativo por el tipo de calcio aplicado en relación a los parámetros de área, elongación y factor de forma.

El tiempo de almacenamiento produce una reducción en el área celular de las muestras de melón, presentando el mayor cambio para las muestras control. Asimismo, en la figura 7.4 se evidencia un incremento en el grado de elongación de las células que se relaciona con una disminución en el factor de forma celular.

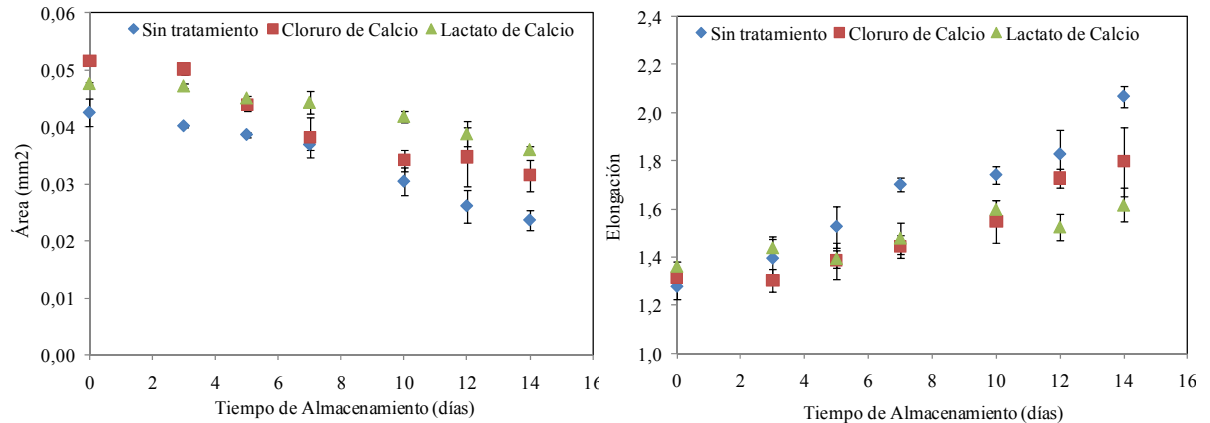


Figura 7.4. Comportamiento de los parámetros morfométricos de área y elongación de muestras de melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.

Los cambios en los parámetros morfométricos descritos están claramente relacionados con los cambios a nivel macroscópico relacionados con la textura. Esto se debe a que la firmeza y la adhesión intercelular en las frutas están fuertemente interrelacionadas a la estructura de las sustancias pecticas de la lámina media. La solubilización de las pectinas genera una disminución de su efecto como material cementante y por ende favorece el ablandamiento del tejido y la separación celular (Varela et al., 2007).

Análisis sensorial.

Los parámetros de calidad de las muestras de melón tratadas con lactato de calcio mantuvieron los valores por encima del 80% durante los siete primeros días de almacenamiento (Figura 7.5). Después de 10 días de conservación, los panelista redujeron la valoración con una tendencia lineal que mantiene la calidad sobre el límite de calidad del 70%. Para las muestras tratadas con cloruro de calcio, el límite de calidad del 70% se mantuvo hasta el día 10, mientras para las muestras control este límite se traspasó en el séptimo día.

Dentro de los parámetros evaluados el más sensible al cambio fue el aroma característico de esta variedad de melón, el cual disminuyó en un 50% el día 3 para la muestra control, el día 7 y 12 para las muestras tratadas con cloruro y lactato de calcio respectivamente. Esto indica que la aplicación de baños cálcicos permite preservar el aroma durante el

almacenamiento, coincidiendo con lo reportado en melón por otros estudios. (Lamikanra, Bett-Garber, Watson & Ingram, 2010).

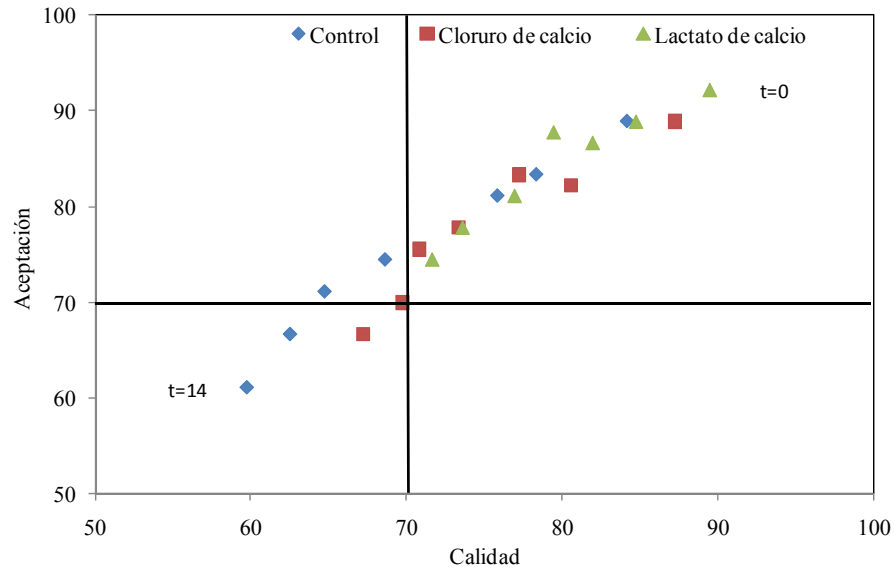


Figura 7.5. Relación aceptación vs calidad sensorial en muestras de melón fresco y tratado con cloruro y lactato de calcio durante el almacenamiento a 5°C.

Conclusiones.

Los resultados obtenidos de la aplicación de baños cálcicos, indican que la incorporación de calcio incrementa la actividad enzimática de la PME contribuyendo en la reducción de la pérdida de la firmeza del tejido, asociado a un incremento en la integridad de la membrana y de la estructura de la pared celular dando lugar a tejidos más firmes y resistentes. Los cambios a nivel estructural están relacionados con los cambios morfométricos en la forma y tamaño celular. El mayor cambio corresponde un incremento del 66% en factor de elongación de la muestra control a los 14 días reduciendo su nivel de contacto célula – célula. El efecto positivo de la aplicación de ambas fuentes de calcio se debe a que refuerzan la pared celular con la formación de pectatos de calcio en la lámina media, de manera que se pueda reducir la pérdida de turgencia celular. Los efectos a nivel macroscópico, sensorial y mecánico, se evidenciaron en el comportamiento celular. Las muestras tratadas con baños cálcicos permiten mantener la calidad del producto por más tiempo, lográndose un incremento de 5 días de vida útil para el cloruro y de 9 para el lactato, frente a los 5 días alcanzados por la muestra control. El tratamiento con lactato de calcio es una buena alternativa frente al cloruro de calcio, al mantener la estabilidad del tejido a nivel micro y macro estructural, consiguiendo una buena calidad sensorial y

reduciendo la contaminación microbiana para alcanzar una vida útil de 14 días a 5°C dentro de un esquema de mínimo procesamiento.

Referencias.

- Aguayo, E., Escalona, V. H., & Artés, F. (2008). Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 397-406.
- Alandes, L., Hernando, I., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Lluch, M. A. (2006). Cell Wall Stability of Fresh-Cut Fuji Apples Treated with Calcium Lactate. *Journal of Food Science*, 71(9), S615-S620.
- Alandes, L., Pérez-Munuera, I., Llorca, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2009). Use of calcium lactate to improve structure of "Flor de Invierno" fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 145-151.
- Anino, S. V., Salvatori, D. M., & Alzamora, S. M. (2006). Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research International*, 39(2), 154-164.
- Anthon, G., Blot, L., & Barret, D. (2005). Improved firmness in calcified diced tomatoes by temperature activation of pectin methylesterase. *Journal of Food Science*, 70(5), C342-C347.
- Beirão-da-Costa, S., Cardoso, A., Martins, L. L., Empis, J., & Moldão-Martins, M. (2008). The effect of calcium dips combined with mild heating of whole kiwifruit for fruit slices quality maintenance. *Food Chemistry*, 108(1), 191-197.
- Bett-Garber, K. L., Watson, M. A., Lea, J. M., Champagne, E. T., & Lamikanra, O. (2010). Effect of combined underwater processing and mild pre-cut heat treatment on the sensory quality and storage of fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Quality*, 33(4), 424-438.
- Camacho, B. H., Aparicio, A. J., Chanona-Pérez, J. J., Calderón-Domínguez, G., Alamilla-Beltrán, L., Hernández-Sánchez, H., & Gutiérrez-López, G. F. (2010). Morphological characterization of the growing front of *Rhizopus oligosporus* in solid media. *Journal of Food Engineering*, 101(3), 309-317.
- Cybulska, J., Zdunek, A., & Konstankiewicz, K. (2011). Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. *Journal of Food Engineering*, 102(3), 217-223.
- Doyle, M., Beuchat, L., & Montville, T. (2000). *Microbiología de los alimentos fundamentos y fronteras.*: Acribia. España.
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of Serum Proteins by Means of the Biuret Reaction. *Journal Biology and Chemical*, 177, 751.
- Lamikanra, O., Bett-Garber, K. L., Ingram, D. A., & Watson, M. A. (2005). Use of Mild Heat Pre-treatment for Quality Retention of Fresh-cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 70(1), C53-C57.
- Lamikanra, O., Bett-Garber, K. L., Watson, M. A., & Ingram, D. A. (2010). Underwater processing with and without added calcium influences shelf life quality of fresh-cut cantaloupe. *Journal of Food Quality*, 33, 246-261.
- Lamikanra, O., Chen, J. C., Banks, D., & Hunter, P. A. (2000). Biochemical and Microbial Changes during the Storage of Minimally Processed Cantaloupe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 5955-5961.
- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2004). Effect of Calcium Treatment Temperature on Fresh-cut Cantaloupe Melon during Storage. *Journal of Food Science*, 69(6), C468-C472.
- Lamikanra, O., & Watson, M. A. (2007). Mild heat and calcium treatment effects on fresh-cut cantaloupe melon during storage. *Food Chemistry*, 102(4), 1383-1388.

- Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61-72.
- Luna-Guzman, I., Cantwell, M., & Barrett, D. M. (1999). Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology*, 17, 201-213.
- Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G., & Mignani, I. (2007). The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, 100(4), 1385-1392.
- Martín-Diana, A. B., Rico, D., Frías, J. M., Barat, J. M., Henahan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(4), 210-218.
- Mayor, L., Pissarra, J., & Sereno, A. M. (2008). Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 326-339.
- Nestrud, M. A., & Lawless, H. T. (2008). Perceptual mapping of citrus juices using projective mapping and profiling data from culinary professionals and consumers. *Food Quality and Preference*, 19(4), 431-438.
- NTC5207 (2004). Frutas Frescas: Melon variedad Cantaloupe - Especificaciones. (pp. 1 - 19): Instituto Colombino de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC.
- Oey, M. L., Vanstreels, E., De Baerdemaeker, J., Tijskens, E., Ramon, H., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolai, B. (2007). Effect of turgor on micromechanical and structural properties of apple tissue: A quantitative analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 240-247.
- Oey, M. L., Vanstreels, E., De Baerdemaeker, J., Tijskens, E., Ramon, H., & Nicolai, B. (2006). Influence of Turgor on Micromechanical and Structural Properties of Apple Tissue. *IUFOST 2006*.
- Pereira, L. M., Carmello-Guerreiro, S. M., Junqueira, V. C. A., Ferrari, C. C., & Hubinger, M. D. (2010). Calcium Lactate Effect on the Shelf Life of Osmotically Dehydrated Guavas. *Journal of Food Science*, 75(9), E612-E619.
- Quiles, A., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., & Lluch, M. Á. (2007). Effect of calcium propionate on the microstructure and pectin methylesterase activity in the parenchyma of fresh-cut Fuji apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(3), 511-519.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Barat, J. M., Henahan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1196-1206.
- Rivera, J., Vásquez, F., Ayala, J., & González, G. (2005). Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada (*Carica Papaya L. Maradol*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 6(2), 83 - 94.
- Saftner, R. A., Bai, J., Abbott, J. A., & Lee, Y. S. (2003). Sanitary dips with calcium propionate, calcium chloride, or a calcium amino acid chelate maintain quality and shelf stability of fresh-cut honeydew chunks. *Postharvest Biology and Technology*, 29(3), 257-269.
- Sila, D. N., Smout, C., Vu, T. S., & Hendrickx, M. E. (2004). Effects of High-Pressure Pretreatment and Calcium Soaking on the Texture Degradation Kinetics of Carrots during Thermal Processing. *Journal of Food Science*, 69(5), E205-E211.
- Silveira, A. C., Conesa, A., Aguayo, E., & Artes, F. (2008). Alternative Sanitizers to Chlorine for Use on Fresh-Cut “Galia” (*Cucumis melo var. cantalupensis*) Melon. *Journal of Food Science*, 73(9), M405-M411.

- Tietel, Z., Bar, E., Lewinsohn, E., Feldmesser, E., Fallik, E., & Porat, R. (2010). Effects of wax coatings and postharvest storage on sensory quality and aroma volatile composition of ‘Mor’ mandarins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(6), 995-1007.
- Varela, P., Aguilera, J. M., & Fiszman, S. (2008). Quantification of fracture properties and microstructural features of roasted Marcona almonds by image analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1), 10-17.
- Varela, P., Salvador, A., & Fiszman, S. (2007). Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 622-629.
- Welti-Chanes, J., Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2009). High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectinmethylesterase. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 457-462.
- Zdunek, A., & Umeda, M. (2005). Influence of cell size and cell wall volume fraction on failure properties of potato and carrot tissue. *Journal of Texture Studies*, 36(1), 25-43.

8. CAPITULO 5 - DISCUSIÓN GENERAL

La aplicación de baños calcios con diferentes fuentes de calcio han sido relacionados con la extensión de vida útil de frutas enteras y pre-cortadas, por sus efectos positivos en la preservación de la estructura del tejido vegetal, permitiendo retrasar la senescencia, reducir el ablandamiento, controlar el desarrollo de alteraciones fisiológicas, inhibir los cambios de color durante el almacenamiento, disminuir la pérdida de jugos celulares y reducir el crecimiento microbiano (Saftner et al., 2003; Sila et al., 2004; Varela et al., 2008).

En la determinación de estos efectos positivos, se han empleado parámetros de calidad relacionadas con indicadores físicos y químicos como peso del fruto, sólidos solubles totales, acidez total, color externo o interno, textura, tasa de respiración, producción de etileno, entre otros. Sin embargo, es necesario comprender los cambios que ocurren a nivel microestructural, debido a que los cambios que se observan a nivel macroscópico son causados por cambios que ocurren a nivel celular y microestructural. Estos cambios están relacionados con la variación en los parámetros morfométricos como la forma y el tamaño de la células en el tejido, y la pérdida de cohesión y disminución del grado de unión intermolecular de los polímeros de la pared celular (Manganaris et al., 2007; Mayor et al., 2008; Trejo Araya et al., 2007)

Actualmente, no hay reportes que indiquen si la evaluación de los parámetros morfométricos y fisicoquímicos permiten describir el efecto de la aplicación del calcio en el tejido de melón, así como el efecto de la aplicación de baños cálcicos con diferentes fuentes de calcio sobre las propiedades de textura, enzimáticas, sensoriales y los parámetros morfométricos del tejido vegetal.

El propósito de este análisis es establecer si existe relación entre los cambios estructurales y microestructurales. A continuación se presentan los resultados del efecto puntual de la aplicación de baños cálcicos y su efecto durante el almacenamiento a 5°C durante 14 días.

Efecto puntual de baños cálcicos sobre el tejido de melón fresco pre-cortado.

▪ Análisis general

Los resultados obtenidos de la aplicación de baños cálcicos con tres fuentes de calcio: lactato, cloruro y propionato de calcio, a dos concentraciones: 0,5 y 1% durante 1, 2 y 3 minutos, indican que la incorporación de calcio incrementa la actividad enzimática de la PME contribuyendo en la reducción de la pérdida de la firmeza del tejido mediante un

incremento en la integridad de la membrana y de la estructura de la pared celular dando lugar a tejidos más firmes y resistentes (Alandes et al., 2006; Alandes et al., 2009a).

En relación a los parámetros morfométricos, se evidencia un incremento en el tamaño celular en las muestras tratadas a 60°C sin calcio perdiendo su forma redondeada lo cual podría ser resultado de un cambio en la turgencia celular debido al estrés celular producido por el tratamiento térmico (Rico et al., 2007). Las muestras tratadas con lactato y cloruro de calcio también presentan un incremento en el área celular manteniendo la forma celular del tejido fresco. Los mayores cambios celulares se presentan en las muestras tratadas con propionato donde se evidencia un cambio celular tanto en tamaño como en forma, presentando un incremento del 13 y 27% en la elongación y tamaño celular respectivamente.

▪ Correlación de atributos y tratamientos por análisis de componentes principales.

Con el fin de determinar si los factores estudiados: fuente de calcio y concentración, tuvieron efecto sobre los parámetros evaluados, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), que permite determinar la correlación entre variables, conservando la mayor variabilidad original entre los datos (Dana & Ivo, 2008). Este análisis es un método estadístico de modelamiento multivariado que identifica las características de mayor variación entre los individuos y utiliza un sistema de puntuación en el que pueden ser tratados como nuevos tipos de mediciones para comparar las poblaciones o pruebas de correlación (Medina, Skurtys & Aguilera, 2010).

Para el análisis de componentes principales (ACP) se empleo el método descrito por (Medina et al., 2010) y el programa Statgraphics® Versión 16.1.11. Se utilizó una matriz de dimensiones de 8 tratamientos por 8 atributos (firmeza, actividad enzimática de PME, análisis sensorial – calidad total y cinco parámetros morfométricos: área, perímetro, diámetro de Feret, elongación y factor de forma).

Los resultados de este análisis indican que la firmeza, la evaluación sensorial como calidad total, los parámetros morfométricos de área proyectada, perímetro, diámetro de Feret y factor de forma fueron las variables que demostraron tener mayor incidencia en el primer componente (CP1). El segundo componente (CP2) se define básicamente por la actividad de la PME y el parámetro morfométrico de elongación. El CP1 representa un 71,086 % de la variabilidad y el (CP2) describe un 15,38%. En conjunto explican el 86,46% de la variación del total de los datos (Tabla 8.1).

Tabla 8.1. Tabla de componentes principales para los tratamientos

Variables	CP1	CP2
Firmeza	-0,376	-0,275
PME	-0,228	0,686
Sensorial – Calidad total	-0,333	0,041
Área	0,413	0,105
Diámetro de Feret	0,329	-0,387
Perímetro	0,415	-0,006
Elongación	0,311	0,538
Factor de forma	-0,382	0,038
% Total de varianza	71,086	15,381
Varianza acumulada (%)	71,086	86,467

Los coeficientes obtenidos del ACP para los ocho tratamientos se correlacionaron en un gráfico de dispersión (Fig. 8.1), observándose que las tres fuentes calcio no presentan similitudes en relación a sus características morfométricas, enzimáticas, sensoriales y de textura, lo cual permite diferencia los cuatro tipos de tratamientos, los cuales están clasificado con grupo A: lactato, B: cloruro, C: propionato y D: sin calcio.

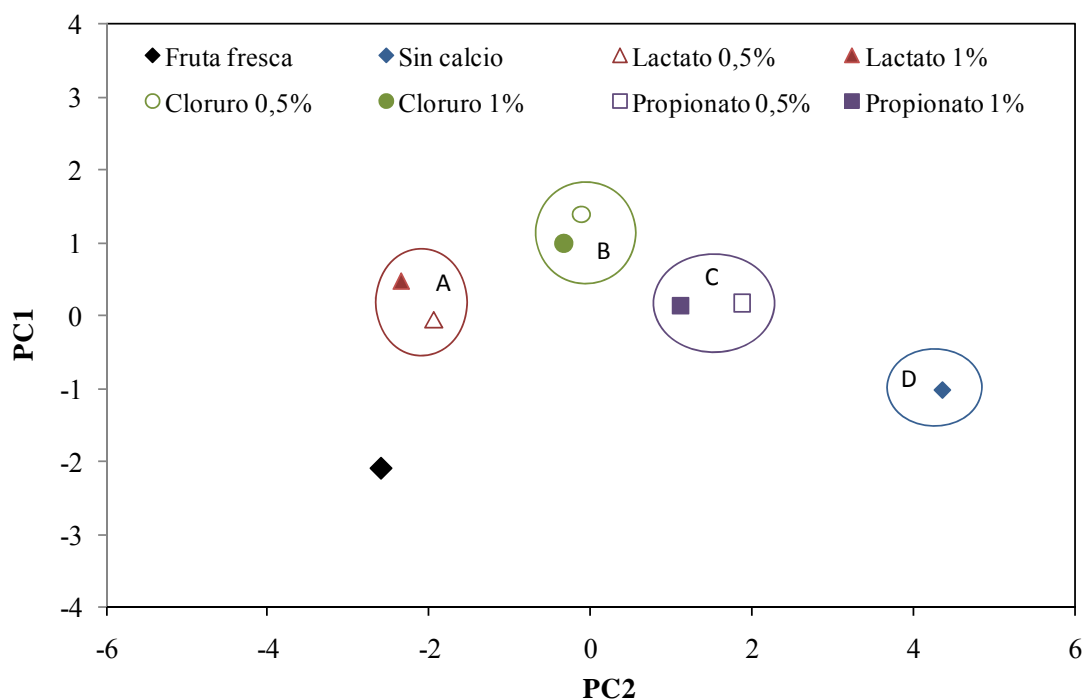


Figura 8.1 Gráfico de dispersión dimensional de las puntuaciones de CP1, CP2- Tratamiento 1

Con este análisis se evidencia que la aplicación del tratamiento térmico a 60°C sin calcio, incide negativamente en los parámetros evaluados. En relación a la concentración de calcio, se evidencia que hay similitud en las características medidas independientemente de la fuente de calcio empleada. También se observa que la aplicación de lactato mantiene las características evaluadas similares al producto fresco. Esto puede ser debido a que la aplicación de lactato de calcio con un calentamiento suave (60°C), muestra una mayor efectividad en el mantenimiento de la turgencia celular del tejido, lo cual se refleja en las características macroscópicas (Martín-Diana et al., 2007).

▪ Análisis de correlación de Pearson

En la tabla 8.2 se presenta la matriz de correlación de Pearson entre las ocho variables evaluadas. Se observó que los parámetros morfométricos de tamaño celular: área y perímetro, y de forma: elongación y factor de forma se correlaciona con la firmeza, lo cual indicaría que la variación observada a nivel estructural es debida al cambio en los atributos de tamaño y forma de las células.

Tabla 8.2. Matriz de correlación de Pearson –Tratamiento 1.

	Diámetro de Feret	Elongación	Factor de forma	Firmeza	Perímetro	PME	Sensorial
Área	0,741*	0,829*	-0,879*	-0,919*	0,973*	-0,466	-0,729*
Diámetro de Feret		0,330	-0,766*	-0,574	0,787*	-0,656	-0,451
Elongación			-0,567	-0,823*	0,713*	-0,019	-0,545
Factor de forma				0,764*	-0,96*	0,418	0,664
Firmeza					-0,861*	0,280	0,665
Perímetro						-0,512	-0,769*
PME							0,522

* Nivel de significancia $p < 0,05$

Se espera que los cambios observados a nivel macroscópico, sean causados por cambios que ocurren a nivel microestructural y celular (Rojas et al., 2001; Trejo Araya et al., 2007), relacionados con el tamaño de las células, la cantidad de espacio intercelular, las propiedades mecánicas de la pared celular, la lámina media y la presión de turgencia (Oey et al., 2007). A través de un análisis de correlación de Pearson con $P < 0.05$ se corrobora que los parámetros morfométricos de tamaño celular: área proyectada y perímetro, y los parámetros morfométricos de forma: elongación y factor de forma se correlacionan con la

firmeza, lo cual indicaría que la variación observada a nivel estructural se debe al cambio en los atributos de tamaño y forma de las células.

Efecto de baños cálcicos sobre el tejido de melón fresco pre-cortado durante el almacenamiento.

▪ Análisis general

El calcio permite reducir el crecimiento microbiológico durante los primeros diez días de almacenamiento, luego su velocidad de crecimiento incrementa. Sin embargo, a los 14 días aún no se alcanza el límite de pérdida de inocuidad, esto puede deberse a las propiedades antimicrobianas que se le ha atribuido estas sales de calcio (Alandes et al., 2006).

También se evidencia un efecto positivo en relación a la reducción en la pérdida de peso, el cual está relacionado con el efecto del tratamiento térmico sobre el tejido, que aumenta la viscosidad del protoplasma y reduce la pérdida de permeabilidad de la membrana, contribuyendo a la retención de la humedad por parte del tejido de las frutas (Lamikanra et al., 2005). De otra parte se reduce el nivel de exudados en la superficie del tejido y por ende permite una menor proliferación de microorganismos debido a presencia de estos líquidos ricos en nutrientes especialmente azúcares.

Los baños cálcicos de ambas fuentes de calcio, incrementaron la actividad de la PME, la cual se reduce durante el tiempo de almacenamiento. Sin embargo después del día 10 esta se activa nuevamente por efecto de la presencia de PME exógena proveniente por los microorganismos (Alandes et al., 2006). El momento en que se da el incremento de la actividad de la PME coincide con pico en el cual se incrementa la velocidad de crecimiento microbiano.

Los cambios a nivel estructural están relacionados con el cambio en la forma de la células del tejido, siendo mayor en un 21% para la muestras control que presenta cambios en la forma por efecto de la elongación de las células reduciendo su nivel de contacto célula – célula. La aplicación de los baños cálcicos reduce este efecto, debido principalmente al reforzamiento de la pared celular por la formación de los pectatos de calcio en la lámina media, de manera que se pueda reducir la pérdida de turgencia celular (Aguayo et al., 2008).

Los resultados muestran que las muestras tratadas con calcio mantienen sus características de calidad sensorial por más tiempo, lo cual está relacionado con el efecto que tiene el calcio en la reducción de los cambios en el color de las frutas, al actuar como un agente que

reduce el desarrollo de pardeamiento, lo cual permite que el producto mantenga por as tiempo su aspecto de frescura (Rico et al., 2007).

En conclusión, las muestras tratadas con baños cálcicos con cloruro o lactato de calcio permiten mantener la calidad del producto por más tiempo respecto de la muestra control, lográndose un incremento de 3 días de vida útil para el cloruro y de 7 para el lactato. Este incremento se debe principalmente a los efectos positivos del calcio en el tejido celular, que permite reducir el daño a nivel celular y por ende reduce los efectos visibles a nivel macroscópico.

▪ Análisis de componentes principales para atributos en almacenamiento.

Con el fin de determinar si durante el almacenamiento se mantiene la correlación entre las variables determinadas al aplicar las dos fuentes de calcio, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). En este caso se utilizó una matriz de dimensiones de 7 tiempos de almacenamiento por 9 atributos (firmeza, actividad enzimática - PME, acidez, pérdida de peso, análisis sensorial y cuatro parámetros morfométricos: área, perímetro, elongación y factor de forma). Los resultados de este análisis son mostrados en la Tabla 8.3, indicando los coeficientes de correlación de las variables evaluadas.

Tabla 8.3. Tabla de componentes principales – Tratamiento 2

Variables	Control		Cloruro de calcio		Lactato de calcio	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Acidez	0,344	-0,219	0,327	0,364	0,314	0,439
Peso	0,352	0,029	0,349	0,222	0,363	0,042
PME	0,314	-0,252	0,253	0,669	0,276	0,593
Textura	-0,342	-0,271	-0,346	0,266	-0,317	0,405
Sensorial	-0,338	-0,202	-0,342	0,245	-0,345	0,281
Área	-0,352	-0,001	-0,345	0,272	-0,361	0,050
Elongación	0,341	0,276	0,354	0,117	0,321	-0,274
Factor de forma	-0,342	-0,267	-0,350	0,045	-0,346	0,234
Perímetro	-0,258	0,790	-0,316	0,385	-0,345	-0,276
% Total de varianza	88.241	7.118	84.720	12.307	83.146	13,296
Varianza acumulada (%)	88.241	95.359	84.720	97.026	83.146	96.443

Los componentes principales obtenidos del análisis, indican que los dos componentes para cada uno de los tratamientos explican el 95.359, 97.026 y el 96.443 de la variabilidad de los datos para los tratamientos control, cloruro y lactato respectivamente. De acuerdo con reportes de análisis de componentes principales en frutas indican que obtuvieron dos

componentes principales que explicaron 75% de la variabilidad total en muestras de pera fresca cortada (Lin, Leonard, Lederer, Raber & Zhao, 2006) y del 66.9% en mango precortado (Salinas-Hernández, Pirovani, Gardea-Béjar & González-Aguilar, 2010).

▪ Análisis de Correlación de Pearson por tratamiento en almacenamiento.

En las tablas 8.4, 8.5 y 8.6 se muestran la correlación entre las 9 variables medidas: área, análisis sensorial, elongación, factor de forma, perímetro, pérdida de peso, actividad enzimática de PME y firmeza.

A través de un análisis de correlación de Pearson con $P < 0.05$ se corrobora que los parámetros morfométricos de tamaño celular: área proyectada, y los parámetros morfométricos de forma: elongación y factor de forma se correlacionan con la firmeza y la pérdida de peso, lo cual indicaría que la variación observada a nivel macroestructural se debe al cambio en los atributos de tamaño y forma de las células. Se han reportado que cambios observados a nivel macroscópico, pueden ser causados por cambios que ocurren a nivel microestructural y celular (Rojas y col., 2001; Trejo-Araya y col., 2007), relacionados con el tamaño de las células, la cantidad de espacio intercelular, las propiedades mecánicas de la pared celular, la lámina media y la presión de turgencia (Oey y col., 2007).

Tabla 8.4. Matriz de correlación de Pearson – Muestra Control

	Área	Sensorial	Elong.	Forma	Perím.	Peso	PME	Firmeza
Acidez	-0,967*	0,857*	0,880*	-0,918*	-0,777*	0,970*	0,945*	-0,879*
Área		-0,9505*	-0,946*	0,971*	0,729	-0,995*	-0,858*	0,960*
Sensorial			0,9743*	-0,923*	-0,657	-0,9392*	-0,723	0,990*
Elongación				-0,957*	-0,574	0,951*	0,809*	-0,990*
Factor de forma					0,548	-0,977*	-0,825*	0,965*
Perímetro						-0,697	-0,669	0,599
Pérdida de Peso							0,885*	-0,956*
PME								-0,766*

* Nivel de significancia $p < 0,05$

Tabla 8.5. Matriz de correlación de Pearson – Cloruro de calcio

	Área	Sensorial	Elong.	Forma	Perím.	Peso	PME	Firmeza
Acidez	-0,747	-0,736	0,956*	-0,815*	-0,664	0,954*	0,891*	-0,765*
Área		0,971*	-0,896*	0,936*	0,962*	-0,854*	-0,475	0,986*
Sensorial			-0,877*	0,9673*	0,886*	-0,8656*	-0,480	0,978*
Elongación				-0,918*	-0,822*	0,961*	0,763*	-0,906*
Factor de forma					0,807*	-0,933*	-0,651	0,933*
Perímetro						-0,739	-0,335	0,943
Pérdida de Peso							0,845*	-0,859*
PME								-0,463

* Nivel de significancia $p < 0,05$

Tabla 8.6. Matriz de correlación de Pearson – Lactato de calcio

	Área	Sensorial	Elong.	Forma	Perím.	Peso	PME	Firmeza
Acidez	-0,803*	-0,661	0,641	-0,661	-0,955*	0,860*	0,959*	-0,558
Área		0,954*	-0,855*	0,974*	0,923*	-0,989*	-0,710	0,866*
Sensorial			-0,885*	0,979*	0,7986*	-0,924*	-0,516	0,969*
Elongación				-0,873*	-0,724	0,849*	0,469	-0,873*
Factor de forma					0,814*	-0,944*	-0,554	0,905*
Perímetro						-0,951*	-0,901*	0,692
Pérdida de Peso							0,785*	-0,828*
PME								-0,365

* Nivel de significancia $p < 0,05$

▪ Modelo matemático de correlación.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de correlación de Pearson, para los tres tratamientos existe una correlación entre la firmeza y los parámetros morfométricos de área, elongación y factor de forma. A partir de ello se determinó un modelo que permita establecer los cambios en la firmeza del tejido en función de los parámetros morfométricos como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\text{Firmeza} = -8.097 + 452,115 * \text{Area} - 3,268 * \text{Elongación} + 32,774 * \text{Factor de forma}$$

Para determinar las bondades del modelo, se muestran a continuación las pruebas estadísticas que indican las bondades del ajuste.

- Coeficiente de correlación múltiple: 0,96
- Coeficiente de determinación: 93,2%
- Coeficiente de determinación ajustado: 92,85%
- Error estándar = 1,71806
- Estadístico Durbin-Watson = 1,16491 (P=0,0002)
- Análisis de varianza. el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, indicando que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	2387,12	3	795,706	269,57	0,0000
Residuo	174,152	59	2,95172		
Total (Corr.)	2561,27	62			

- La grafica de los valores experimentales frente a los valores determinados con el modelo, se muestra en la figura 8.2

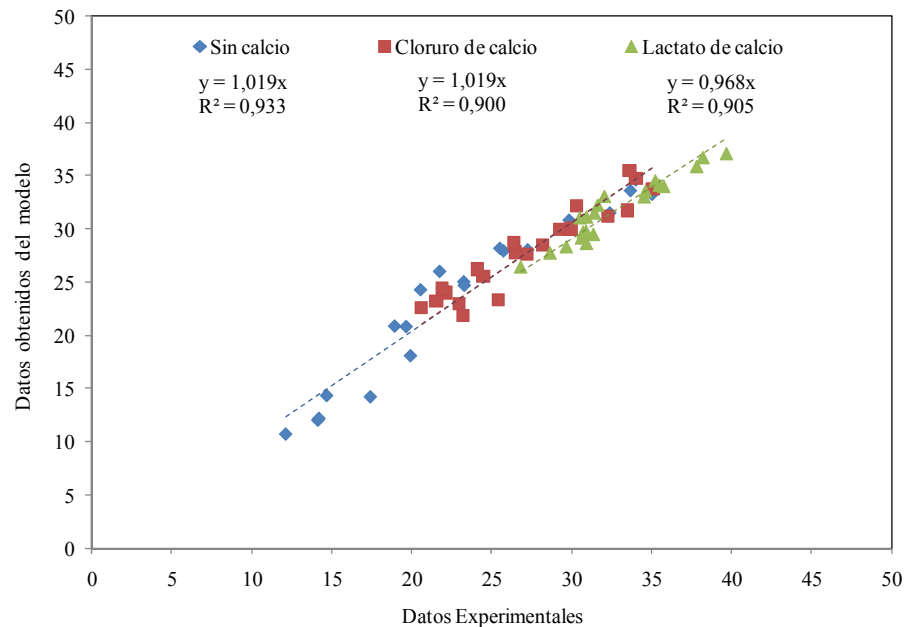


Figura 8.2 Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales

El ajuste entre los valores experimentales frente a los valores determinados con el modelo, evidencian una correlación mayor de 0,9 para todos los casos. Ello apunta a que los cambios a nivel mecánico-estructural se explican en función de los cambios morfométricos a nivel celular.

Conclusión.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede inferir que la aplicación de calcio tiene un efecto positivo en la estabilidad del tejido, siendo la mejor fuente de calcio, el lactato con el cual se logró extender la vida útil del melón fresco pre-cortado por 14 días de almacenamiento a 5°C, resultando una buena alternativa de procesamiento frente al proceso convencional.

Asimismo, se determinó que existe una correlación entre los parámetros morfométricos y físicos, que permitieron determinar los cambios en la firmeza del tejido celular a través de los parámetros de tamaño: área y forma celular: elongación y factor de forma.

Referencias.

- Aguayo, E., Escalona, V. H., & Artés, F. (2008). Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 397-406.
- Alandes, L., Hernando, I., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Lluch, M. A. (2006). Cell Wall Stability of Fresh-Cut Fuji Apples Treated with Calcium Lactate. *Journal of Food Science*, 71(9), S615-S620.
- Alandes, L., Pérez-Munuera, I., Llorca, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2009). Use of calcium lactate to improve structure of "Flor de Invierno" fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 145-151.
- Dana, W., & Ivo, W. (2008). Computer image analysis of seed shape and seed color for flax cultivar description. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(2), 126-135.
- Lamikanra, O., Bett-Garber, K. L., Ingram, D. A., & Watson, M. A. (2005). Use of Mild Heat Pretreatment for Quality Retention of Fresh-cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 70(1), C53-C57.
- Lin, D., Leonard, S., Lederer, C., Raber, M., & Zhao, Y. (2006). Retention of fortified vitamin E and sensory quality of fresh-cut pears by vacuum impregnation with honey. *Journal of Food Science*, 71, 553 - 559.
- Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G., & Mignani, I. (2007). The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, 100(4), 1385-1392.
- Martín-Diana, A. B., Rico, D., Frías, J. M., Barat, J. M., Henahan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(4), 210-218.
- Mayor, L., Pissarra, J., & Sereno, A. M. (2008). Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 326-339.
- Medina, W., Skurtys, O., & Aguilera, J. M. (2010). Study on image analysis application for identification Quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) geographical provenance. *LWT - Food Science and Technology*, 43(2), 238-246.
- Oey, M. L., Vanstreels, E., De Baerdemaeker, J., Tijssens, E., Ramon, H., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolai, B. (2007). Effect of turgor on micromechanical and structural properties of apple tissue: A quantitative analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 240-247.

- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Barat, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1196-1206.
- Rojas, A. M., Castro, M. A., Alzamora, S. M., & Gerschenson, L. N. (2001). Turgor Pressure Effects on Textural Behavior of Honeydew Melon. *Journal of Food Science*, 66(1), 111-117.
- Saftner, R. A., Bai, J., Abbott, J. A., & Lee, Y. S. (2003). Sanitary dips with calcium propionate, calcium chloride, or a calcium amino acid chelate maintain quality and shelf stability of fresh-cut honeydew chunks. *Postharvest Biology and Technology*, 29(3), 257-269.
- Salinas-Hernández, R., Pirovani, M., Gardea-Béjar, A., & González-Aguilar, G. (2010). Cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de mango fresco cortado *Revista Fitotecnica Mexicana*, 33(3), 215 - 223.
- Sila, D. N., Smout, C., Vu, T. S., & Hendrickx, M. E. (2004). Effects of High-Pressure Pretreatment and Calcium Soaking on the Texture Degradation Kinetics of Carrots during Thermal Processing. *Journal of Food Science*, 69(5), E205-E211.
- Trejo Araya, X. I., Hendrickx, M., Verlinden, B. E., Van Buggenhout, S., Smale, N. J., Stewart, C., & John Mawson, A. (2007). Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: A microstructural and biochemical approach. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 873-884.
- Varela, P., Aguilera, J. M., & Fiszman, S. (2008). Quantification of fracture properties and microstructural features of roasted Marcona almonds by image analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1), 10-17.

9. CONCLUSIONES.

Cómo respuesta a los objetivos propuestos en la investigación y en concordancia con los resultados encontrados en la evaluación del efecto del calcio en la estabilidad del tejido de melón fresco pre-cortado, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se estandarizó y validó la metodología para la evaluación de los atributos morfométricos de forma y tamaño de las células del tejido de melón fresco precortado empleando el análisis de imágenes.
2. El efecto de la aplicación de baños cálcicos con lactato, cloruro y propionato de calcio evaluado a través de los atributos físicos y morfométricos, indican efectos positivos relacionados con la preservación de la estructura del tejido vegetal por efecto de la activación de la pectil metil esterasa, que libera ácidos que interactúan con el calcio, permitiendo la estabilización de la pared celular.
3. Las muestras tratadas con propionato de calcio y la muestra control presentan una disminución significativa en el factor de forma respecto de la muestra patrón en un 10 y un 25% respectivamente. Este aspecto está relacionado con un incremento en el área celular del 38% para el tratamiento con propionato y del 51% para el tratamiento sin calcio. Igualmente, estos cambios se relacionan con la reducción en la firmeza del tejido en un 22% y un 16% para el tratamiento sin calcio y con propionato, respectivamente.
4. De acuerdo con los resultados de la aplicación de baños cálcicos, se determinó que los tratamientos con lactato y cloruro de calcio al 1% durante 3 minutos a una temperatura de 60°C podrían ser empleados como alternativa de tratamiento para extender la vida útil de melón precortado, debido a sus efectos positivos en términos de firmeza, cambios morfométricos y de calidad sensorial.
5. Durante el tiempo del almacenamiento de las muestras tratadas con baños cálcicos, se encontró una correlación lineal múltiple entre la firmeza y los atributos morfométricos, lo que permitió describir los cambios a nivel macro a través de las fluctuaciones en el tamaño y forma celular.
6. La aplicación de calcio tiene un efecto positivo en la estabilidad del tejido, siendo la mejor fuente de calcio el lactato, el cual permitió extender la vida útil del melón fresco pre-cortado en 9 días, siendo una buena alternativa de procesamiento frente al proceso convencional

7. Este estudio permitió abordar desde una perspectiva diferente la evaluación de los efectos de la aplicación de baños cálcicos, al analizar los cambios morfométricos a nivel celular a través del análisis de imágenes y lograr correlacionarlos con los cambios a nivel macroscópico.
8. La apropiación del conocimiento logrados de este trabajo se evidencian en la presentación de dos ponencias en los encuentros: ENID 2010 y ENEIQ 2011, la aprobación para participar con poster en el congreso CIBIA 2011, y el sometimiento de un artículo en la Revista Mexicana de Ingeniería Química.

10. RECOMENDACIONES.

En este capítulo se presentan algunas alternativas que podrían ser exploradas para futuras investigaciones.

1. Establecer si la aplicación de la evaluación de otros descriptores morfométricos como la regularidad podrían contribuir al seguimiento de los cambios a nivel celular y su relación con la firmeza del tejido.
2. La determinación de la firmeza a nivel micro para poder determinar el efecto de las variables de la lámina media y pared celular empleando tecnología más final como microscopia de fuerza atómica y poder correlacionar su efecto con los cambios a nivel celular.
3. Evaluar el mecanismo de ingreso del calcio en la pared celular, la ubicación del calcio después del tratamiento y el efecto que presenta en la dinámica celular respecto de la interacción con las pectinas.
4. Evaluar si el comportamiento presentando por el calcio en la variedad de melón cantaloupe y la correlación entre los cambios micro y macro estructurales son replicables en otras variedades.

11. ANEXOS.

**ANEXO 1. Artículo publicado en memorias encuentro ENID 2010
ISBN 978-958-719-571.**

Efecto de la aplicación de tratamiento térmico suave combinado con calcio sobre la firmeza y la microestructura de melón fresco precortado (*Cucumis melo*)

Casas Forero, Nidia, Caez Ramírez, Gabriela

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación de un tratamiento térmico suave (50 y 60°C) en combinación con dos fuentes de calcio (cloruro y propionato de calcio) en la firmeza y microestructura de melón cantaloupe fresco precortado. Se evaluó los parámetros morfométricos de las células del tejido a través de análisis de imágenes y los cambios en la firmeza utilizando un analizador de textura TAXT2. La aplicación de los tratamientos produce una reducción en los parámetros morfométricos de perímetro y factor de forma de las células, manteniéndose el área constante. En relación a la firmeza, al aumentar la concentración de calcio este permite reducir el ablandamiento del tejido, debido a la estabilización de la membrana. Al comparar las dos fuentes de calcio, el cloruro presenta un menor efecto sobre la morfología de la célula la cual se correlaciona con una menor pérdida de la firmeza.

Palabras Clave— Calcio, características morfométricas, melón, textura.

I. INTRODUCCIÓN

Los productos frescos pre cortados constituyen un segmento de la industria alimentaria demandados por un mercado en crecimiento, debido a que el consumidor actual busca productos con valor agregado, listo para su consumo, sensorialmente agradables y seguros. Sin embargo, las frutas frescas precortadas como el melón tienen una vida útil corta y son muy susceptibles a la pérdida de firmeza, debido a cambios bioquímicos y enzimáticos asociados a las condiciones del proceso que influyen en sus atributos visuales. Actualmente, para lo cual se está trabajando en la aplicación de técnicas de conservación que buscan mantener el equilibrio dinámico del sistema producto – entorno con el fin de incrementar la calidad del producto, reduciendo la pérdida de la firmeza [1]. Adicionalmente, se están empleado tratamientos

como: la incorporación de antioxidantes y calcio para la reducción de pardeamiento y cambios de textura [2-3], y la aplicación de tratamientos térmicos para activar enzimas como la pectinmetilesterasa que favorecen la incorporación del calcio en la pared celular [4-6].

Los iones de calcio juegan un papel importante en la estabilidad de las membranas celulares y retención de la firmeza, debido a su capacidad para servir como puente entre las sustancias pécticas de la pared celular y la lamela media, formándose pectato cálcico que aporta estructura al tejido y por tanto, previene el ablandamiento. Además, el calcio contribuye en la reducción de pérdida de agua y el consecuente aumento en la turgencia celular durante el almacenamiento [3], [7] y [8]. De acuerdo con Luna-Guzman et al. [9], la aplicación del calcio combinado con tratamientos térmicos leves favorece la activación de la enzima pectinmetilesterasa, demetilando las pectinas de la pared celular, lo que permite la unión del Ca^{2+} endógeno o exógeno con los grupos carboxílicos libres de los polímeros de pectinas existentes, estabilizando la pared celular. Además, el tratamiento térmico permite minimizar la actividad del etileno reduciendo la tasa de respiración, la pérdida de humedad durante el almacenamiento, y favorece su estabilidad microbiológica.

La evaluación sensorial realizada a productos tratados por inmersión en agua a 60°C, indican que la aplicación de este tipo de tratamiento permite intensificar los atributos organolépticos deseables como el sabor y aroma dulce característico en frutos como el melón [10]. Varios autores han reportado efectos positivos de la aplicación de calcio combinado con tratamientos térmicos suaves para extender la estabilidad de la firmeza de los tejidos en productos como: melón [8], [10] y [11], zanahorias [12], duraznos [13] y manzanas [14].

Los cambios microestructurales son el principal factor relacionado con propiedades de textura como la turgencia e integridad de la pared celular [16]. Muchos de los cambios que se observan a nivel macroscópico, son causados por cambios que ocurren a nivel microestructural y celular. La morfología celular cambia durante la aplicación de procesos como la deshidratación osmótica y tratamientos térmicos,

Primer Autor: nidia.casas@unisabana.edu.co, Estudiante de Maestría en Diseño y Gestión de Procesos – Facultad de Ingeniería, Universidad de La Sabana.

Segundo Autor: gabriela.caez@unisabana.edu.co, Docente e Investigadora Facultad de Ingeniería, Universidad de La Sabana.

constituyéndose en un importante atributo que cuantificado permitiría entender y predecir los cambios que ocurren en las propiedades físicas y bioquímicas relacionadas con los cambios estructurales [15]. El encogimiento celular es uno de los fenómenos que ha mostrado correlación con cambios estructurales en productos como manzana [17], uvas [18] y calabaza [15]. Para determinación de estos cambios a nivel celular se emplean parámetros geométricos como: área, perímetro, redondez, elongación, compactación, factor de forma, los cuales se obtienen a través del análisis de imágenes digitales del corte del tejido vegetal [15].

El objetivo de este estudio fue evaluar el cambio en la firmeza y en la microestructura del tejido melón fresco precortado por efecto de la aplicación de tratamiento térmico suave combinado con dos fuentes de calcio.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales: Melón cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud) grado de maduración 3 (NTC 5207) obtenido del mercado local procedente de la región del Valle del Cauca, fue almacenado a 4°C hasta su uso. Los melones enteros fueron lavados y desinfectados. La fruta se cortó en sentido longitudinal en dos mitades, siendo removidas manualmente la cascara y las semillas. Luego se obtuvieron cilindros de radio 12 ± 2 mm y 5 mm de espesor con un peso aproximado de $5 \pm 0,5$ g.

Tratamiento: Los cilindros de melón fueron sometidos a inmersión en soluciones de cloruro de calcio y propionato de calcio a dos concentraciones: 0,5 y 1% durante 2 y 3 min a 50 y 60°C. Como muestras control se emplearon cilindros de melón sumergidos en agua destilada durante 2 y 3 min a 50 y 60°C. Una vez terminado el tratamiento se retiró el exceso de solución.

Métodos.

Análisis de microestructura.

Para el análisis del tejido vegetal, las muestras fueron obtenidas haciendo un corte en paralelo a la base del cilindro de melón (figura 1). Las muestras del tejido obtenidas fueron ubicadas en un portaobjetos. Para observar la estructura de las células se realizó una tinción del tejido con una solución de azul de metileno 0,1% durante 15 seg, después las muestras fueron lavadas con agua destilada, para remover el exceso del colorante. Las observaciones se realizaron en campo claro en un microscopio óptico Nikon, utilizando el objetivo 10X; una vez seleccionado el campo de interés, se realizó la captura de la imagen con una cámara digital Nikon D70.

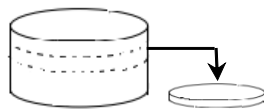


Fig 1. Preparación de la muestra para observación microscópica.

Para la determinación de los parámetros morfométricos, se realizó un proceso de estandarización de la imagen, a través del programa Corel PhotoPaint V11® (Corel Co., USA), para binarizar y ajustar la relación brillo/contraste/intensidad. Con la imagen estandarizada, se realizó la medición de las características morfométricas: área, perímetro, diámetro de Feret y factor de forma empleando el software Image J®

Firmeza.

Después de dos horas de aplicado el tratamiento, se determinó la firmeza como la fuerza máxima de penetración de una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro y base plana (P5), empleando un texturometro TA-TX2® (Stable Micro Systems LTD. Surrey, Inglaterra) con las siguientes condiciones: velocidad pre-ensayo: 2mm/s, velocidad de ensayo: 1mm/s, velocidad post-ensayo: 10mm/s y con una distancia: 3,5 mm. Se realizó la medición a cinco muestras de melón por tratamiento y los valores fueron reportados como media \pm desviación.

Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron por triplicado y los datos obtenidos se expresaron en términos de media \pm desviación estándar. Los valores promedios fueron comparados con una prueba de significancia ANOVA (análisis de la varianza) con un $P < 0,05$, empleando el software de Minitab® version 15.

II. RESULTADOS

A. Análisis de microestructura de melón fresco

Las células del tejido de melón fresco presentan en promedio tres diferentes formas: redondas, elongadas y poligonales. Un comportamiento similar muestran las células de Calabaza [15], fruta que pertenece a la familia de las Cucurbitaceae, de la cual también hace parte el melón.

A partir de las imágenes obtenidas del tejido, se calcularon las características morfométricas relacionadas con parámetros de forma y tamaño, los cuales se muestran en la tabla 1. Las células del melón fresco presentaron valores de $0,015 \text{ mm}^2$ para el área, datos muy similares fueron reportados en otras frutas como el calabaza [15] y la manzana [17], sin embargo al comparar con los valores obtenidos con otros productos de los cuales hay reportes como ciruela [19] y papa [20], el melón presenta mayores valores de área. En relación al perímetro se reportan valores de 0,469 para calabaza [15], el cual es menor al encontrado en melón (0,754).

El factor de forma indica que tanto un objeto se circunscribe a un círculo, es decir que valores menores a 1, indican que las células son un poco irregulares, lo cual puede estar relacionado con la pérdida de frescura del tejido y por ende en la detrimento de calidad del producto. El factor de forma encontrado para las muestras de melón fresco fue de 0,82, el cual es similar a los valores reportados para calabaza – 0,83 [15] y manzana – 0,83 [17], y mayor al reportado para zanahorias – 0,75 [16]; estos valores indican que las células de estas frutas presentan un grado de irregularidad.

A. Análisis de micro estructura de muestras de melón tratado

En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros morfométricos evaluados. El análisis estadístico indica que la aplicación de los tratamientos de calcio combinado con el tratamiento térmico suave, no tiene efecto significativo ($p < 0,05$) en el área de las células del tejido vegetal, pero si en el perímetro, presentándose los mayores cambios en las muestras tratadas a una temperatura de 50°C . De acuerdo con lo reportado por Rico et al. [12], la difusión del calcio en el tejido se ve favorecida con el incremento de la temperatura de la aplicación del tratamiento, debido a que favorece la habilidad de las células para retener agua y activar la enzima pectilmetilesterasa, razón por la cual se podría explicar porque los menores cambios se presentan en las muestras tratadas a 60°C .

Tabla 1. Parámetros morfométricos de las muestras de melón fresco y tratado.

Fuente de Calcio	Conc (%)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Tiempo (min)	Area (mm^2)	Perimetro (mm)	Diametro de Feret (mm)	Factor de forma
Fruta fresca				0,015 \pm 0,015	0,754 \pm 0,155	0,166 \pm 0,011	0,823 \pm 0,166
Sin Calcio	0	50	2	0,017 \pm 0,010	0,777 \pm 0,176	0,173 \pm 0,028	0,793 \pm 0,133
		50	3	0,022 \pm 0,009	0,920 \pm 0,163	0,215 \pm 0,014	0,669 \pm 0,133
		60	2	0,014 \pm 0,009	0,711 \pm 0,157	0,162 \pm 0,018	0,744 \pm 0,155
		60	3	0,015 \pm 0,003	0,738 \pm 0,154	0,162 \pm 0,014	0,779 \pm 0,187
Cloruro de Calcio	0,5	50	2	0,013 \pm 0,016	0,694 \pm 0,108	0,154 \pm 0,016	0,771 \pm 0,167
		50	3	0,016 \pm 0,014	0,684 \pm 0,126	0,178 \pm 0,017	0,698 \pm 0,176
		60	2	0,016 \pm 0,005	0,768 \pm 0,127	0,162 \pm 0,012	0,853 \pm 0,167
		60	3	0,010 \pm 0,015	0,707 \pm 0,192	0,108 \pm 0,018	0,800 \pm 0,183
	1	50	2	0,012 \pm 0,012	0,597 \pm 0,147	0,045 \pm 0,012	0,842 \pm 0,133
		50	3	0,010 \pm 0,016	0,601 \pm 0,178	0,131 \pm 0,025	0,828 \pm 0,133
		60	2	0,017 \pm 0,013	0,787 \pm 0,163	0,173 \pm 0,018	0,838 \pm 0,152
		60	3	0,015 \pm 0,016	0,754 \pm 0,179	0,157 \pm 0,018	0,897 \pm 0,121
Propionato de Calcio	0,5	50	2	0,016 \pm 0,014	0,664 \pm 0,105	0,171 \pm 0,017	0,772 \pm 0,167
		50	3	0,010 \pm 0,018	0,590 \pm 0,102	0,045 \pm 0,015	0,755 \pm 0,187
		60	2	0,016 \pm 0,019	0,766 \pm 0,151	0,170 \pm 0,010	0,814 \pm 0,132
		60	3	0,019 \pm 0,013	0,822 \pm 0,154	0,181 \pm 0,016	0,793 \pm 0,132
	1	50	2	0,018 \pm 0,016	0,707 \pm 0,131	0,177 \pm 0,015	0,805 \pm 0,198
		50	3	0,015 \pm 0,017	0,645 \pm 0,114	0,166 \pm 0,013	0,788 \pm 0,105
		60	2	0,010 \pm 0,018	0,715 \pm 0,178	0,135 \pm 0,019	0,796 \pm 0,167
		60	3	0,014 \pm 0,016	0,723 \pm 0,143	0,160 \pm 0,013	0,792 \pm 0,112

En relación a los resultados obtenidos frente al factor de forma, estos indican que hay un cambio significativo ($p < 0,05$),

por efecto de la aplicación del calcio, presentándose las mayores variaciones para el tratamiento con propionato de calcio, muestras en las cuales, el valor de redondez disminuye haciendo que las muestras presenten una forma irregular. De acuerdo con Rico et al. [12], la pérdida de redondez puede ser resultado de la pérdida de turgor celular debido a una alta pérdida de agua causada por el estrés celular producido por el tratamiento.

En la figura 2, se presentan imágenes de las células del tejido de melón fresco y tratado. La figura 2(a), muestra las células del tejido fresco, las cuales presentan una forma irregular con un factor de forma de 0,82. En relación a las muestras tratadas, estas presentan un alargamiento y un cambio en la forma de la célula, presentándose las mayores variaciones en las muestras tratadas con propionato de calcio (figura 2b) frente a las muestras tratadas con cloruro de calcio, las cuales mantiene la forma presentada en la fruta fresca (figura 2c).

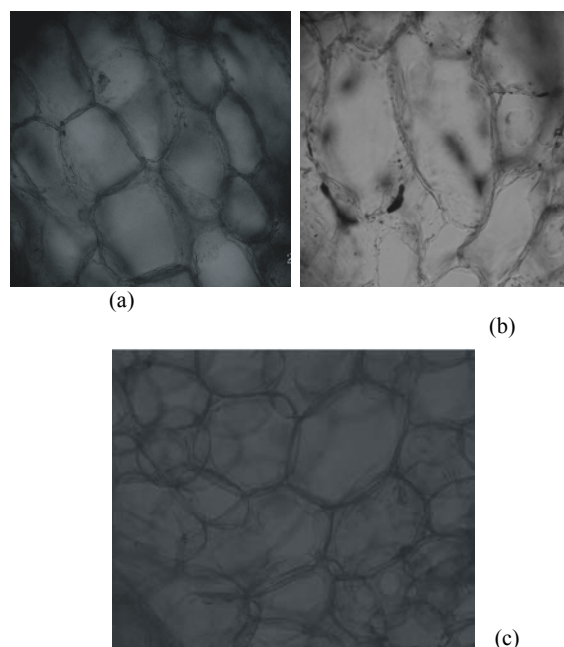


Fig 2. Imágenes del tejido de melón: fresco (a), y tratado con propionato al 0,5%, 50°C y 3 minutos (b) y CaCl_2 al 1%, 60°C y 2 minutos (c).

B. Análisis de textura

En la figura 3, se muestra el comportamiento de la firmeza de las muestras de melón fresco y después de ser sometidos a los diferentes tratamientos. Como se observa en la figura 2a, la firmeza del tejido se ve afectada por la aplicación de un tratamiento térmico a 50 y 60°C , presentándose una reducción en el valor de la firmeza de 21,9% y 33,8% aproximadamente para los tratamientos a 50 y 60°C respectivamente.

comportamiento similar se presenta para el tratamiento con propionato de calcio (figura 2c), sin embargo con esta fuente de calcio se presenta una pérdida de firmeza estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en comparación con la muestra fresca.

El efecto positivo que tiene el tratamiento a 60°C, puede ser debido a que a esta temperatura se logra la energía suficiente para generar la activación de la pectilmetilesterasa sobre la pectina y los puentes de calcio, provocando la demetilación de la pectina, lo cual permite la generación de puentes de calcio que reducen el ablandamiento del tejido [21]. Asimismo Fenema [22], explica que a temperaturas entre 60 y 70°C algunos vegetales liberan calcio, el cual se difunde entre la pared celular y lamela media facilitando su interacción y por tanto conlleva a mejorar la textura.

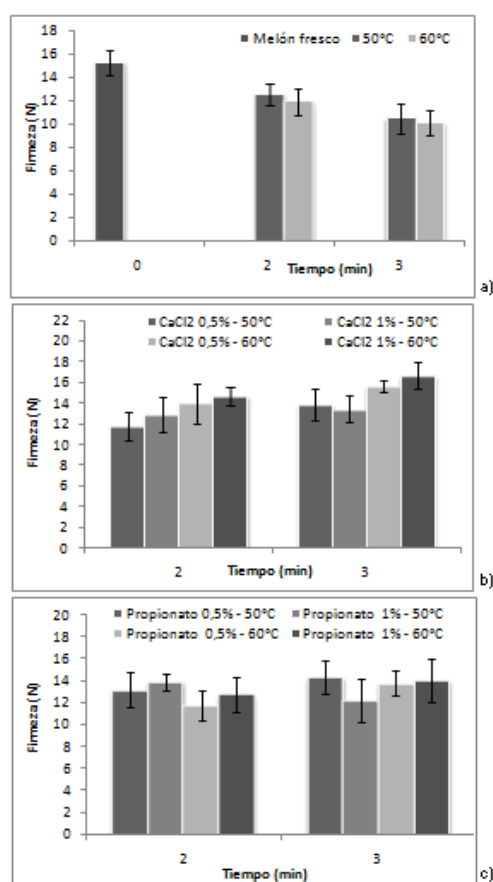


Fig 2. Firmeza en función del tiempo de aplicación de tratamiento.

I. CONCLUSIONES

De acuerdo con la evaluación de los parámetros morfométricos, se determinó que la aplicación de propionato de calcio reduce el factor de forma hasta en un 5% y el cloruro de calcio en un 10% el perímetro. En relación al efecto del calcio, se encontró que al aumentar la concentración de calcio

mejora la firmeza y la resistencia al ablandamiento hasta un 5%, debido a la estabilización de la membrana. Al comparar las dos fuentes de calcio, el propionato tiene menos efecto sobre la degradación de la pared celular y la contracción de la célula, sin embargo presenta un mayor deterioro de la firmeza del tejido. De acuerdo con los resultados, el tratamiento con cloruro de calcio al 1% a una temperatura de 60°C durante 2 minutos es el que mantiene mejor las características de morfología celular y la firmeza del melón fresco pre-cortado, lo que podría influir en la estabilidad del producto durante el almacenamiento.

REFERENCIAS

- [1] Soliva-Fortuny, R. C., Martín-Belloso, O. 2003. Microbiological and biochemical changes in minimally processed fresh-cut Conference pears European Food Research and Technology. 217: 4 - 9.
- [2] Soliva-Fortuny, R.C., Grigelmo-Miguel, N., Odriozola-Serrano, I., Gorinstein, S., Martín-Belloso, O. 2001. Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected by modified atmosphere packaging. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 3685 - 3690.
- [3] Lamikanra O., Watson M. 2004. Effect of Calcium Treatment Temperature on Fresh-cut Cantaloupe Melon during Storage. Journal of Food Science. 69: 468 - 473.
- [4] Fan X., Annou B.A., Beaulieu J.C. Sites J.E. 2008. Effect of Hot Water Surface Pasteurization of Whole Fruit on Shelf Life and Quality of Fresh-Cut Cantaloupe. Journal of Food Science. 73: 91 - 98.
- [5] Koukounaras A., Diamantidis G., Sfakiotakis E. 2008. The effect of heat treatment on quality retention of fresh-cut peach. Postharvest Biology and Technology. 48: 30 - 36.
- [6] Quiles, A., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Lluch, M. 2006. Effect of calcium propionate on the microstructure and pectin methylesterase activity in the parenchyma of fresh-cut Fuji apples. Journal of the Science of Food and Agriculture. 87: 511 - 519.
- [7] Oms-Oliua, G., Rojas-Graña, M.A. Alandes, L., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M., Pérez, I., Fiszman S., Martín-Belloso, O. 2010. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. Postharvest Biology and Technology. 57: 139 - 148.
- [8] Aguayo E., Escalona V., Artés F. 2008. Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. Postharvest Biology and Technology. 47: 397 - 406.
- [9] Luna-Guzman I, Cantwell M, Barrett DM. 1999. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl2 dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. Postharvest Biology Technology. 17: 201 - 213.
- [10] Lamikanra, O., Bett-Garber, K. L., Ingram, D. A., & Watson, M. A. 2005. Use of mild heat pre-treatment for quality retention of freshcut cantaloupe melon. Journal of Food Science. 69: C53-C57.
- [11] Lamikanra O., Watson M. 2007. Mild heat and calcium treatment effects on fresh-cut cantaloupe melon during storage. Food Chemistry. 102: 1383-1388.
- [12] Rico, D., Martín-Diana, A. B., Henehan, G. T. M., Frias, J., Barat, J. M., & Barry-Ryan, C. 2007. Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. Journal of Food Engineering. 79: 1196 - 1206.
- [13] Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G., & Mignani, I. 2007. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. Food Chemistry. 4: 1385 - 1392.
- [14] Anino, S. V., Salvatori, D. M., & Alzamora, S. M. 2006. Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. Food Research International. 39: 154 - 164.
- [15] Mayor, L., Pizarra, J., Serno, A.M. 2008. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. Journal of Food Engineering. 85: 326 - 339.
- [16] Trejo, X., Hendrickx, M., Verlinden, B., Van Buggenhout S., Smale N., Stewart, C., Mawson, A. 2007. Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: a microstructural and biochemical approach. Journal of Food Engineering. 80: 873 - 884.

- [1] Lewicki, P., Porzecka-Pawlak R. 2005. Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering*. 66: 43 - 50.
- [2] Ramos I, Silva, C., Sernao, A., Aguilera . J. 2004 Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. *Journal of Food Engineering*. 62: 159 - 164.
- [3] Nunes, C., Santos, C., Pinto, G., Silva S., Lopes-da-Silva, J., Saraiva J., Coimbra, M. 2009. Effects of ripening on microstructure and texture of "Ameixa d'Elvas" candied plums. *Food Chemistry*. 115: 1094 - 1101.
- [4] Zdunek, A., Umeda, M. 2005. Influence of cell size and cell wall volume fraction on failure properties of potato and carrots tissue. *Journal of food texture*. 36: 25 - 43.
- [5] Sila, D., Smout, C., Vu, S., Hendrickx, M. 2004. Effects of high pressure pretreatment and calcium soaking on the texture degradation kinetics of carrots during thermal processing. *Journal of Food Science*. 69: E205 - E211.
- [6] Fenema, O. *Food Chemistry*. Wisconsin : Marcel Dekker Inc., 1996.

ANEXO 2. Certificado de participación en ponencia encuentro ENID 2010

**ANEXO 3. Artículo publicado en memorias encuentro ENEIQ 2011
ISBN 978-958-719-892-8.**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO BAJO TRATAMIENTO TÉRMICO
SUAVE SOBRE LA ESTABILIDAD DEL TEJIDO DE MELÓN CANTALOPE
(*Cucumis melo* L.) FRESCO PRECORTADO.**

Nidia Casas¹, Gabriela Caez²

¹ Maestría en Diseño y Gestión de Procesos. Facultad de Ingeniería. Universidad de La Sabana.
nidia.casas@unisabana.edu.co

² Doctorado en Biociencias. Facultad de Ingeniería. Universidad de La Sabana.
gabriela.caez@unisabana.edu.co

RESUMEN

El melón fresco precortado tiene una vida útil corta y es susceptible a la pérdida de firmeza, debido a cambios bioquímicos y enzimáticos asociados a las condiciones del proceso. Una estrategia empleada para reducir esta pérdida es la aplicación de tratamientos térmicos suaves combinados con calcio. Se propuso evaluar el efecto de la aplicación lactato y propionato de calcio al 0,5 y 1% a 60°C por 1, 2 y 3 minutos, en la firmeza y la estructura celular del melón (*Cucumis melo* L) cantaloupe fresco precortado frente a una muestra sin tratamiento. Se emplearon cilindros de radio 12±2 mm y 5 mm de espesor con peso de 5+0,5 g. Se evaluó; la firmeza como fuerza máxima de penetración empleando un texturómetro TA-TX2® y un aditamento de 5mm de diámetro; el cambio a nivel celular como área y factor de forma por análisis de imágenes utilizando microscopio triocular de contraste de fases con la cámara Nikon® DSFi1 y procesando con software ImageJ®. La aplicación de calcio tiene efecto significativo frente a los atributos evaluados. En relación a los parámetros morfométricos, se determinó que el propionato incrementa en 10% el área celular y reduce en 5% el factor de forma frente al control, mientras para el lactato la variación es del 5 y 3% respectivamente. En relación al efecto de la concentración de calcio, se encontró que su incremento mejora la resistencia al ablandamiento hasta en un 5%, debido a la estabilización de la pared celular. La aplicación de lactato al 1% por 3 minutos dentro de un esquema de mínimo procesamiento, permite mantener las características del tejido del melón fresco precortado. Los hallazgos permitirían una aplicación industrial accesible que podría ayudar a mantener la estabilidad del producto durante el almacenamiento.

Palabras clave: Análisis de imágenes (image analysis), calcio (calcium), cambios morfométricos (morphometrics changes), melón fresco precortado (fresh-cut melón), textura (texture).

INTRODUCCIÓN

Los productos frescos precortados incluidos el melón (*Cucumis melo L*) constituyen un segmento de la industria alimentaria demandados por un mercado en crecimiento, el cual busca productos con valor agregado, listo para su consumo, sensorialmente agradables y seguros. Sin embargo, estos productos tienen una vida útil corta debido al estrés fisiológico y al daño en el tejido causado por las operaciones de procesamiento que influyen directamente en las características físicas, químicas, sensoriales y estructurales del producto final (Toivonen & Brummell, 2008).

Se han aplicado técnicas de conservación que buscan mantener el equilibrio dinámico del sistema producto – entorno, a fin de incrementar y/o mantener la calidad del producto por más tiempo (Soliva-Fortuny et al., 2003), dentro de las cuales cabe destacar el empleo de tratamientos como: la incorporación de calcio para la reducción de pardeamiento y cambios de textura (Akhtar & Hussain, 2010; Alandes et al., 2006; Anino et al., 2006; Cybulska et al., 2011; Chardonnet, Charron, Sams & Conway, 2003; Hernández-Muñoz et al., 2006; Saftner et al., 2003), la aplicación de tratamientos térmicos que permiten la reducción de carga microbiana e intensificación los atributos organolépticos deseables como el sabor y aroma dulce característico en frutos como el melón (Annous, Burke & Sites, 2004; Fan et al., 2008; Koukounaras, Diamantidis & Sfakiotakis, 2008; Lamikanra et al., 2005; Solomon, Huang, Sites & Annous, 2006; Ukuku, Pilizota & Sapers, 2004), y la combinación de tratamientos térmicos con calcio, para activar enzimas como la pectimetilestereasa que favorecen la incorporación del calcio en la pared celular en melón junto con las bondades propias de las dos técnicas (Aguayo et al., 2008; Beirão-da-Costa et al., 2008; Bett-Garber et al., 2010; Lamikanra et al., 2004; Lamikanra et al., 2007; Luna-Guzmán et al., 2000; Luna-Guzman et al., 1999; Rico et al., 2007; Saftner et al., 2003)

Los iones de calcio juegan un papel importante en la estabilidad de las membranas celulares y retención de la firmeza, debido a su capacidad para servir como puente entre las sustancias pécticas de la pared celular y la lamela media, formándose pectato cálcico que aporta estructura al tejido y por tanto, previene el ablandamiento. Al combinar la incorporación de calcio con un tratamientos térmicos favorece la activación de la enzima pectinmetilesterasa, lo que permite la unión del Ca^{2+} endógeno o exógeno con los grupos carboxílicos libres de los polímeros de pectinas existentes, estabilicen la pared celular (Luna-Guzman et al., 1999). Asimismo el tratamiento térmico permite minimizar la

actividad del etileno reduciendo la tasa de respiración y favorece su estabilidad microbiológica, y por su lado el calcio contribuye en la reducción de pérdida de agua y el consecuente aumento en la turgencia celular durante el almacenamiento (Lamikanra et al., 2004).

Dentro de las fuentes de calcio que se emplean para mantener la vida útil de frutas y vegetales, se destacan, el carbonato de calcio y el citrato de calcio, por su aporte nutricional (Martín-Diana et al., 2007). Otras formas de calcio como preservantes y mejoradores de textura son lactato de calcio, cloruro de calcio, fosfato de calcio, propionato de calcio y gluconato de calcio (Luna-Guzmán et al., 2000; Manganaris et al., 2007). El uso del cloruro de calcio está asociado cambios en las características de sabor debido a la presencia residual de sal en la superficie del producto. El lactato y el propionato han mostrado mejores beneficios que el cloruro en relación a la estabilización del tejido manteniendo la textura sin cambio en las características de sabor (Martín-Diana et al., 2007).

El ablandamiento de los productos se da por cambios en la cantidad y la naturaleza de la pared celular, lamina media y polisacáridos, disminuyendo el grado de unión intermolecular entre los polímeros de la pared celular. Por lo tanto, la rigidez, resistencia, tamaño y forma de las paredes celulares, lámina media, tejidos fibrosos y presión de turgencia contribuyen en gran medida a la firmeza y rigidez del tejido (Varela et al., 2007).

Los cambios microestructurales son el principal factor relacionado con propiedades de textura (Trejo Araya et al., 2007). Muchos de los cambios que se observan a nivel macroscópico, son causados por cambios que ocurren a nivel microestructural y celular. La morfología celular cambia durante la aplicación de procesos de transformación y/o conservación, constituyéndose en un importante atributo que cuantificado permitiría entender y predecir los cambios que ocurren en las propiedades físicas y bioquímicas relacionadas con los cambios estructurales (Mayor et al., 2008).

El encogimiento celular es uno de los fenómenos que ha mostrado correlación con cambios estructurales en productos como manzana (Lewicki et al., 2005), uvas (Ramos et al., 2004) y calabaza (Mayor et al., 2008). Para la estimación de estos cambios se emplean descriptores morfométricos, los cuales tienen la finalidad de cuantificar y describir de la manera objetiva la medición de los cambios en los objetos a medir. Dentro de estos descriptores se tiene área, perímetro, longitud máxima y mínima, diámetro de Feret, que corresponden a los parámetros de tamaño, y redondez, elongación, compactación, factor de forma, a parámetros de forma (Mayor et al., 2008).

El objetivo de este estudio fue evaluar el cambio en la firmeza y en la microestructura del tejido melón fresco precortado por efecto de la aplicación de tratamiento térmico suave combinado con dos fuentes de calcio: lactato y propionato de calcio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia prima

Melón cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud) grado de maduración 3 (NTC 5207) (NTC5207, 2004b) obtenido del mercado local procedente de la región del Valle del Cauca, fue almacenado a 4°C hasta su uso. Los melones enteros fueron lavados y desinfectados en una solución de hipoclorito de sodio de 150 mg/L (Silveira et al., 2008). La fruta se cortó en sentido longitudinal en dos mitades, siendo removidas manualmente la cáscara y las semillas. De los dos trozos se obtuvieron cilindros de radio 12 ± 2 mm por 5 mm de altura con un peso aproximado de $5\pm 0,5$ g.

2.2 Tratamiento

Las muestras de melón fueron sometidas a inmersión a 60°C en soluciones de lactato y propionato de calcio a dos concentraciones: 0,5 y 1% durante 1, 2 y 3 min a 60°C, en una relación fruta – solución 1:4. Como muestras control se emplearon cilindros de melón sumergidos en agua destilada durante 1, 2 y 3 min a 60°C. Una vez terminado el tratamiento se retiró el exceso de solución.

2.3 Análisis de textura

La firmeza fue evaluada como la fuerza máxima de penetración empleando un texturometro TATX2® (Stable Micro Systems LTD. Surrey, Inglaterra) con una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro y base plana (P5). Los parámetros de operación fueron los siguientes: velocidad pre-ensayo de: 2 mm/s, velocidad de ensayo de: 1 mm/s, velocidad post-ensayo de: 10 mm/s, con una fuerza de 90 g y una distancia de penetración de: 3,5 mm. Se realizó la medición a cinco muestras de melón por réplica de tratamiento y los valores se reportaron como media \pm desviación.

2.4 Análisis de microestructura.

Los cortes del tejido vegetal se obtuvieron haciendo un corte transversal a las muestras cilíndricas de melón. Se realizó la tinción del tejido con una solución de azul de metileno 0,1% durante 15 seg, luego se removió el exceso de colorante con agua destilada. Las observaciones se realizaron en campo claro en un microscopio triocular de contraste de fases Zeiss®, utilizando el objetivo 10X. Una vez seleccionado el campo de interés, se realizó la captura de la imagen utilizando una cámara digital Nikon® DSFi1 adaptada al

microscopio y conectada mediante una interfaz al computador. Las imágenes capturadas fueron analizadas empleando el software Image J®. Se extrajeron las formas celulares y se determinaron las características morfométricas de tamaño: área, perímetro y diámetro de Feret, y de forma: elongación, compactación y factor de forma.

2.5 Análisis estadístico.

Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento y los datos obtenidos se expresaron en términos de media \pm desviación estándar. Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza – ANOVA con un nivel de confianza del 95%, y una prueba de diferencia de medias Tukey's empleando el software de Minitab® version 16.

3. RESULTADOS

3.1 Textura

La aceptación de los productos mínimamente procesados por parte de los consumidores está relacionada con la percepción de calidad principalmente con las características de firmeza, debido a que su variación es la respuesta a procesos de degradación o cambios bioquímicos o enzimáticos del producto. El melón fresco pre-cortado presenta valores de firmeza de 36 N, valor que no cambia significativa con la aplicación del baño cálcico con lactato de calcio al 1%.

En la tabla No 1 se muestran los resultados de la evaluación de la firmeza para las muestras de melón fresco y después de ser sometidos al tratamiento con calcio. Al comparar los valores de firmeza para los cinco tratamientos se observa una pérdida del 17% para las muestras control y del 14% por las tratadas con propionato.

Tabla 1. Valores de firmeza (N) para las muestras de melón de después de la aplicación de los tratamientos con calcio.

Tiempo (min)	Sin calcio	Lactato de calcio		Propionato de calcio	
		0,5%	1%	0,5%	1%
t = 0	36,009 \pm 0,495 ^a	36,009 \pm 0,495 ^a	36,009 \pm 0,495 ^a	36,009 \pm 0,495 ^a	36,009 \pm 0,495 ^a
t = 1	31,353 \pm 1,179 ^b	32,759 \pm 0,159 ^b	34,416 \pm 1,161 ^a	29,102 \pm 1,963 ^b	30,416 \pm 0,371 ^b
t = 2	29,901 \pm 0,909 ^{bc}	33,386 \pm 0,294 ^{bc}	35,300 \pm 1,200 ^a	31,716 \pm 1,921 ^b	29,262 \pm 0,394 ^c
t = 3	27,769 \pm 0,541 ^d	34,241 \pm 1,159 ^{ac}	36,132 \pm 0,500 ^a	31,259 \pm 1,978 ^b	28,009 \pm 0,965 ^c

Los resultados se presentan como media \pm desviación de tres mediciones.

^{a, b, c}: Los valores con la misma letra en cada fila indican que no existe diferencia significativa entre las muestras para cada tratamiento (Tukey's P < 0,05).

El efecto positivo que tiene la aplicación de lactato a 60°C, puede ser debida que a esta temperatura se puede incrementar la difusión del calcio en el tejido del melón y mejorar la calidad, especialmente relacionada con el mantenimiento de la textura (Rico et al., 2007). En otras frutas se han reportado su efecto positivo en la textura cuando se emplean estas temperaturas junto con fuentes de calcio que refuerzan la actividad de la PME endógena o exógena (Aguayo et al., 2008; Lamikanra et al., 2004; Lamikanra et al., 2007; Liu et al., 2009; Luna-Guzmán et al., 2000).

3.2 Parámetros morfométricos

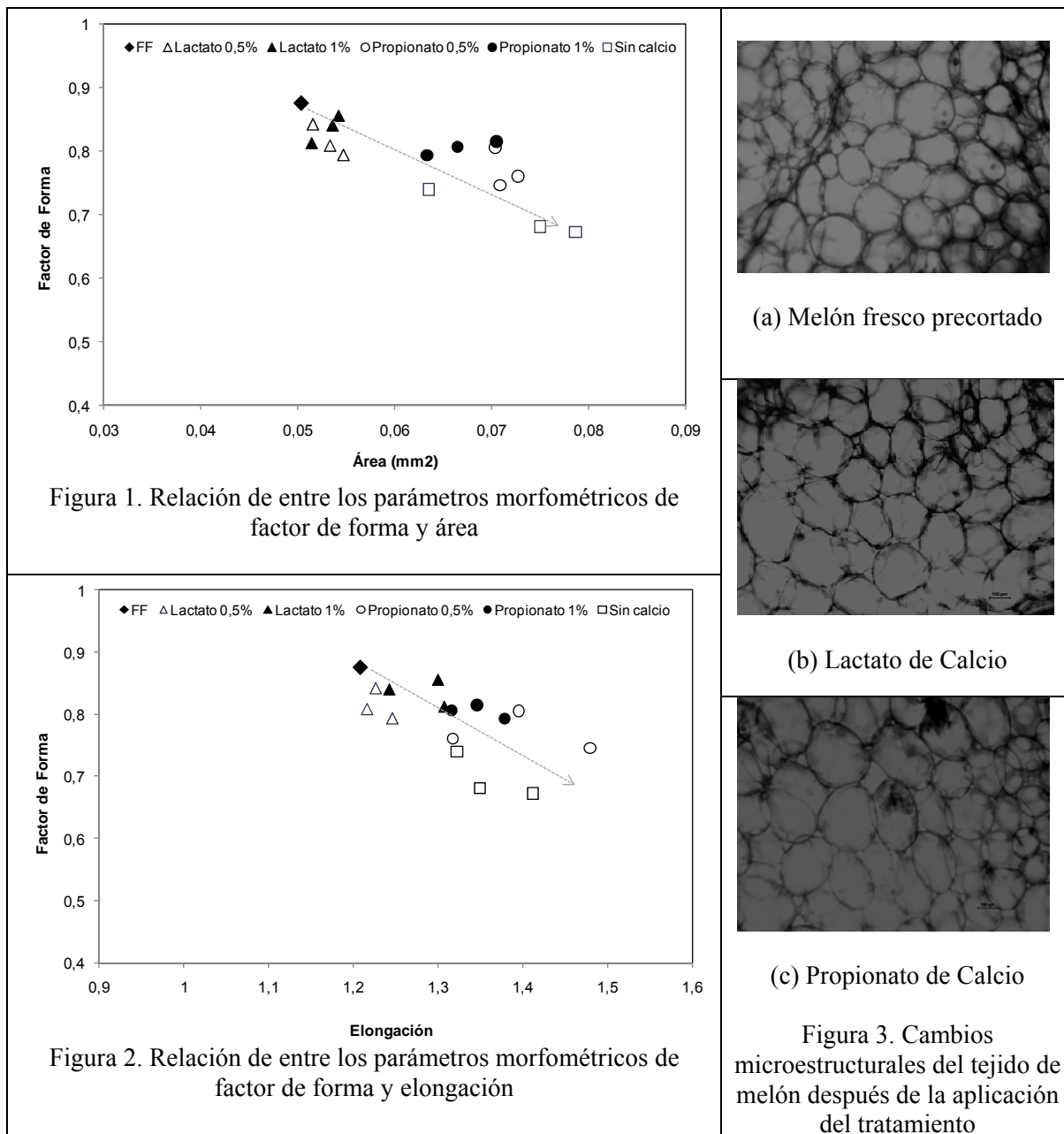
Las células del tejido de melón fresco presentan en promedio tres diferentes formas: redondas, elongadas y poligonales. Un comportamiento similar muestran las células de Calabaza (Mayor et al., 2008), fruta que pertenece a la familia de las Cucurbitaceae, de la cual también hace parte el melón.

A partir de las imágenes obtenidas del tejido, se calcularon las características morfométricas relacionadas con parámetros de forma y tamaño. En relación al factor de forma, el cual indica que tanto un objeto se circunscribe a un círculo, es decir que valores menores a 1, indican que las células son un poco irregulares, lo cual puede estar relacionado con la pérdida de frescura del tejido y por ende en la detrimento de calidad del producto. El factor de forma encontrado para las muestras de melón fresco fue de 0,87, el cual es mayor a los valores reportados para calabaza – 0,83 (Mayor et al., 2008), manzana – 0,83 (Lewicki et al., 2005), zanahorias – 0,75 (Trejo Araya et al., 2007) y en papa – 0,72 (Aguilera, Cadoche, López & Gutierrez, 2001), estos valores indican que las células de estas frutas presentan un grado de irregularidad.

En la figura 1, se muestran la correlación de los datos obtenidos de los parámetros morfométricos de factor de forma y área, y en la figura 2, la correlación para los parámetros factor de forma y elongación. Como se observa en las graficas el tratamiento con propionato y la muestra control presentan una disminución en el factor de forma, el cual está relacionado con un incremento en el área y el factor de elongación de las células de melón. En relación a las muestras tratadas con lactato de calcio, estas también muestran un cambio en los factores morfométricos, el cual no es estadísticamente significativo. De acuerdo con Rico et al. (Rico et al., 2007), la pérdida de redondez puede ser resultado de la pérdida de turgor celular debido a una alta pérdida de agua causada por el estrés celular producido por el tratamiento.

En la figura 4, se presentan imágenes de las células del tejido de melón fresco y tratado. La figura 4(a), muestra las células del tejido fresco, las cuales presentan una forma redondeada con un factor de forma de 0,87. En relación a las muestras tratadas, estas presentan un

alargamiento y un cambio en la forma de la célula, presentándose las mayores variaciones en las muestras tratadas con propionato de calcio (figura 4c) frente a las muestras tratadas con lactato de calcio, las cuales mantiene la forma presentada en la fruta fresca (figura 4b).



3.3. Correlación entre firmeza y parámetro morfométrico de área.

En la figura 4 se muestra la correlación entre Firmeza y el parámetro morfométrico – área, donde se observa que el tratamiento con propionato (grupo B) presenta los mayores cambios las características físicas y morfométricas del tejido, mientras el lactato (Grupo A)

mantiene las características muy similares al producto fresco. Varios estudios indican que los cambios morfométricos son el principal factor relacionado con propiedades de textura como la turgencia celular e integridad de la pared celular (Trejo Araya et al., 2007), siendo el encogimiento celular uno de los fenómenos que ha mostrado correlación con cambios estructurales en productos como manzana (Lewicki et al., 2005), uvas (Ramos et al., 2004) y calabaza (Mayor et al., 2008).

En la figura también se observa que con el aumento del área celular hay una disminución de la firmeza, lo cual está relacionado con lo reportado con Konstankiewicz K., et al. (2001) (Konstankiewicz et al., 2001) quienes indican que tejido de papa compuestos por células más pequeñas tienen una mayor resistencia a la fuerza compresión y mayor modulo de elasticidad que los tejidos con células grandes.

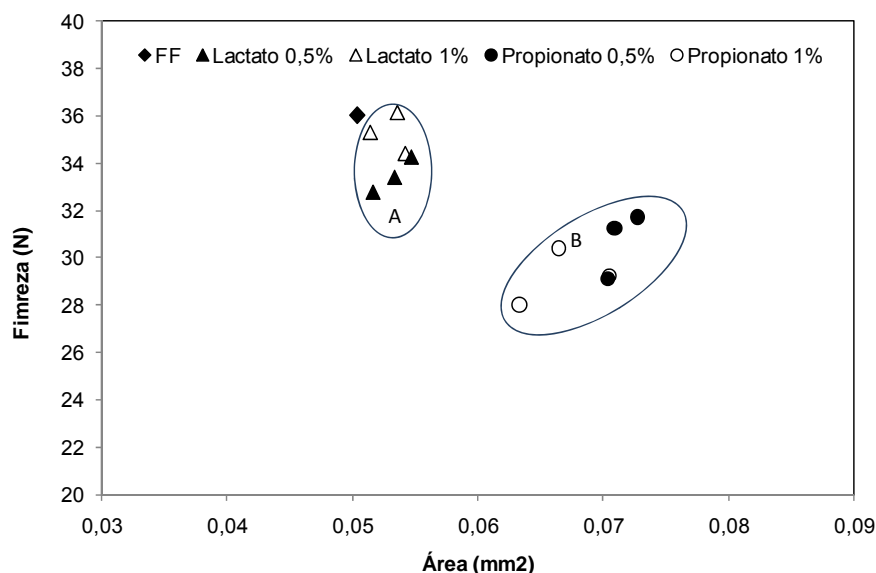


Figura 4. Relación de entre la textura de las muestras melón tratadas frente al parámetros morfométrico de área

4. CONCLUSIONES

El lactato de calcio aplicado bajo las condiciones de evaluación fortalece el tejido de melón fresco cortado en comparación con el propionato, el cual incide en el ablandamiento el tejido que está directamente relacionado con el cambio de los parámetros morfométricos. De acuerdo con los resultados, el tratamiento con lactato de calcio al 1% a una temperatura de 60°C durante 3 minutos mantiene mejor las características de morfología celular y la firmeza del melón fresco pre-cortado, lo que podría influir en la estabilidad del producto durante el almacenamiento.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Sabana por facilitar los recursos técnicos para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] PMA. Toivonen, DA .Brummell Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), pp 1-14, 2008.
- [2] RC. Soliva-Fortuny, O. Martín-Belloso. Microbiological and biochemical changes in minimally processed fresh-cut Conference pears. *European Food Research and Technology*, 217(1), pp 4-9, 2003
- [3] Akhtar, N. Akhtar, A. Hussain. Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of Loquat fruit during storage *Pak J Bot*, 42(1), pp181 – 8, 2010.
- [4] L. Alandes, I. Hernando, A. Quiles, I. Pérez-Munuera, MA. Lluch. Cell Wall Stability of Fresh-Cut Fuji Apples Treated with Calcium Lactate. *Journal of Food Science*, 71(9), pp S615-S20, 2006.
- [5] SV. Anino, DM. Salvatori, SM. Alzamora. Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research International*, 39(2), pp 154-64, 2006
- [6] CO. Chardonnet, CS. Charron, CE. Sams, WS Conway. Chemical changes in the cortical tissue and cell walls of calcium-infiltrated Golden Delicious' apples during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), pp 97-111, 2003
- [7] J. Cybulska, A. Zdunek, K. Konstankiewicz. Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. *Journal of Food Engineering*, 102(3), pp 217-23, 2011.
- [8] P. Hernández-Muñoz, E. Almenar, MJ. Ocio, R. Gavara. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), pp 247-53, 2006.
- [9] RA. Saftner, J. Bai, JA. Abbott, YS. Lee. Sanitary dips with calcium propionate, calcium chloride, or a calcium amino acid chelate maintain quality and shelf stability of fresh-cut honeydew chunks. *Postharvest Biology and Technology*, 29(3), 257-69, 2003.
- [10] Annous, A. Burke, J. Sites. Surface pasteurization of whole fresh cantaloupes inoculated with *Salmonella poona* or *Escherichia coli*. *J Food Prot*, 67, pp 1876 – 85, 2004.
- [11] X. Fan, BA. Annous, JC. Beaulieu, JE Sites. Effect of Hot Water Surface Pasteurization of Whole Fruit on Shelf Life and Quality of Fresh-Cut Cantaloupe. *Journal of Food Science*, 73(3), pp M91-M8, 2008.
- [12] Koukounaras, G. Diamantidis, E. Sfakiotakis. The effect of heat treatment on quality retention of fresh-cut peach. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), pp 30-6, 2008
- [13] O. Lamikanra, KL. Bett-Garber, DA. Ingram, MA. Watson. Use of Mild Heat Pre-treatment for Quality Retention of Fresh-cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 70(1), pp C53-C7, 2005.
- [14] EB. Solomon, L. Huang, JE Sites, BA. Annous. Thermal Inactivation of *Salmonella* on Cantaloupes Using Hot Water. *Journal of Food Science*, 71(2), pp M25-M30, 2006.
- [15] Ukuku, V. Pilizota, G. Sapers. Effect of hot water and hydrogen peroxide treatment on survival of *Salmonella* and microbial quality of whole cantaloupe and fresh-cut cantaloupe. *J Food Prot*, 67, pp 432 – 7, 2004.
- [16] Aguayo, VH. Escalona, F. Artés. Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), pp 397-406, 2008.

- [17] S. Beirão-da-Costa, A. Cardoso, LL. Martins, J. Empis, M. Moldão-Martins. The effect of calcium dips combined with mild heating of whole kiwifruit for fruit slices quality maintenance. *Food Chemistry*, 108(1), pp 191-7, 2008.
- [18] KL. Bett-Garber, MA. Watson, JM. Lea, ET. Champagne, O. Lamikanra. Effect of combined underwater processing and mild pre-cut heat treatment on the sensory quality and storage of fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Quality*, 33(4), pp 424-38, 2010.
- [19] O. Lamikanra, MA. Watson. Effect of Calcium Treatment Temperature on Fresh-cut Cantaloupe Melon during Storage. *Journal of Food Science*, 69(6), pp C468-C72, 2004.
- [20] O. Lamikanra, MA. Watson. Mild heat and calcium treatment effects on fresh-cut cantaloupe melon during storage. *Food Chemistry*, 102(4), pp 1383-8, 2007.
- [21] Luna-Guzmán, DM. Barrett. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), pp 61-72, 2000.
- [22] Luna-Guzmán, M. Cantwell, DM. Barrett. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology*, 17, pp 201-13, 1999.
- [23] Rico, AB. Martín-Diana, JM. Frías, JM. Barat, GT. Henehan, C. Barry-Ryan. Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79(4), pp 1196-206, 2007.
- [24] AB. Martín-Diana, D. Rico, JM. Frías, JM. Barat, GT. Henehan, C. Barry-Ryan. Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(4), pp 210-8, 2007.
- [25] GA. Manganaris, M. Vasilakakis, G. Diamantidis, I. Mignani. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, 100(4), pp 1385-92, 2007.
- [26] P. Varela, A. Salvador, S. Fiszman. Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, 78(2), pp 622-9, 2007.
- [27] X. Trejo, M. Hendrickx, BE. Verlinden, S. Van Buggenhout, NJ. Smale, C. Stewart. Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: A microstructural and biochemical approach. *Journal of Food Engineering*, 80(3), pp 873-84, 2007.
- [28] L. Mayor, J. Pissarra, AM. Sereno. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85(3), pp 326-39, 2008.
- [29] P. Lewicki, R. Porzecka-Pawlak. Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering*, 66(1), pp 43-50, 2005.
- [30] IN. Ramos, C. Silva, A. Sereno, JM. Aguilera. Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. *Journal of Food Engineering*, 62(2), pp 159-64, 2004.
- [31] NTC5207, Frutas Frescas: Melón variedad Cantaloupe - Especificaciones., Instituto Colombino de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC, p. 1 – 19, 2004.
- [32] AC. Silveira, A. Conesa, E. Aguayo, F. Artes. Alternative Sanitizers to Chlorine for Use on Fresh-Cut “Galia” (Cucumis melo var. catalupensis) Melon. *Journal of Food Science*, 73(9), pp M405-M11, 2008.
- [33] H. Liu, F. Chen, H. Yang, Y. Yao, X. Gong, Y. Xin. Effect of calcium treatment on nanostructure of chelate-soluble pectin and physicochemical and textural properties of apricot fruits. *Food Research International*, 42(8), pp 1131-40, 2009.
- [34] JM. Aguilera, L. Cadoche, C. López, G. Gutierrez. Microstructural changes of potato cells and starch granules heated in oil. *Food Research International*, 34(10), pp 939-47, 2001.
- [35] Konstankiewicz, K. Pawlak, A. Zdune. Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *Int Agrophysics*, 15, pp 243 – 6, 2001.

ANEXO 4. Certificado de participación en ponencia encuentro ENEIQ 2011

ANEXO5. Artículo aprobado para participación como poster en CIBIA 2011

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO BAJO TRATAMIENTO TÉRMICO SUAVE DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE MELÓN (*Cucumis melo* L.) FRESCO PRECORTADO.

MILD HEAT AND CALCIUM TREATMENT EFFECTS DURING STORAGE TO FRESH-CUT MELON (*Cucumis melo* L.)

Nidia Casas-Forero¹, Gabriela Cáez-Rámirez^{2*}

RESUMEN

El melón fresco precortado tiene una vida útil corta y es muy susceptible a la pérdida de firmeza, debido a cambios bioquímicos y enzimáticos asociados a las condiciones del proceso que influyen en sus atributos visuales en relación a la morfología celular. En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación de cloruro y lactato de calcio al 1% en la firmeza y la estructura celular de melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado almacenado a 5°C por 14 días. Los resultados indican que existe un efecto significativo del tratamiento y el tiempo de almacenamiento frente a los atributos evaluados. Se encontró una correlación exponencial entre la firmeza, y la pérdida de peso y la reducción de tamaño celular. Las variaciones muestran una pérdida de peso del 5,5%, de firmeza del 44% y de reducción de área 55% para el tratamiento control. El parámetro morfométrico de área permitió explicar el comportamiento del tejido durante el almacenamiento. El tratamiento con lactato dentro de un esquema de mínimo procesamiento incrementa la estabilidad del producto hasta 14 días, resultando una buena alternativa frente al procesamiento convencional.

Palabras claves: melón fresco precortado, parámetros morfométricos, firmeza, calcio, análisis de imágenes.

SUMMARY

Fresh-cut melon has a short shelf life and is very susceptible to loss of firmness due to biochemical and enzymatic changes associated with process conditions that influence in their visual attributes in relation to cell morphology. This study evaluated the effect of calcium chloride and lactate at 1% on the firmness and the cellular structure of melon fresh-cut (*Cucumis melo* L.) stored for 14 days at 5°C. The results show a significant effect of treatment and storage time against the attributes evaluated. An exponential correlation was determinate between firmness, weight loss and cell shrinkage. The variations show 5.5% weight loss, 44% and 55% of firmness and area reduction respectively in the control treatment. The morphometric parameters of area allowed explaining the behavior of tissue during storage. Treatment with lactate within minimal processing framework increases the stability of the product until 14 days, as a good alternative to conventional processing.

Key words: Melon fresh-cut, morphometric parameters, firmness, calcium, image analysis.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos mínimamente procesados involucran operaciones que implican cambios fisiológicos del producto, generando problemas en la pérdida de integridad del tejido debido a la compartimentalización celular (Sila y Hendrickx, 2004) conduciendo al deterioro bioquímico asociado al oscurecimiento, pérdida de textura, y liberación de nutrientes y exudados.

Los tratamientos con calcio pueden ayudar a preservar el tejido, al retrasar la senescencia, reducir el ablandamiento, controlar el desarrollo de alteraciones fisiológicas, inhibir los cambios de color durante el almacenamiento, disminuir la pérdida de jugos celulares y la reducción del crecimiento microbiano por las propiedades antimicrobianas que tiene algunas sales como el propionato y el lactato de calcio (Luna-Guzman y Barret, 2000; Saftner y Lee, 2003; Sila y Hendrickx, 2004, Varela y col., 2008, Beirão-da-Costa y col., 2008, Bett-Garber y col., 2010, Pereira y col., 2010, Cybulska y col., 2011).

Muchos de los cambios que se observan a nivel macroscópico, se deben a cambios en las características a nivel microestructural y celular, como el tamaño y la forma de las células (Oey y col., 2006, 2007). La morfología celular es un importante atributo que cuantificado permitiría entender y predecir los cambios que ocurren en las propiedades físicas y bioquímicas relacionadas con los cambios estructurales (Mayor y col., 2008)

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de cloruro y lactato de calcio sobre el área celular y la firmeza de melón fresco precortado almacenamiento a 5°C por 14 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Melón cantaloupe (*Cucumis melo* L.) grado de maduración 3 (NTC5207, 2004) obtenido del mercado local procedente de la región del Valle del Cauca Colombiano. Los melones enteros se lavaron y desinfectaron en una solución con 150 mg/L de NaClO (Silveira y col., 2008). La fruta se cortó en sentido longitudinal en dos mitades, siendo removidas la cascara y las semillas. Se obtuvieron cilindros de radio 12 ± 2 mm por 5 mm de altura con un peso aproximado de 5 ± 0.5 g.

Tratamiento con baños cálcicos.

Las muestras de melón se sometieron a inmersión en soluciones de lactato y cloruro de calcio al 1% durante 3 min a 60°C, en una

relación fruta – solución 1:4(w/v). Al terminar el tratamiento se enfriaron las muestras por inmersión en agua a 5°C por 3 min. Las muestras fueron empacadas en películas BOPP flexible de 140micras a 150mbar utilizando una empacadora a vacío Multivac® y almacenadas a 4°C durante 14 días en una incubadora Friocell. Como muestra control se emplearon cilindros de melón sin tratamiento.

Pérdida de peso

La pérdida de peso se determinó como la relación entre el peso final e inicial, empleando una balanza analítica Mettler Toledo® de precisión 0,0001g.

Análisis de Textura

La firmeza fue evaluada como la fuerza máxima de penetración empleando un texturometro TATX2® con una sonda cilíndrica P5. Los parámetros de operación fueron: velocidad de ensayo: 1mm/s, fuerza: 90g y distancia de penetración: 3,5mm. Se realizó la medición a cinco muestras por réplica de tratamiento.

Análisis morfológico

Los cortes del tejido vegetal se obtuvieron haciendo un corte transversal a las muestras de cilindros de melón, sin acondicionamiento adicional. Se realizó la tinción del tejido con una solución de azul de metileno 0,1% durante 15 seg. Las imágenes fueron adquiridas en campo claro utilizando un microscopio triocular de contraste de fases con objetivo 10X (Zeiss®), con cámara digital Nikon® DSFi1 adaptada al microscopio y conectada mediante interfaz al computador empleando el software NIS-Elements F V2.30. Las imágenes capturadas tuvieron una resolución de 1024 X 960 píxeles (200ppp) y se almacenaron en formato *.jpg color de 32bits.

Las imágenes se procesaron empleando el software ImageJ 1.44. Para ello se transformaron a escala de grises (8 bits), y se aplicó el filtro "Smooth" y se ajustó manualmente el umbral "Threshold" para destacar célula a célula y el contorno celular (Camacho-Díaz, 2010). Para garantizar la correcta selección de los contornos celulares se realizó la sobreposición del objeto segmentado sobre la imagen original. Se determinó el área celular proyectada. Se realizó la medición a 60 células por réplica de tratamiento.

Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron por triplicado y los datos se expresaron como media \pm desviación estándar. Los valores promedios fueron comparados con una prueba de significancia ANOVA con un $P < 0.05$ y una prueba de diferencia de medias Tukey's empleando el software de Minitab® version 16.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de peso

En relación a los valores de pérdida de peso que se muestran en la tabla 1, la muestra control presenta una pérdida del 5,5% de su peso inicial en el día 14, debido a la liberación de exudados por efecto de cambios bioquímicos y fisiológicos del tejido. Niveles de pérdida similares fueron reportados en melón fresco después del almacenamiento por 14 días (Bett-Garber y col., 2010). La aplicación de baños cálcicos reduce el nivel de exudado en un 2%, debido a que su aplicación aumenta la viscosidad del protoplasma y reduce la pérdida de permeabilidad de la membrana, lo cual podría contribuir a la retención de la humedad por parte del tejido de las frutas (Lamikanra y col., 2005).

Tabla 1. Pérdida de peso de muestras de melón durante el almacenamiento a 5°C.

Tiempo (Días)	Pérdida de peso (%)		
	Control	Cloruro de calcio	Lactato de calcio
3	0,944 \pm 0,018 ^e	0,399 \pm 0,008 ^e	0,211 \pm 0,007 ^f
5	1,522 \pm 0,028 ^d	0,779 \pm 0,043 ^d	0,351 \pm 0,003 ^e
7	1,575 \pm 0,025 ^d	0,787 \pm 0,033 ^d	0,710 \pm 0,017 ^d
10	3,112 \pm 0,059 ^c	1,384 \pm 0,066 ^c	1,216 \pm 0,049 ^c
12	4,421 \pm 0,072 ^b	2,052 \pm 0,023 ^b	2,076 \pm 0,017 ^b
14	5,537 \pm 0,256 ^a	3,353 \pm 0,029 ^a	3,036 \pm 0,055 ^a

*Valores con la misma letra indican que no existe diferencia significativa entre las muestras (Tukey's $P < 0,05$).

Textura

Las muestras de melón presentan ablandamiento del tejido durante el almacenamiento, mostrando un comportamiento descendente lineal con el tiempo – $r^2 > 0.9$ (Figura 1).

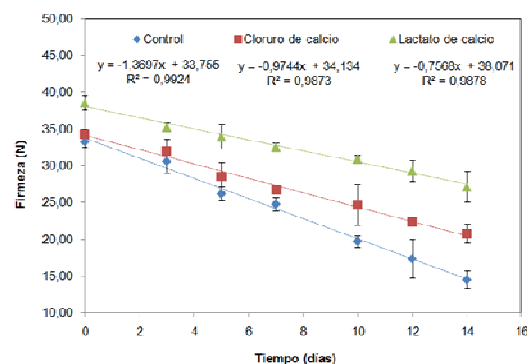


Figura 1. Firmeza de muestras de melón durante el almacenamiento a 5°C

La muestra control tiene la mayor pendiente de cambio, seguido por la muestra tratada con cloruro y lactato. Esta reducción de la firmeza es un indicador de la pérdida de integridad estructural del tejido, cambio que puede estar asociado con el nivel de exudados liberado por la fruta durante el almacenamiento (Varela y col., 2007).

En el día 14, la muestra control presenta una pérdida de la firmeza del 60%, y del 37% y 25% para las muestras tratadas con cloruro y lactato respectivamente. Esto concuerda con lo reportado por Luna-Guzmán y col. (2000) en melón cantaloupe, quienes indican que el lactato de calcio reduce el ablandamiento del tejido.

Parámetros morfométricos.

Las imágenes de los cortes transversales de melón fresco y tratado, después del almacenamiento se muestran en la figura 2. Las células del tejido de la muestra control presenta un incremento en la elongación celular directamente relacionado con un incremento en el tamaño de las células, mientras las muestras de melón tratado con calcio presentan una disminución en su tamaño - área celular, manteniendo su estructura con un empaquetamiento uniforme similar al tejido fresco. Lo cual muestra la efectividad del calcio en el mantenimiento de la turgencia celular (Trejo-Araya y col., 2007). Estudios en pera almacenada durante tres semanas, indican que la aplicación de calcio permite mantener el empaquetamiento fibrilar en las paredes celulares y por lo tanto refuerza el contacto célula - célula, lo cual está relacionado con la formación de pectatos de calcio (Alandes y col., 2009).

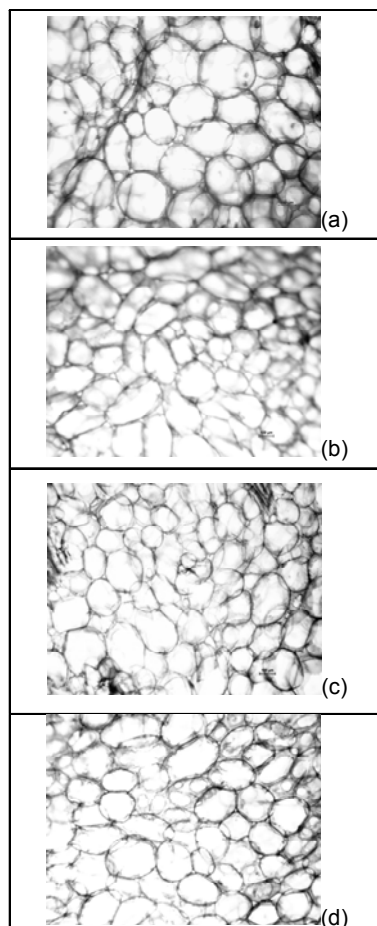


Figura 2. Cambios microestructurales del tejido de melón después de 14 días de almacenamiento. (a) Melón fresco, (b) Muestra control, (c) Cloruro de calcio y (d) Lactato de calcio

Correlación entre la firmeza, y los parámetros morfométricos y la pérdida de peso.

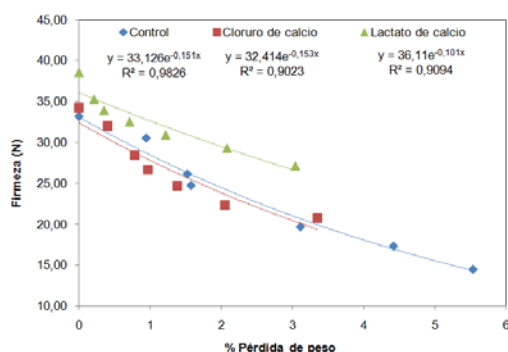


Figura 3. Correlación entre la firmeza y la pérdida de peso de melón precortado.

La figura 3 muestra una correlación de tipo exponencial ($r^2 > 0.9$) entre la firmeza y la pérdida de peso, indicando que el aumento en el ablandamiento del tejido es un indicador de la

pérdida de integridad estructural del tejido, cambio que puede estar asociado con el nivel de exudados liberados, los cuales son un indicador de la disrupción de la membrana celular y de la pérdida de fluidos que están asociados conjuntamente en la disminución de la firmeza en el tejido de frutas (Varela y col., 2007).

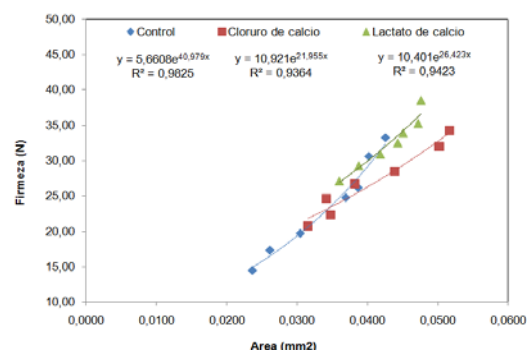


Figura 3. Correlación entre la firmeza y el tamaño celular de melón precortado.

La correlación entre la firmeza y el área celular presentan un comportamiento exponencial (figura 4). Esto permite indicar que los cambios que ocurren a nivel celular están relacionados con los cambios a nivel macroscópico relacionados con la textura. Esto se debe a que la firmeza y la adhesión intercelular en las frutas están fuertemente interrelacionadas a la estructura de las sustancias pecticas de la lámina media (Varela y col., 2007) y con la turgencia celular e integridad de la pared celular (Trejo-Araya y col., 2007).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la aplicación de baños cálcicos, indican que la incorporación de calcio reduce el ablandamiento del tejido, asociado a una reducción de la pérdida de turgencia celular y a un incremento en la integridad de la membrana y de la estructura de la pared celular dando lugar a tejidos más firmes y resistentes. El tratamiento con lactato de calcio es una buena alternativa para mantener la estabilidad del tejido a nivel micro y macro estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alandes, L., Pérez-Munuera, I., Llorca, E. (2009). Use of calcium lactate to improve structure of "Flor de Invierno" fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 145-151.

- Beirão-da-Costa, S., Cardoso, A., Martins, L., Empis, J. (2008). The effect of calcium dips combined with mild heating of whole kiwifruit for fruit slices quality maintenance. *Food Chemistry*, 108(1), 191-197.
- Bett-Garber, K., Watson, M., Lea, J. (2010). Effect of combined underwater processing and mild pre-cut heat treatment on the sensory quality and storage of fresh-cut cantaloupe melón *Journal of Food Quality*, 33(4), 424-438.
- Camacho-Díaz, B., Jiménez-Aparicio, A., Chanona-Pérez, J. (2010). Morphological characterization of the growing front of *Rhizopus oligosporus* in solid media. *Journal of Food Engineering*, 101(3), 309-317
- Cybulska, J., Zdunek, A., Konstantkiewicz, K. (2011). Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. *Journal of Food Engineering*, 102(3), 217-223.
- Lamikanra, O., Bett-Garber, K., Watson, M. A. (2005). Use of Mild Heat Pre-treatment for Quality Retention of Fresh-cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 70(1), C53-C57.
- Luna-Guzmán, I., Barrett, D. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61-72.
- Mayor, L., Pissarra, J., Sereno, A. (2008). Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 326-339.
- NTC5207 (2004). Frutas Frescas: Melon variedad Cantaloupe - Especificaciones. (pp. 1 - 19): Instituto Colombino de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC.
- Oey, M., Vanstreels, E., Nicolaï, B. (2007). Effect of turgor on micromechanical and structural properties of apple tissue: A quantitative analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 240-247.
- Oey, M., Vanstreels, E., Nicolaï, B. (2006). Influence of Turgor on Micromechanical and Structural Properties of Apple Tissue. IUFOST 2006.
- Pereira, L., Carmello-Guerreiro, S., Hubinger, M. (2010). Calcium Lactate Effect on the Shelf Life of Osmotically Dehydrated Guavas. *Journal of Food Science*, 75(9), E612-E619.
- Saftner, R., Bai, J., Abbott, J., & Lee, Y. (2003). Sanitary dips with calcium propionate, calcium chloride, or a calcium amino acid chelate maintain quality and shelf stability of fresh-cut honeydew chunks. *Postharvest Biology and Technology*, 29(3), 257-269.
- Sila, D., Smout, C., Vu, T., & Hendrickx, M. (2004). Effects of High-Pressure Pretreatment and Calcium Soaking on the Texture Degradation Kinetics of Carrots during Thermal Processing. *Journal of Food Science*, 69(5), E205-E211.
- Silveira, A., Conesa, A., Aguayo, E., Artes, F. (2008). Alternative Sanitizers to Chlorine for Use on Fresh-Cut "Galia" (*Cucumis melo* var. *catalupensis*) Melon. *Journal of Food Science*, 73(9), M405-M411.
- Trejo-Araya, X., Hendrickx, M., John Mawson, A. (2007). Understanding texture changes of high pressure processed fresh carrots: A microstructural and biochemical approach. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 873-884.
- Varela, P., Aguilera, J., Fiszman, S. (2008). Quantification of fracture properties and microstructural features of roasted Marcona almonds by image analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1), 10-17.
- Varela, P., Salvador, A., Fiszman, S. (2007). Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 622-629.

ANEXO 6. Carta de aceptación para sometimiento a arbitraje de artículo científico

Revista Mexicana de Ingeniería Química

Publicación de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, A. C. Depto. de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana-Itzapalapa, Av. San Rafael Atilico No. 186, Col. Voenitza, 09340 México, D. F. Tel. 5844648 al 51, FAX 58 044900, E-mail: amidiq@xanum.uam.mx

Editores en Jefe

Dr. J. Alberto Ochoa Tapia

Dr. E. Jaime Vernon Carter

Dr. Tomás Viveros García

Responder a:

Dr. Tomás Viveros García

E-mail: tvig@xanum.uam.mx;

amidiq@xanum.uam.mx

México, D. F., a 21 de Junio de 2011

Dra. Gabriela

Cáez

Universidad de La Sabana

e-mail: gabriela.caez@gmail.com

Manuscrito No. RMIQ-210611

Estimado(a) Dr. Cáez

Título del Trabajo: "CAMBIOS MORFOMETRICOS Y DE CALIDAD POR APLICACIÓN DE TRES FUENTES DE CALCIO BAJO TRATAMIENTO TÉRMICO SUAVE EN MELÓN (*Cucumis melo* L.) FRESCO PRECORTADO"

Autores: N. Casas-Fernández, G. Casas-Fernández

N. Casas-Fernández, G. Casas-Fernández

Le informo que la *Revista Mexicana de Ingeniería Química* (RMIQ), recibió su artículo arriba mencionado para su posible publicación; dicho trabajo ha sido enviado a arbitraje, y le notificaremos en el momento que tengamos comentarios. Agradezco su participación, haciendo una extensa invitación para que se presenten trabajos para ser publicados en RMIQ.

Sin más por el momento me despido de usted,

Atentamente:



Dr. Tomás Viveros García

Editor de RMIQ

ANEXO 7. Pruebas estadísticas análisis de parámetros morfométricos

Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnof

