



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

MORPHOMETRIC AND QUALITY CHANGES BY APPLICATION OF THREE CALCIUM SOURCES UNDER MILD THERMAL TREATMENT IN PRE-CUT FRESH MELON (*Cucumis melo* L.)

N. Casas-Forero¹ y G. Cález-Ramírez^{2*}

¹Grupo de Procesos Agroindustriales. ²Facultad de Ingeniería. Universidad de la Sabana. Campus Puente del Común, Km 7 Auto Norte, Bogotá, Colombia.

Recibido 21 de Junio 2011; Aceptado 26 de Septiembre 2011

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 testigo. La activación de la pectin metil esterasa en presencia de calcio permitió la estabilización de la firmeza del tejido. Los parámetros morfométricos, indicaron 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 incrementaron el área celular en un 38% y 51% respectivamente, lo cual se refleja en una pérdida de firmeza del tejido. El propionato mantuvo los atributos sensoriales propios del melón, mismos que se intensifican 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, permitió 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.

Abstract

The effect of calcium application was evaluated on cellular tissue over morphometric parameters and quality attributes of melon fresh-cut (*Cucumis melo* L). Melon samples were treated with different sources of calcium chloride, lactate and propionate at two concentrations: 0.5 and 1% at 60°C for three times of application. The effect on tissue firmness is due to activation of pectin methylesterase and calcium presence, allowing the firmness stabilization. The morphometric parameters indicated a positive effect of lactate and calcium chloride to maintain integrity of the cell wall. Treatments with propionate and without calcium creased cell area by 38% and 51% respectively, which is reflected in loss of tissue firmness. Propionate retained melon sensory attributes, and lactate showed intensification of them. The application of calcium as salts of chloride and lactate preserved characteristics of pre-cut fresh melon as minimal processing treatment, which may contribute to product stabilization during storage.

Keywords: melon, calcium chloride, lactate, propionate, texture, pectinmethylesterase, morphometric parameters.

*Autora para la correspondencia. E-mail: gabriela.caez@gmail.com

1 Introducción

Los tratamientos de calcio han sido ampliamente utilizados para la extensión de la vida útil de frutas frescas precortadas (Lamikanra y Watson, 2004; Manganaris *y col.*, 2007; Rico *y col.*, 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 evitando el ablandamiento (Alandes *y col.*, 2009b).

La incorporación de calcio también aumenta la presión de turgencia celular y la estabilización de la membrana celular (Hernández-Muñoz *y col.*, 2006), retrasa la senescencia, controla el desarrollo de alteraciones fisiológicas y hace que la textura del producto sea más firme (Alandes *y col.*, 2006; Sila *y col.*, 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 no deseados (Luna-Guzmán *y col.*, 2000; Hernández-Muñoz *y col.*, 2006; Varela *y col.*, 2007). Otras sales empleadas son el lactato y propionato de calcio, en las cuales se reportan efectos positivos en la textura de frutas precortadas (Luna-Guzmán *y col.*, 2000; Alandes *y col.*, 2006; Martín-Diana *y col.*, 2007; Alandes *y col.*, 2009b) y pueden ayudar a reducir el crecimiento microbiano (Alandes *y col.*, 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, desmetilando 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 (Luna-Guzmán *y col.*, 1999; Sila *y col.*, 2004; Beirão-da-Costa *y col.*, 2008).

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 *y col.*, 2008). Varios autores han investigado la influencia de las características microestructurales sobre las propiedades mecánicas del material (Zdunek y Umeda, 2005), así como los efectos de la microestructura sobre las propiedades del producto final (Seguí, *y col.*, 2010). El cambio en los atributos descriptores de forma y tamaño celular han mostrado

correlación con cambios estructurales en productos como manzana (Lewicki y Porzecka-Pawlak, 2005), uvas (Ramos *y col.*, 2004) y calabaza (Mayor *y col.*, 2008). Para la determinación de estos cambios se pueden emplear descriptores morfométricos (Mayor *y col.*, 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 melón, es una fruta que se produce principalmente en China, Irán, Turquía, Estados Unidos y España. Los datos a 2009 indican que México es el mayor productor en Latinoamérica y Colombia tiene una producción incipiente que alcanza el 0.11% de la producción mundial (FAO, 2011), misma sobre la que se espera incentivar la agregación de valor para lograr un consumo mayor como mínimamente procesado.

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, elaborados desde el esquema de mínimo procesamiento.

2 Materiales y métodos

2.1 Materiales

Melón cantaloupe (*Cucumis melo* L var. *Reticulatus* Naud) grado de maduración 3 (NTC5207, 2004) 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 *y col.*, 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.

2.2 Métodos

2.2.1. Tratamiento con baños cálcicos

Las muestras de melón se sometieron a inmersión a 60°C en soluciones de tres sales de lactato, cloruro y propionato de calcio, cada una a dos concentraciones:

0.5 y 1% durante 1, 2 y 3min, en una relación fruta - solución 1:4(w/v). Como muestra testigo 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 se retiró el exceso de solución.

2.2.2. 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. El valor de pH y el porcentaje de acidez se determinaron con un autotitulado Titrimo 702SM marca Metrohm® (Herisau, Suiza). La acidez evaluada con NaOH 0.1 N, se expresó como porcentaje de ácido cítrico (AOAC 942.15, 2005).

2.2.3 Análisis de firmeza

La firmeza se evaluó como fuerza máxima de penetración empleando un textuómetro 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 replica de tratamiento y los valores fueron reportados como media \pm desviación.

2.2.6 Análisis morfológico

Los cortes del tejido vegetal se obtuvieron haciendo cortes transversales 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 s, y se eliminó 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

2.2.4 Extracción de pectin metil esterasa (PME)

Para la extracción de PME se empleó el método de Beirão-da-Costa y col., (2008) con modificaciones. 12 gramos de tejido de melón se homogenizaron con 40 ml de NaCl 1.5M a 5°C con un T25 Ultraturax® (Wilmington, USA) a una velocidad de 24000 rpm durante 2 minutos. La mezcla homogenizada se mantuvo a 4°C durante 30min y posteriormente centrifugada a 6.9g por 30 minutos a 4°C. El sobrenadante resultante se utilizó como extracto para la medición de la actividad enzimática.

2.2.5 Medición Actividad enzimática de pectin metil esterasa (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 y col., (2009) con modificaciones. A diez mililitros de una solución de pectina cítrica al 1% a 30°C se le 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. La mezcla pectina-extracto se valoró cada 2 minutos con NaOH 0.02N hasta mantener el pH en 7.5 durante 10 minutos, empleando un autotitulado Titrimo 702SM. Al extracto enzimático se le determinó el contenido de proteína por el método de Biuret usando albumina de suero bovino (BSA) como estándar (Gornall y col., 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 g de proteína y se calculó usando la siguiente ecuación (Ec.1):

$$PME (nkat) = \frac{Volumen NaOH (ml) * [] NaOH (N) * 1000}{Tiempo (min) * Volumen extracto (ml) * prote\acute{a}na \left(\frac{mg}{ml}\right)} * 0.060 \quad (1)$$

objetivo 10X (Zeiss®, Thornwood, New York, EUA), 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, EUA). 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 Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA.). 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-Díaz, y col., 2010, Sánchez-Segura, 2011). 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, A, perímetro, P y diámetro de Feret; DF, como es la distancia promedio entre dos tangentes paralelas respecto al perímetro (Quintanilla-Carvajal y col., 2011; Tapia-Ochoategui y col., 2011); y características morfométricas de forma: elongación, compacidad, Cy factor de forma, FF, de acuerdo a las ecuaciones (Ec. 2, 3, y 4) (Zheng y col., 2006):

$$C = \frac{\sqrt{\frac{4 \text{ Area}}{\pi}}}{\text{Longitud Max}} \quad (2)$$

$$E = \frac{\text{Longitud Max}}{\text{Longitud Min}} \quad (3)$$

$$FF = \frac{4 * \pi * A}{P^2} \quad (4)$$

La evaluación se realizó a 60 células por réplica de tratamiento y los valores fueron reportados como media \pm desviación estándar.

2.2.7 Análisis sensorial

Un panel de cinco jueces pre-entrenados llevó a cabo la evaluación sensorial de los atributos de calidad de melón fresco precortado como control y de las

muestras de los respectivos tratamientos. 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 1.

A partir de los datos obtenidos, se determinó el índice de calidad a través del promedio ponderado de todas las calificaciones asignadas a los atributos evaluados mediante la siguiente ecuación (Ec.5)

$$\bar{X} = \sum \frac{a_i v_i}{n} \quad (5)$$

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 a partir de la siguiente ecuación (Ec.6):

$$\bar{X}_p = \sum \frac{\bar{X}}{na} \quad (6)$$

Siendo \bar{X} , el promedio calculado anteriormente para cada atributo, y na el número de atributos que se evalúan. El índice se ajustó a un valor porcentual considerando como máximo de calidad el 100%, empleando una regla de proporcionalidad simple (Nestrud y Lawless, 2008; Tietel y col., 2010).

2.2.8 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 $\alpha = 0.05$ y una prueba de diferencia de medias Tukey, empleando el software de Minitab® version 16 (State College, EUA).

Tabla 1. Descriptores de calidad de melón fresco precortado

Atributo de calidad	Puntaje asignado y descriptor				
	9	7	5	3	1
Color	Color naranja	Pérdida ligera de color naranja	Presencia de partes pálidas	Coloración pálida	Color translucido
Olor	Aromático-dulce	Pérdida ligera de aroma dulce	Aroma dulce poco perceptible	No se percibe aroma	Olor no característico
Sabor	Característico dulce	Pérdida ligera de sabor dulce	Sabor dulce poco perceptible	Insípido	Sabor no característico
Textura	Fresco y crujiente	Pérdida ligera de frescura	Textura normal	Textura blanda	Textura muy blanda

Para el análisis de componentes principales (ACP) se empleó el método descrito por Medina y col., (2010) y el programa Statgraphics® Versión 16.1.11 (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, EUA). Se utilizó una matriz de dimensiones de 8 tratamientos por 8 atributos (una variable instrumental - firmeza, una enzimática - PME (Pectin Metil Esterasa), una sensorial - calidad total y cinco parámetros morfométricos - área, perímetro, diámetro de Feret, elongación, factor de forma).

3 Resultados

3.1 Caracterización del melón fresco precortado

En la Tabla 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 (2004).

Tabla 2. Caracterización de melón fresco precortado

Característica	Valor
Sólidos Solubles Totales (°Brix)	8.030 ± 0.058
pH	7.030 ± 0.006
Acidez total (g ácido cítrico / 100g)	0.060 ± 0.001
Pectil metil esterasa (nkat)	0.391 ± 0.009
Textura (N)	36.009 ± 0.495

3.2 Firmeza

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 y col., 2010). En la Tabla 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 y col., 2009a).

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 y Watson, 2007). Asimismo, se ha observado que los baños con lactato cálcico retienen mejor la firmeza de melón en comparación con el cloruro de calcio (Luna-Guzmán y Barrett, 2000). Sin embargo, los resultados indican que no hay diferencia significativa entre aplicar lactato y cloruro de calcio al 1% ($\alpha < 0.05$).

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 y col., 1999).

Tabla 3. Valores de Firmeza (N) de muestras de melón tratadas con y sin calcio

Tratamiento	Tiempo de aplicación (min)		
	1	2	3
Muestra control ^A	28.686±0.721 ^{ab}	29.900±0.909 ^a	27.768±0.541 ^b
Lactato de calcio 0.5% ^A	32.759±0.159 ^a	33.386±0.203 ^a	34.241±1.159 ^a
Lactato de calcio 1% ^B	34.416±1.161 ^a	35.300±1.200 ^a	36.132±0.501 ^a
Cloruro de calcio 0.5% ^A	31.509±1.743 ^a	29.347±0.876 ^a	31.113±1.074 ^a
Cloruro de calcio 1% ^B	30.871±0.572 ^a	31.689±0.195 ^a	32.716±1.235 ^a
Propionato de calcio 0.5% ^A	29.102±1.963 ^a	31.716±1.921 ^a	31.259±1.977 ^a
Propionato de calcio 1% ^A	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.

Las letras diferentes en la filas (A, B) indican diferencia significativa entre los tratamientos y las letras diferentes en las columnas (a, b, c) indican diferencia significativa entre el tiempo de aplicación (Tukey's $\alpha < 0.05$).

Tabla 4. Actividad enzimática de PME (nkat)

Tratamiento	Tiempo de aplicación (min)		
	1	2	3
Sin calcio ^A	0.386±0.014 ^a	0.393±0.005 ^a	0.397±0.017 ^a
Lactato de calcio 0.5% ^D	0.471±0.010 ^a	0.466±0.015 ^a	0.463±0.009 ^a
Lactato de calcio 1% ^E	0.475±0.014 ^a	0.481±0.007 ^a	0.486±0.030 ^a
Cloruro de calcio 0.5% ^C	0.458±0.011 ^a	0.452±0.017 ^a	0.461±0.006 ^a
Cloruro de calcio 1% ^C	0.446±0.009 ^a	0.461±0.004 ^a	0.459±0.027 ^a
Propionato de calcio 0.5% ^B	0.411±0.015 ^a	0.411±0.011 ^a	0.431±0.002 ^b
Propionato de calcio 1% ^B	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.

Las letras diferentes en las filas (A, B) indican diferencia significativa entre los tratamientos y las letras diferentes en las columnas (a, b, c) indican diferencia significativa entre el tiempo de aplicación (Tukey's $\alpha < 0.05$).

3.3 Actividad enzimática de la pectin metil esterasa - 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 control (Tabla 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 (Martín-Diana y col., 2007; Beirão-da-Costa y col., 2008). 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 y col., 2005; Manganaris y col., 2007; y col., 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 y col., 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 y col., 2007).

3.4 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: control, como se observa en la Fig. 1.

Una mayor concentración de calcio en el tejido está relacionado con un incremento de la activación de la PME (Manganaris y col., 2007; Beirão-da-Costa y col., 2008), 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 del melón fresco manteniendo la firmeza del tejido, lo cual coincide con lo reportado en manzanas y fresas (Degraeve y col., 2003), en peras (Alandes y col., 2009a) y en manzana (Alandes y col., 2006). Esta activación de la PME hace que la cantidad de grupos carboxilo liberados 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 y col., 2006; Alandes y col., 2009a) para dar lugar a tejidos más firmes y resistentes (Aguayo y col., 2008) y por consiguiente este permite mantener más estable el tejido celular.

3.5 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

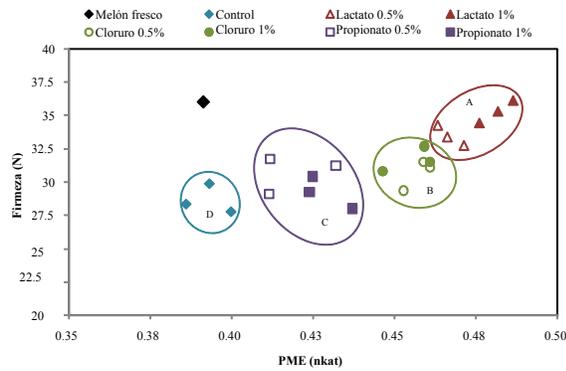


Fig. 1. Relación entre la firmeza de las muestras de melón tratadas frente a la actividad enzimática de la PME.

pared celular (Montuenga, y col., 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 y col., 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 y col., 2008) y manzana, 0.83 (Lewicki y col., 2005).

Las imágenes de los cortes transversales de las muestras melón fresco y tratado, se observan en la Fig. 2. Las células del melón fresco presentan una forma redondeada, compacta y con algunos espacios intercelulares, que son similares a las obtenidas por otros estudios donde indican que las células de melón presentan un morfología redondeada con paredes delgadas (Fernandes y col., 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 tejido 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 y col., 2007).

Las muestras tratadas a 60°C control 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 y col., 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.

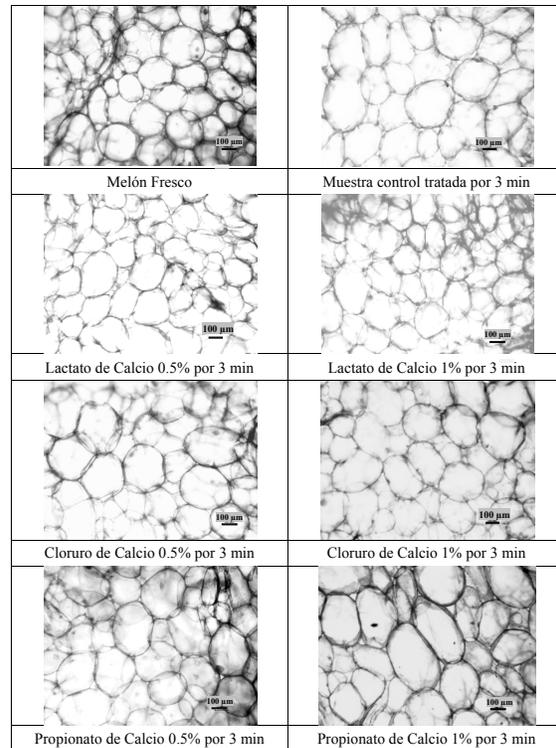


Fig. 2. Imágenes de los cambios microestructurales del tejido de melón después de la aplicación de los tratamientos.

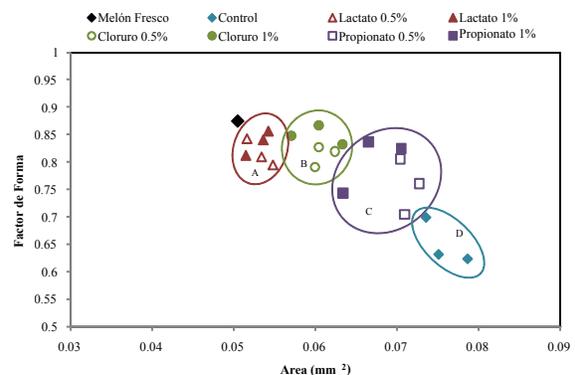


Fig. 3. Relación entre los parámetros factor de forma y el área celular.

La correlación de los datos obtenidos de los parámetros morfométricos de factor de forma y área (Fig. 3), muestra una disminución significativa el factor de forma respecto de las muestras de melón

fresco en un 10% para el tratamiento control 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 control. 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 y col., 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 preserve el contacto célula - célula a nivel microestructural.

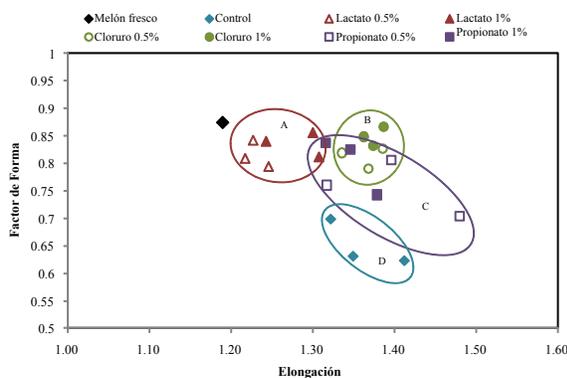


Fig. 4. Relación entre los parámetros factor de forma y elongación celular.

La correlación entre los parámetros factor de forma y elongación se muestran en la Fig. 4, donde se observa que la reducción en el factor de forma correspondiente a la pérdida de redondez, está relacionada con la elongación de la células del tejido, y no a 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 y col., 2005, Arenas-Ocampo y col., 2011). 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.

3.6 Correlación de la firmeza con los parámetros morfológicos

En la Fig. 5 se presenta la correlación entre firmeza y el parámetro morfológico de área, observándose

que el tratamiento control y con propionato generan los mayores cambios en las características mecánicas y morfológicas 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 y col., 2001). Varios estudios indican que los cambios morfológicos son el principal factor relacionado con los atributos de firmeza como la turgencia celular e integridad de la pared celular (Trejo-Araya y col., 2007), siendo el encogimiento celular uno de los fenómenos que ha mostrado correlación con cambios estructurales en productos como manzana (Lewicki y col., 2005), uvas (Ramos y col., 2004) y calabaza (Mayor y col., 2008). 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 y col., 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.

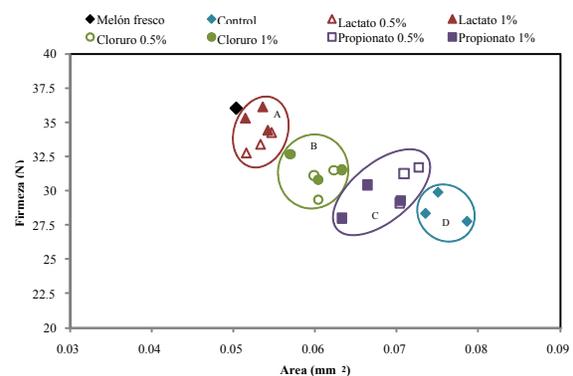


Fig. 5. Relación entre la firmeza y el área celular.

3.7 Análisis sensorial

En la Tabla 5 se observan los resultados del índice de calidad sensorial para los que la fuente de calcio y el tiempo de aplicación del tratamiento influye en los cambios sensoriales del melón. 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 y col., 2008; Pereira y col., 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 y col., 2000; Martín-Diana y col., 2007).

El aroma característico del melón se intensificó con la aplicación de todos los tratamientos. En general, el tratamiento con lactato al 0.6 y 1%, propionato al 1%, presentan un nivel aceptable de calidad, contrario a las muestras control y tratadas con cloruro de calcio que presentan un nivel bajo de calidad, frente a la muestra fresca (77.34%). Otros

estudios también evidencian la intensificación de los atributos sensoriales deseables como el sabor y aroma dulce característico en frutos como el melón por aplicación de tratamientos térmicos suaves (Luna-Guzmán y Barrett, 2000; Lamikanra y col., 2004; Martín-Diana y col., 2007; Aguayo y col., 2008; Bett-Garber y col., 2010).

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 precortadas (Alandes y col., 2006; Lamikanra y col., 2007; Manganaris y col., 2007; Rico y col., 2007; Aguayo y col., 2008; Beirão-da-Costa y col., 2008; Alandes y col., 2009a). 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.

Tabla 5. Índice de calidad sensorial porcentual de muestras de melón por tratamiento

Tratamiento	Tiempo de aplicación (min)		
	1	2	3
Muestra control ^A	61.11±1.16 ^a	54.44±1.07 ^b	56.67±0.37 ^b
Lactato de calcio 0.5% ^C	76.67±0.87 ^a	83.33±0.57 ^b	83.33±0.96 ^b
Lactato de calcio 1% ^C	78.89±0.90 ^a	81.11±0.54 ^b	85.56±1.11 ^c
Cloruro de calcio 0.5% ^B	68.89±1.31 ^a	72.22±0.19 ^b	68.33±1.21 ^a
Cloruro de calcio 1% ^B	71.67±1.20 ^b	64.44±1.97 ^a	73.33±0.98 ^b
Propionato de calcio 0.5% ^B	77.78±0.15 ^b	76.11±0.30 ^b	71.67±0.74 ^a
Propionato de calcio 1% ^C	78.89±0.71 ^b	76.67±1.23 ^a	76.67±0.92 ^a

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

Las letras diferentes en la filas (A, B) indican diferencia significativa entre los tratamientos y las letras diferentes en las columnas (a, b, c) indican diferencia significativa entre el tiempo de aplicación (Tukey's $\alpha = 0.05$).

3.8 Correlación de atributos y tratamientos por componentes principales

Con el fin de determinar si los factores estudiados: fuente de calcio y concentración, tuvieron efecto sobre los atributos 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 e Ivo, 2008) e identificando las características de mayor variación utilizando un sistema de puntuación en el que pueden ser tratados como nuevos tipos de mediciones para comparar las poblaciones o pruebas de correlación (Medina y col., 2010).

En la Fig. 6, el componente principal 1 (CP1) explica la variabilidad de los datos principalmente en base a la firmeza, análisis sensorial y los parámetros morfométricos de área, perímetro, diámetro de Feret y factor de forma. El componente principal (CP2) está determinado por la actividad enzimática de la PME y el parámetro morfométrico de elongación. El CP1 y el CP2 explicaron un 86.46% de la variabilidad de los datos, satisfactorio para explicar la varianza de los resultados, que de acuerdo con Gamboa y col. (2010) se consideran apropiados sobre el 70%. Asimismo, el valor obtenido en el estudio es superior al reportado por otros autores para frutas precortadas como pera

con un 75% (Lin y col., 2006) y mango con un 66.9% (Salinas-Hernández y col., 2010).

Las muestras tratadas con lactato de calcio se caracterizan por tener mayor firmeza, mejor calidad sensorial y mantener el parámetro de forma celular. Las muestras de los tratamientos con cloruro de calcio se definieron por tener un mayor grado de actividad de la PME y elongación celular, y las muestras tratadas con propionato de calcio, se describen por cambios en el área y el perímetro celular (Fig. 6). De acuerdo con estos resultados, se evidencia que las tres fuentes de calcio no presentan similitudes en relación a sus características morfométricas, enzimáticas, sensoriales y de textura, lo cual permite diferenciar los cuatro tipos de tratamientos, los cuales están clasificados con grupo A: lactato, B: cloruro, C: propionato y D: control.

Con este análisis se evidencia que la aplicación del tratamiento control, 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, siendo más efectivo en el mantenimiento de la turgencia celular del tejido, lo cual se refleja en las características macroscópicas (Martín-Diana y col., 2007).

Se espera que los cambios observados a nivel macroscópico, sean 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). A través de un análisis de correlación de Pearson con $\alpha = 0.05$ (Tabla 6) se corroboró 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.

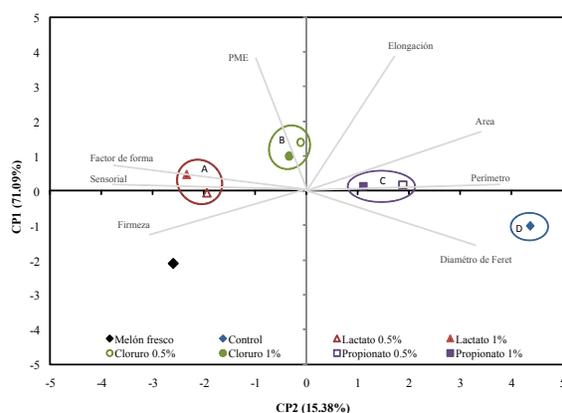


Fig. 6. Gráfico de dispersión dimensional de las puntuaciones de CP1, PC2.

Tabla 6. Matriz de correlación de Pearson

	Díámetro 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*
Díámetro de Feret		0.33	-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*	0.28	0.665
Perímetro						-0.512	-0.769*
PME							0.522

* Nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

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.

Agradecimientos

La presente investigación fue realizada con apoyo del Fondo Patrimonial Especial de la Universidad de La Sabana (Proyecto 117-2010). A la facultad de Ingeniería de la universidad de La Sabana por la beca otorgada a Nidia Casas para la realización de sus estudios de maestría.

Referencias

- Aguayo, E., Escalona, V. H. y 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. y 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. y 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. y 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. y 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. y 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. y 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-Díaz, B. H., Jiménez-Aparicio, A., Chanona-Pérez, J.J., Calderón-Domínguez, G., Alamilla-Beltrán, L., y Hernández-Sánchez, H. y 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. y Coutel, Y. (2003). Vacuum impregnation pretreatment with pectin methylesterase to improve firmness of pasteurized fruits. *Journal of Food Science* 68(2), 716 - 721.
- Dana, W. y 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.
- FAO. (2011). Faostat: Producción - Cultivos. Disponible en: www.faostat.fao.org. Accedido: 28 de Agosto 2011
- Fernandes, F.A.N., Gallão, M.I. y 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.
- Gamboa, M., Víquez, F. y Cubero, E. (2010). Utilización del método de superficie de respuesta para formular una base de banano (Musa AAA) para batidos. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1(1), 081-094
- Gornall, A.G., Bardawill, C.J. y David, M.M. (1949). Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *The Journal of Biology and Chemical* 177, 751-766.

- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M.J. y 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. y 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. y Zdune, A. (2001). Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *International Agrophysics* 15, 243 - 246
- Lamikanra, O. y 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. y 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. y Porzecka-Pawlak, R. (2005). Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering* 66(1), 43-50.
- Lin, D., Leonard, S., Lederer, C., Raber, M. y 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.
- Luna-Guzmán, I. y 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. y 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. y 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. y 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 and Technology* 18(4), 210-218.
- Mayor, L., Pissarra, J. y 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. y 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.
- Montuenga, L., Esteban, F. y Calvo, A. (2009). *Histología y Biología Celular*. Editorial Elsevier. España
- 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. y Nicolai, B. (2007). Influence of Turgor on Micromechanical and Structural Properties of Apple Tissue.: A quantitative analysis. *Postharvest Biology and Technology* 44(3), 240-247
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M.A., González, L.A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M.I., Munuera, I.P., Fiszman, S. y 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., Ferrari C. y Hubinger, D. (2010). Calcium lactate effect on the shelf life of osmotically dehydrated guavas. *Journal of Food Science* 75(9), E612-E619.
- Quintanilla-Carvajal, M.X., Meraz-Torres, L.S., Alamilla-Beltrán, L., Chanona-Pérez, J.J. y Terres-Rojas, E., Hernández-Sánchez, H.,

- Gutiérrez-López, G. F. (2011). Morphometric characterization of spray-dried microcapsules before and after α -tocopherol. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10(2), 301-312.
- Ramos, I. N., Silva, C. L. M., Sereno, A. M. y 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., Henehan, G. T. M. y 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. y Gerschenson, L. N. (2001). Turgor pressure effects on textural behavior of honeydew melon. *Journal of Food Science* 66(1), 111-117.
- Sánchez-Segura, L., Chanona-Pérez, J. J., Campos-Mendiola, R., Arenas-Ocampo, M. L. y Jiménez-Aparicio, A. R. (2011). Dinámica de crecimiento celular de *Beta vulgaris* L. cultivada in vitro mediante análisis digital de imágenes y de la dimensión fractal. *Interciencia* 36(5), 392-396
- Salinas-Hernández, R., Pirovani, M., Gardea-Béjar, A. y González-Aguilar, G. (2010). Cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de mango fresco cortado *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(3), 215 - 223.
- Seguí, L., Fito, P.J. y Fito, P. (2010). Analysis of structure-property relationships in isolated cells during OD treatments. Effect of initial structure on the cell behavior. *Journal of Food Engineering* 99(4), 417-423.
- Sila, D.N., Smout, C., Vu, T.S. y 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. y Hendrickx, M. (2009). Pectin 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. y 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.
- Tapia-Ochoategui, A. P., Camacho-Díaz, B. H., Perea-Flores, M. J., Ordóñez-Ruíz, I. M., Gutiérrez-López, G. F. y Dávila-Ortiz, G. (2011). Morfométric changes during the traditional curing process of vanilla pods (*vanilla planifolia*; orchidaceae) in Mexico. Cambios morfométricos durante el beneficio tradicional de las vainas de vainilla (*vanilla planifolia*; orchidaceae) en México. *Revista Mexicana de ingeniería Química* 10(1), 105-115.
- Tietel, Z., Bar, E., Lewinsohn E, Feldmesser E., Fallik, E. y 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. y 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. y 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. En: *Texture in Food: Solid Foods* (Kilcast D., eds.), Pp. 242 - 258. CRC Press, England.
- Walti-Chanes, J., Ochoa-Velasco, C. E. y Guerrero-Beltrán, J. Á. (2009). High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectin methylesterase. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10(4), 457-462.
- Zdunek, A. y 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.

Zheng, C., Sun, D.-W. y 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.