

# Minimally processed papaya (*Carica papaya*) fortified with calcium by vacuum impregnation

Castillo-Martínez Williams Esteward, Maestro<sup>1</sup>, Espíritu-Zavaleta Junior Anderson, Ingeniero<sup>2</sup>, Sánchez de la Cruz Luis Raffael, Ingeniero<sup>2</sup>, Bustamante Siguéñas Danny Adolfo, Maestro<sup>3</sup>, Símpalo-López Wilson Daniel, Maestro<sup>1</sup>, Miñan-Olivos Guillermo Segundo, Magíster<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>Universidad Cesar Vallejo, Perú, [wcastillom@ucv.edu.pe](mailto:wcastillom@ucv.edu.pe), [wsimpalo@ucv.edu.pe](mailto:wsimpalo@ucv.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional del Santa, Perú, [junior\\_anderson\\_92@hotmail.com](mailto:junior_anderson_92@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, [dbustamante@usat.edu.pe](mailto:dbustamante@usat.edu.pe)

<sup>4</sup>Universidad Tecnológica del Perú, Perú, [c20342@utp.edu.pe](mailto:c20342@utp.edu.pe)

**Abstract**— The effect of vacuum pressure (-100, -200 and -300 millimeters of Mercury) and impregnation time (5, 10 and 15 minutes) in the fortification of minimally processed papaya with calcium was evaluated, evaluating sensory with a scale hedonic of 9 points, in addition, the diffusion coefficient of calcium in papaya was determined. The physicochemical characterization of papaya (*Carica papaya*) was: Moisture in kg H<sub>2</sub>O/100 kg sample (91.8±0.15), Brix (7.04±0.09), pH (5.20±0.02), Titratable Acidity (0.10±0.02), Color (  $L=65.57±0.22$ ,  $a=4.55±0.13$  and  $b=54.78±0.12$ ), Firmness in Newton (15.55±0.31), and Calcium content in mg Ca/100 gr fruit (41.65±0.09). The effective porosity was determined in different ways: cylinder, coin and cube, obtaining that the coin shape (2cm x 1cm) reached 13.12%. Subsequently, vacuum impregnation was carried out at -200 mm Hg, 5 min of impregnation (compression) and 10 min of expansion, 159.87mg Ca/100 gr papaya was obtained, representing 32% of the Recommended Daily Intake (RDI), with a diffusion coefficient of  $8.87 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s according to the hydrodynamic mechanism model. The sensory analysis of taste, color and smell showed that there is no significant difference, at  $\alpha = 5\%$ , between the control papaya versus the one impregnated with calcium; Regarding texture, papaya with treatment obtained a better score; Likewise, it showed better conservation characteristics in refrigerated storage during 15 days of evaluation.

**Keywords**— impregnation, porosity, diffusion coefficient, hydrodynamic mechanism

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.119>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Papaya (*Carica papaya*) mínimamente procesada fortificada con calcio por impregnación al vacío.

Castillo-Martínez Williams Esteward, Maestro<sup>1</sup>, Espíritu-Zavaleta Junior Anderson, Ingeniero<sup>2</sup>, Sánchez de la Cruz Luis Raffael, Ingeniero<sup>2</sup>, Bustamante Siguéñas Danny Adolfo, Maestro<sup>3</sup>, Símpalo-López Wilson Daniel, Maestro<sup>1</sup>, Miñan-Olivos Guillermo Segundo, Magíster<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Universidad Cesar Vallejo, Perú, [wcastillom@ucv.edu.pe](mailto:wcastillom@ucv.edu.pe), [wsimpalo@ucv.edu.pe](mailto:wsimpalo@ucv.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Nacional del Santa, Perú, [junior\\_anderson\\_92@hotmail.com](mailto:junior_anderson_92@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, [dbustamante@usat.edu.pe](mailto:dbustamante@usat.edu.pe)

<sup>4</sup>Universidad Tecnológica del Perú, Perú, [c20342@utp.edu.pe](mailto:c20342@utp.edu.pe)

**Resumen**– Se evaluó el efecto de la presión de vacío (-100, -200 y -300 milímetros Mercurio) y tiempo de impregnación (5, 10 y 15 minutos) en la fortificación de papaya mínimamente procesada con calcio, evaluándose sensorialmente con una escala hedónica de 9 puntos, además, se determinó el coeficiente de difusión de calcio en papaya. La caracterización fisicoquímica de la papaya (*Carica papaya*) fue: Humedad en kg H<sub>2</sub>O/100 kg muestra (91.8±0.15), Brix (7.04±0.09), pH (5.20±0.02), Acidez titulable (0.10±0.02), Color (L=65.57±0.22, a= 4.55±0.13 y b= 54.78±0.12), Firmeza en Newton (15.55±0.31), y contenido de Calcio en mg Ca/100 gr fruta (41.65±0.09). La porosidad efectiva fue determinada en diferentes formas: cilindro, moneda y cubo, obteniéndose que la forma de moneda (2cm x 1cm) alcanzó 13.12 %. Posteriormente, se realizó la impregnación al vacío, a -200 mm Hg, 5 min de impregnación (compresión) y 10 min de expansión, se obtuvo 159.87mg Ca/100 gr papaya, representando el 32 % de la Ingesta diaria recomendada (IDR), con un coeficiente de difusión de 8.87x10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s según el modelo de Mecanismo hidrodinámico. El análisis sensorial de sabor, color y olor, mostraron que no existe diferencia significativa, a un  $\alpha = 5\%$ , entre la papaya control versus la impregnada con calcio; respecto a la textura, la papaya con tratamiento obtuvo un mejor puntaje; así mismo, demostró mejores características de conservación en almacenamiento refrigerado durante 15 días de evaluación.

**Palabras clave**— impregnación, porosidad, coeficiente de difusión, mecanismo hidrodinámico

## I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el mundo ha incrementado notablemente el interés de la población por llevar un estilo de vida más saludable, siendo la alimentación uno de los factores importantes [1]. La tendencia general del consumidor según una encuesta realizada a consumidores de alimentos europeos existe un aumento de los productos dietéticos, enriquecidos, concentrados de nutrientes, etc. en los hogares; pero no como sustituto de alguna de las comidas [2]. Los alimentos funcionales han ido ocupando un lugar muy significativo entre los consumidores, por ejemplo, adquirir nutrientes de fuentes distinta a las comunes y ayudar a la salud. Uno de los nutrientes que las personas tienen presente a la hora de alimentarse es el calcio [3].

El calcio es un mineral cuya presencia en la dieta es importante debido a que se encuentra en nuestro organismo, principalmente huesos y dientes; pertenece al grupo de los

macroelementos. Las principales funciones del calcio son: estructural, forma parte del tejido óseo en un 90%; coagulación sanguínea, activando la protrombina y transformando fibrinógeno soluble en fibrina; contracción muscular y síntesis de prostaglandinas y enzimas hormonales entre otras [3].

Sin embargo, adquirir este mineral tiene algunos problemas, la principal fuente son los productos lácteos, que, además, contienen lactosa y proteínas causantes de intolerancia y alergia. Por ello se hace imprescindible la obtención de éste en la misma cantidad que aporta un lácteo, pero a través de otros alimentos eliminando el problema mencionado [3].

La papaya (*Carica papaya*), es una de las frutas más saludables en el mundo. En la composición destaca su riqueza en vitamina C y provitamina A, fuente de fibra (principalmente insoluble), mejorando el tránsito intestinal, evitando el estreñimiento y protegiendo frente al cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares, respecto a los minerales, la papaya es rica en potasio y contiene cantidades apreciables de calcio, magnesio, fósforo y hierro [4].

La técnica de impregnación al vacío tiene la capacidad de modificar la formulación de los alimentos y desarrollar ingredientes funcionales mediante la incorporación de compuestos fisiológicamente activos (CFA) como vitaminas, minerales, antioxidantes, enzimas, depresores de aw, reguladores de pH, antimicrobianos, fibra dietaria, probióticos, prebióticos y simbióticos, mejorando las características sensoriales y nutricionales de los alimentos e incrementando la vida útil, además, la técnica de impregnación al vacío no involucra tratamientos térmicos, preserva el color, sabor natural, aroma y componentes nutritivos termosensibles. El enriquecimiento o fortificación de frutas con componentes fisiológicamente activos (CFA), como el calcio, juega un papel importante en el bienestar de la población de los países pobres, porque contribuiría a disminuir la deficiencia del 85,8% en la ingesta de calcio [5].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materia prima

La papaya (*Carica papaya*) variedad Hawaiana, con estadio 3, 7 °Brix, longitud entre 20 a 24 cm, diámetro entre

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.119>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

12 a 15 cm, textura dura, forma ovoide y masa entre 1 a 1.5 Kg, libres de daños mecánicos y/o fitopatológicos.

## 2.2. Equipos

Texturómetro (Brookfield, LVDV – IIIU, USA), Colorímetro (Konica Minolta, CR – 400, Japón), Refractómetro Digital automático (Rudolph Research, J157, USA), Bureta Digital continua (Medidor de Acidez) (VITLAB, Continuous RS, Alemania), Balanza Electrónica (Precisa, XB4200CSCS, Capacidad: Mín. 0.5 – Máx. 4200 g, Precisión: 0.01 g, Suecia), Balanza analítica (Precisa, LX320ASCS, Capacidad: Mín. 0.01 – Máx. 320 g, Precisión: 0.0001 mg, Suiza), Mufla (Thermolyne Sybron, N° FB1310 M-26, Tipo: Type 1300, USA), pH-metro (Thermo Scientific, Orion VersaStar Advanced Electrochemistry Meter, Singapur), Espectrómetro de absorción atómica (Thermo Scientific, ICE 3500, N/S : AAOS13174), Equipo adaptado de Impregnación a Vacío (Bomba de vacío de paletas rotatorias con lubricación por aceite, caudal 4 m<sup>3</sup>/h; Válvula neumática de regulación DN 1/4", Cv= 0.32, ejecución en acero inoxidable AISI 316; Compresor: Brillant, 50-15, Volumen 50 L, Serie 729171; Vacuómetro, rango entre 0 y -1 bar, ejecución en acero inoxidable AISI 304; Campana de vidrio (Desecador) de Φ = 150 mm para uso bajo presiones de vacío; Agitador magnético: IKA, C-MAG HS7, USA).

## 2.3. Métodos de análisis

### Descripción del proceso de elaboración de papaya mínimamente procesada.

La materia prima fue recibida en el Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, realizando una inspección visual al producto. Descartando aquellas con estado de madurez mayor a 3, daño por abrasión, insectos o contaminación microbiológica, realizando la caracterización de la papaya. El lavado se realizó por inmersión a 4 °C. La desinfectó con lejía a 150 ppm por 3 minutos. El pelado fue en forma manual con utensilios de acero inoxidable desinfectados con lejía a 100 ppm. La papaya se cortó utilizando moldes de forma cilíndrica, moneda y cubica. Las muestras se sumergieron en solución de ácido ascórbico al 0.15 % por 1 minuto. Se retiró el exceso de agua superficial deslizando la fruta sobre una superficie lisa proporcionando aire por 2 minutos, con un ventilador, luego fue almacenada la papaya mínimamente procesada, en bandejas de tecnopor cubiertas con papel film (atmósfera modificada) para el análisis de:

Humedad: método A.O.A.C (1991), Sólidos Solubles (°Brix): método AOAC (1990) 932.12, pH: método A.O.A.C (1990) 981.12, Acidez: método A.O.A.C (1990) 942.15, Color: método AOAC (1990), luminosidad (L) y parámetros (a y b), Firmeza: método LAA-I-004-003.

### Determinación de Porosidad efectiva.

Se consideró el procedimiento realizado por Fito & Betoret [6]:

La papaya fue cortada en forma: cilindro (1cmx2cm), cubo (1cmx1cm) y moneda (2cmx1cm), anotando los pesos (Mi) y volúmenes (Vfruta) iniciales. Se preparó una solución isotónica con azúcar comercial, según los 7 °Brix de la papaya en estadio 3.

Las muestras se colocaron en el recipiente de impregnación con la solución isotónica, sometiendo a la presión de vacío por tiempo de impregnación con agitación mecánica, posteriormente se descomprime a la presión atmosférica. Las muestras fueron retiradas de la solución, escurriendo el exceso de jarabe por 3 minutos. Registrando el peso final (Mf), con fines de construir la curva de porosidad. Para cada presión de vacío se calculó:

$$X = \frac{M_f - M_i}{\rho_s V_{fruta}} \quad (1)$$

Dónde:

X: Fracción volumétrica total del alimento ocupado por la solución

Mf: Peso final (g)

Mi: Peso inicial (g)

ρs: Densidad de la solución (g/cm<sup>3</sup>)

Vfruta: Volumen (cm<sup>3</sup>)

Asumiendo la deformación volumétrica despreciable se determinó la porosidad efectiva:

$$r \approx \frac{p_2}{p_1} \\ X = \varepsilon_e \left(1 - \frac{1}{r}\right) \quad (2)$$

Dónde:

r: Relación de compresión.

p2: Presión absoluta de trabajo (mm Hg.)

p1: Presión atmosférica (mm Hg.)

εe: Porosidad efectiva

Se graficó las variables X vs. (1-1/r) en la ordenada y abscisa respectivamente, ajustando los datos a una línea recta, determinando la porosidad efectiva (εe).

### Impregnación al vacío.

El sistema estuvo conformado por desecador conteniendo la solución de isotónica con cloruro de calcio dihidratado (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O), conectado a una bomba de vacío con vacuómetro.

### **Preparación del medio de impregnación.**

El componente activo fue el calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), a partir de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . El medio fue la mezcla de sacarosa a 7 °Bx y  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  al 1 %. La solución fue isotónica para minimizar transferencia de masa y evitar la deshidratación del tejido.

### **Puesta en marcha del equipo de impregnación.**

El desecador, se conectó al sistema de vacío, a las presiones y tiempos de impregnación según la metodología de la investigación, manteniendo una agitación de 100 rpm. Se apertura gradualmente la válvula del sistema llegando a la presión atmosférica después del tiempo de compresión indicado para cada tratamiento.

### **Determinación de Calcio por Espectrofotometría de Absorción Atómica a la Llama.**

Según el método AOAC, 2000 de la manera siguiente:

### **Calibración del equipo con solución de cobre (Cu) a 5 ppm.**

Se preparó una solución diluida a partir una solución estándar a 1000 ppm de Cu. Se realizó la lectura de la solución de Cu 5 ppm a 326 nm.

### **Preparación de la curva de calibrado de calcio.**

Se prepararon diluciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 ppm. La cantidad calculada de solución estándar se mezcló con 10 ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado aforando con agua en fiola de 50 ml.

### **Digestión de la muestra de papaya en un horno microondas.**

Se utilizó menos de 0.5 g de muestra, adicionando 10 ml de  $\text{HNO}_3$  en el tubo de digestión, dejando reposar por 15 min con la tapa abierta para la expulsión de gases. Se pesó el tubo de digestión con la muestra, para realizar la digestión durante 15 min a 210 °C y luego enfriar hasta 75 °C. Procediendo a destapar los tubos en la cámara de extracción de gases. El producto de la digestión fue colocado en tubos de 50 ml, completando con  $\text{HNO}_3$  hasta 10 ml (esto si hubo evaporación del ácido), luego aforar con agua hasta los 50 ml.

### **Digestión de la solución isotónica en un horno microondas.**

La relación de Ácido: Solución isotónica fue de 1: 9, añadiendo 2.5 ml de  $\text{HNO}_3$ , reposando en la campana de extracción por 15 minutos, luego, se adiciono 22.5 ml de la solución isotónica  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  al tubo de digestión. La digestión se realizó de acuerdo con el US EPA 3015a por 15 minutos a 171 °C. Los tubos fueron destapados en la cámara extractora de gases, para luego aforar con agua hasta 50 ml.

### **Lectura de absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica.**

A 422.7 nm, determinando la concentración (g Calcio/ 100 g de papaya).

### **Determinación del Coeficiente de Difusión de calcio.**

Se utilizó el modelo matemático de Mecanismo Hidrodinámico (HDM), el cual es utilizado para impregnaciones al vacío.

### **Porcentaje de variación de peso y ganancia de sólidos.**

Se utilizó la presión de vacío y tiempo de impregnación que permitió la mayor incorporación de calcio en la estructura de la papaya. Se obtuvieron pesos iniciales y finales a cada minuto del tiempo de impregnación (compresión), obteniendo cinco puntos, determinando la cantidad de calcio (mg  $\text{Ca}/100$  g papaya).

### **Análisis Sensorial.**

Se utilizó la escala hedónica de 9 puntos, para medir el grado de aceptabilidad del producto, evaluando el olor, color, sabor y textura de papaya impregnada con calcio. El jurado estuvo integrado por 20 panelista semientrenados de ambos sexos, con edades comprendidas entre 19 y 23 años. La prueba se realizó a las 10:00 horas, bajo un ambiente iluminado a 24 °C. Los resultados fueron evaluados con un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA) ( $\alpha=0.05$ ) bajo un Análisis de Varianza, considerando a cada panelista como un bloque.

Variable dependiente: Sabor, olor, color y textura

Variable independiente: Presión de vacío y tiempo de impregnación

Bloques: Panelistas

### **Evaluación Físicoquímica de papaya impregnada con calcio en almacenamiento.**

Las características físicoquímicas fueron evaluadas en almacenamiento refrigerado de la muestra que presentó mayor contenido de calcio bajo los tratamientos aplicados y papaya control. Se determinó: Porcentaje pérdida de peso, humedad, °Brix, pH, acidez, luminosidad y a, b durante 15 días.

### **Diseño Experimental.**

El diseño estadístico consistió en un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de  $3 \times 3$ , tres valores de presiones de vacío y tiempos de impregnación, es decir, 9 tratamientos con 3 repeticiones para cada interacción, siendo un total de 27 experimentos, cuyos resultados fueron evaluados estadísticamente con el software STATGRAPHICS Centurion.

### III. RESULTADOS

Las características iniciales de la papaya (*Carica papaya*), variedad Hawaiana en estadio 3 utilizada en la investigación, se presenta en la tabla 1.

TABLA 1  
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE PAPAYA HAWAIANA UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN.

Parámetro	Valor	
Humedad (Kg. H <sub>2</sub> O/100 Kg. muestra)	91.8±0.15	
Sólidos solubles (°Brix)	7.04±0.09	
pH	5.20±0.02	
Acidez titulable (Ác. Cítrico)	0.10±0.02	
Color	L	65.57±0.22
	a	4.55±0.13
	b	54.78±0.12
Firmeza (N)	15.55±0.31	
Calcio (mg Ca/100gr.fruta)	41.65±0.09	

#### Determinación de porosidad efectiva

Se utilizaron los resultados de los valores de la fracción volumétrica de líquido que ha penetrado en la estructura porosa de la papaya (X), los cuales se graficaron vs. (1-1/r) en regresión lineal.

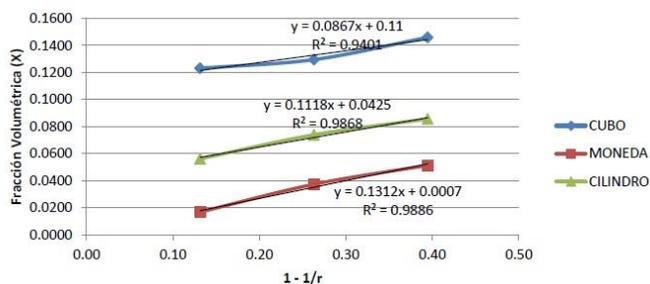


Fig. 1 Impregnación al vacío aplicada sobre la fracción volumétrica de la solución impregnada (X) en la papaya de forma: cubo, moneda y cilindro.

#### Determinación de Calcio por Espectrofotometría de Absorción Atómica

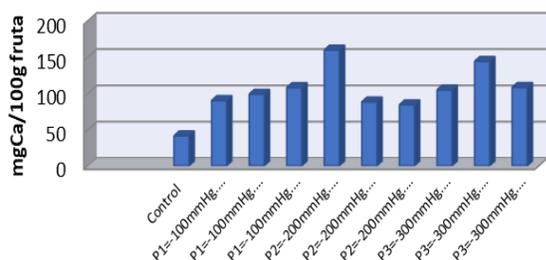


Fig. 2 Cantidad de mg de Calcio/100g de papaya obtenido en impregnación al vacío.

La Fig. 2, presenta los niveles de Ca<sup>2+</sup> obtenidos para la papaya fresca e impregnada. La mayor cantidad de calcio impregnado fue 159.87mg / 100gr fruta, representando un 32% de la IDR, demostrando la efectividad del proceso de impregnación a vacío como metodología de fortificación.

#### Determinación del coeficiente de difusión de calcio en papaya

La determinación del coeficiente de Difusión de calcio en papaya se realizó con el tratamiento a -200mmHg, 5min y 10min de expansión. Obteniendo un valor  $D_e$ , igual  $8.87 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/seg.

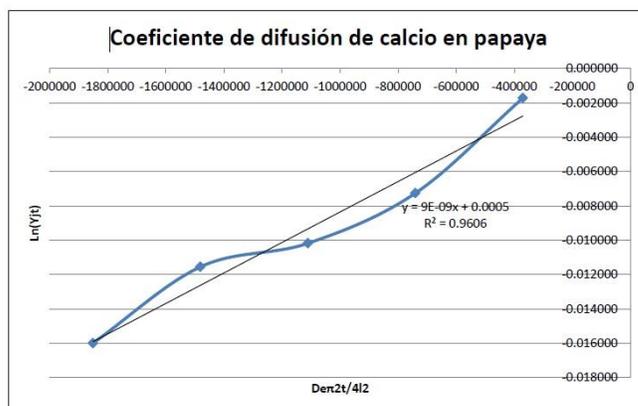


Fig. 3 Coeficiente de difusión en impregnación al vacío de calcio en papaya (Carica papaya)

#### Determinación de ganancia de masa y sólidos.

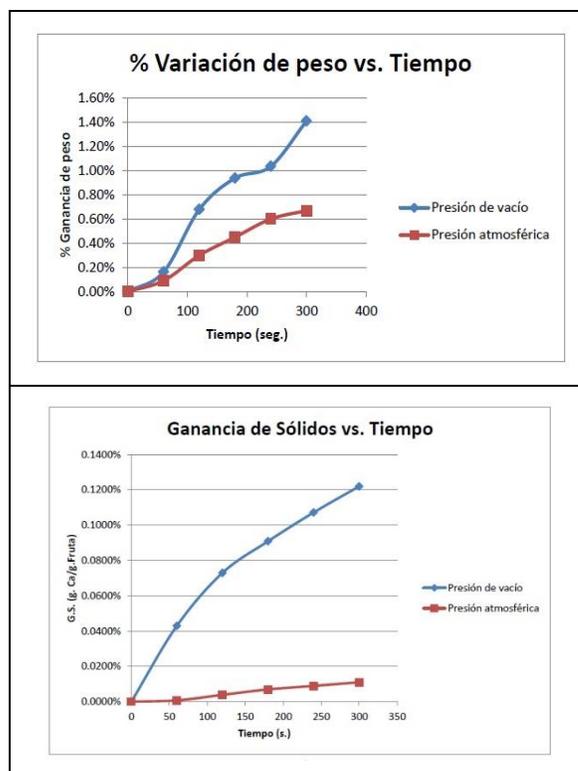


Fig. 4 Ganancia de masa y sólidos en papaya a presión atmosférica y vacío.

En la Fig. 4 se observa que a medida que el tiempo de impregnación transcurre, el porcentaje de variación de masa aumento debido a la incorporación de solución en la estructura porosa de la papaya. Se observó el incremento de masa en las muestras tratadas a presión atmosférica y vacío, siendo esta última donde la ganancia de masa fue mayor.

La ganancia de sólidos se determinó cuantificando el calcio impregnado en papaya en cada minuto de proceso; demostrándose que se obtiene hasta tres veces mayor cantidad del calcio impregnado en papaya utilizando presión de vacío igual a -200mmHg.

### Evaluación Físicoquímica de papaya impregnada con calcio durante almacenamiento

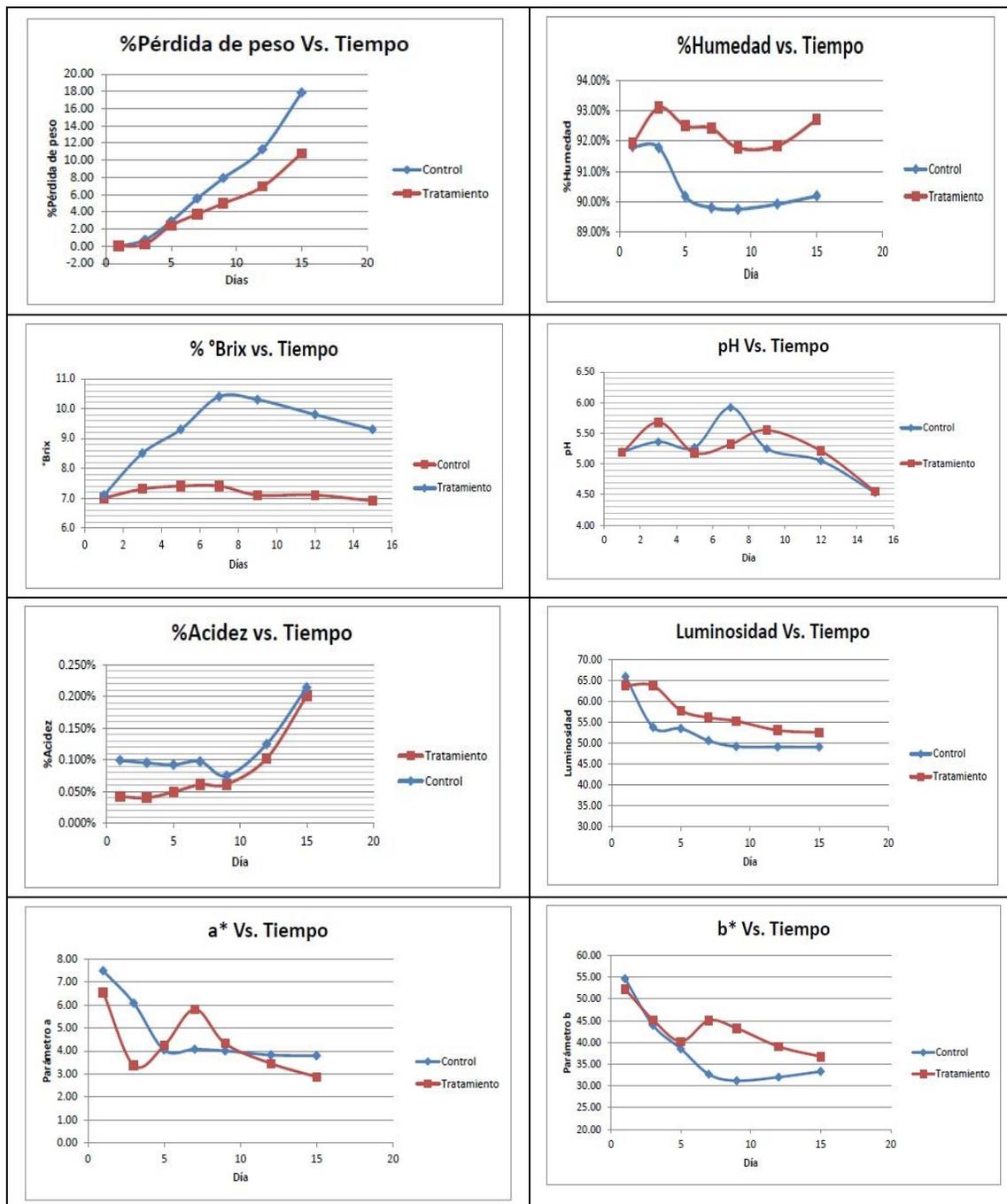


Fig. 5 Evaluación fisicoquímica de la papaya control y tratada durante almacenamiento por 15 días a 10 °C

La evaluación de papaya control y tratada, determinó diferencias en el porcentaje pérdida de peso, humedad, sólidos solubles, acidez titulable, pH, color y firmeza; donde la papaya impregnada con calcio presentó mejores características de conservación en condiciones de almacenamiento durante 15 días a 10°C.

#### **Análisis Sensorial de papaya impregnada con calcio al vacío**

El análisis de varianza, a una significancia de  $\alpha=0.05$ , muestra que no existe estadísticamente diferencia significativa con respecto a los tratamientos aplicados, incluso comparándolo con el tratamiento control. El promedio general de todos los tratamientos fue de 6.65, el cual indica que se encuentra entre la escala de “me gusta un poco” y “agradable”, el cual podría traducirse como una aceptación por parte del consumidor.

#### **IV. DISCUSIÓN**

El contenido de Humedad (Kg H<sub>2</sub>O/100Kg muestra) en papaya fue de 91.8±0.15 la cual está ligeramente fuera del rango de 91.6% (verde) a 90.7% (madura) reportado por USDA (2000) para la misma variedad, debido al estadio utilizado en la investigación, condiciones del suelo y clima. Los sólidos solubles de la papaya en estadio 3, fueron de 7.04±0.09 °Brix, determinado a 20 °C. Rueda [7], reporta que una papaya con un índice de maduración 3 tiene una coloración verde con trazas amarillas en proporción inferior al 25% del área total, y 6 a 7 °Brix. El pH obtenido a 20°C fue 5.20±0.02, dato que difiere ligeramente al reportado por Ceballos (2005), quien determino el pH entre 5.5 y 5.9. El porcentaje de acidez titulable fue 0.10±0.02%, dato que coincide con Arana & Quijano [4], quienes reportan que la acidez en papaya de variedad Hawaiana es de 0.10 ±1.60.

Los datos obtenidos para el color en papaya con respecto a la luminosidad, parámetros a\* y b\* fueron de 65.57±0.22; 4.55±0.13 y 54.78±0.12 respectivamente, los cuales varían ligeramente con lo que reporta Ceballos [8], quien determinó el color en láminas de papaya de 1 cm de espesor obteniendo como resultado L\* (64.2), a\* (8.7) y b\* (49.5), dependiendo esto del lugar de procedencia de la materia prima. La firmeza en N, inicial de papaya en estadio 3, presentó valores de 15.55±0.31N. La firmeza es un atributo de la textura de las frutas, está relacionada con el punto de cosecha, este atributo está ligado con los cambios fisicoquímicos y estructurales del material biológico. Se define la firmeza de un material como la fuerza necesaria para romper los tejidos carnosos, y está vinculada con los diferentes estados durante el proceso de maduración; por lo tanto, la firmeza de la fruta es considerada como un buen indicativo de la madurez. Esta depende del estado de la fruta en el momento de recolección, de la temperatura y forma de almacenamiento [9]. El contenido de calcio en papaya obtenido fue 41.65±0.09 (mgCa/100gr.fruta),

el cual es ligeramente mayor del rango, de 40.80mgCa (verde) a 12.90 mgCa (madura) por cada 100 g. de parte comestible [10]. Sin embargo, USDA (2000) afirma que el rango de contenido de calcio varía desde 42.8mgCa (verde) a 20 mgCa (maduro)/100g de fruta para la misma variedad; por lo tanto, el contenido de calcio obtenido en la caracterización se encuentra incluido dentro del promedio establecido. Los valores obtenidos de la fracción volumétrica (X) vs el factor (1-1/r), se ajustaron a un modelo lineal, donde los valores de porosidad efectiva representada por la pendiente de la recta variaron desde 0.0867 hasta 0.1312.

La presencia de poros en los alimentos se debe a la separación de las células a lo largo de la lamela media, resultando en la formación de espacios intercelulares rellenos de aire, donde pueden ir desde 1% (papa) hasta más del 25% (manzana) del volumen total del tejido parenquimal [11]. La determinación de la porosidad ayuda a determinar el volumen de aire que se encuentra en la fruta [11]; es por esto la necesidad de determinar la figura geométrica de la fruta a impregnar que tenga mayor porosidad.

El mayor porcentaje de porosidad efectiva en papaya fue mostrado por la figura geométrica en forma de moneda, la cual fue de 13.12%, debido a la mayor área de contacto cercana al centro, lo cual puede ser más fácil para que calcio penetre en toda la estructura y ocupe mayor espacio en toda la figura. Mujica [11] reporta una porosidad de 4.2% para papaya. Se debe considerar que el porcentaje de porosidad obtenido en esta investigación está ligado a las condiciones en las cuales fue obtenida, es decir, la agitación utilizada, temperatura de trabajo y solución isotónica utilizada, ya que esto interfiere en el resultado final.

Santacruz [11], reportó la porosidad efectiva en manzana para diferentes figuras geométricas, tales como cubo, cilindro, moneda y aro; obteniendo 14, 13, 28 y 19% respectivamente; utilizando así para su investigación la figura moneda al obtener, mayor porosidad efectiva, lo que se traduce en una mayor transferencia de masa en los procesos de impregnación. La estructura porosa del alimento juega un papel fundamental en la transferencia de masa que se lleva a cabo en procesos a vacío en alimentos porosos [11].

Fito & Betoret [6] reportan la porosidad efectiva (%) en distintos frutos tales como manzana (17%), mango (5.9%), fresa (6.4%), berenjena (64.1%), zanahoria (13.7%), melocotón (9.1%); excluyendo a algunos en donde no es factible el enriquecimiento en calcio por tener una porosidad menor a 4.66% como el kiwi (0.7%), albaricoque (2.2%), piña (3.7%), pera (3.4%), ciruela (2.0%) y remolacha (4.3%). Por lo tanto, el dato de porosidad efectiva (13.12%) para papaya obtenido en esta investigación, nos indica que esta fruta sí puede ser utilizada en impregnación al vacío con calcio.

El peso promedio obtenido para las rodajas en forma de moneda fue de  $4.8 \pm 0.05$  g. Los datos obtenidos en el rendimiento en rodajas de papaya, para la parte comestible fue de 73.5% y para la parte no comestible fue de 26.5%; los cuales difieren con lo mencionado por el United States Department of Agriculture [12], quien reporta un rendimiento de 56% en parte comestible y un 44% en parte no comestible.

## V. CONCLUSIONES

La forma cilindro y cubo tienen menor porosidad efectiva comparada con la forma moneda; presentando mayor superficie de contacto en el medio de impregnación. La mayor cantidad de calcio en mg/100g fruta, se obtuvo a -200mmHg con un tiempo de expansión de 10min. y 5min impregnación (compresión), demostrando la efectividad del proceso de impregnación al vacío en estructuras porosas. Se logró impregnar 159.87mg Ca/100g papaya, representando el 32% de la IDR para un adulto, reemplazando a productos lácteos no asimilables por muchos consumidores. El coeficiente de difusión obtenido experimentalmente fue de  $8.87 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, representando la velocidad de transferencia de calcio que penetró la estructura porosa de la papaya. El análisis sensorial mostró que el tratamiento elegido fue aceptado por los panelistas, presentando mejores características en firmeza, sabor, color y olor que la papaya control. La papaya impregnada con calcio presentó mejores características de conservación con respecto a la papaya control durante el almacenamiento refrigerado de 15 días y 10 °C.

## REFERENCIAS

- [1] Espinosa, D. (2014). Comer con propósito: ¿Qué son los alimentos funcionales? El comercio. Recuperado de <http://elcomercio.pe/viu/estar-bien/que-son-alimentos-funcionales-salud-noticia-1754405>
- [2] Ida, N. (2010). Estudio sobre tendencias de consumo de alimentos. Minsa. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/2603.pdf>.
- [3] Vázquez, F., Gras, M., & Vidal, D. (2011). Lechuga de 4º gama enriquecida con calcio. Evaluación de algunos parámetros de calidad. Instituto universitario de ingeniería en alimentos para el desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- [4] Arana, P., & Quijano, M. (2012). Extracción, Caracterización y Comparación de Látex Obtenido, en Secado por Aspersión, de tres Variedades de Papaya (Carica papaya L.). Universidad politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador.
- [5] Ostos, S., Díaz, A., & Suarez, H. (2012). Evaluación de diferentes condiciones de proceso en la fortificación de mango (Tommy atkins) con calcio mediante impregnación a vacío. Revista chilena de nutrición, 39(2), 181-190.
- [6] Fito, P., & Betoret, N. (2011). Impregnación a vacío: fundamentos y aplicaciones en el desarrollo de alimentos funcionales. Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, España.
- [7] Rueda, M. (1999). Manejo post-cosecha y comercialización de la papaya. Centro Agroindustrial del SENA, Colombia.
- [8] Ceballos, G. (2005). Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- [9] Zapata, L., Malleret, A., Quinteros, C., Lesa, C.E., Vuarant, C., Rivadeneira, M. & Gerard J. (2010). Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. Scielo, 1(41), 1851-1716.
- [10] Barreiro, M. (1999). Papaya y maíz. Claridades agropecuarias. Recuperado de <http://www.infoerca.gob.mx/claridades/revistas/067/ca067.pdf#pages=27>

[11] Santacruz, Y. (2004). Impregnación de Lactobacillus en productos de manzana, Universidad de las Américas Puebla. Mayo, México

[12] United States Department of Agriculture. (2000). Hawaii papayas. Recuperado de <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>.