



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

***EFFECTO DE LA PRESIÓN DE VACÍO Y TIEMPO DE IMPREGNACIÓN
EN LA FORTIFICACIÓN DE PAPAYA (Carica papaya) CON CALCIO***

AUTORES

- **Bach. Espíritu Zavaleta, Junior Anderson**
- **Bach. Sánchez De La Cruz, Luis Raffael**

ASESOR

- **Ing. Castillo Martínez, Williams Esteward**

Nvo. Chimbote – Perú

2015



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

***EFFECTO DE LA PRESIÓN DE VACÍO Y TIEMPO DE
IMPREGNACIÓN EN LA FORTIFICACIÓN DE PAPAYA (Carica
papaya) CON CALCIO***

Revisado y aprobado por el Asesor:

Ms. Castillo Martínez, Williams Esteward

Nvo. Chimbote – Perú

2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

***EFFECTO DE LA PRESIÓN DE VACÍO Y TIEMPO DE
IMPREGNACIÓN EN LA FORTIFICACIÓN DE PAPAYA (Carica
papaya) CON CALCIO***

Revisado y aprobado por el Jurado Evaluador:



M. Sc. Paredes Zavaleta, Jenaro



Ms. Sánchez Vaca, Daniel



Ms. Castillo Martínez, Williams

Nvo. Chimbote – Perú

2016

DEDICATORIA

A Dios, por darnos la vida y salud, así mismo la capacidad para poder concluir nuestros estudios superiores y a la vez estar con nosotros en cada meta propuesta fortaleciéndonos y dándonos esperanzas cada día.

A nuestros Padres por habernos apoyado moral, espiritual y económicamente en toda carrera universitaria y futuros planes personales.

A nuestros hermanos, por ser parte de este logro y habernos acompañado en este viaje de muchas sorpresas.

A nuestros amigos y amigas, por haber compartido con nosotros cinco años de esta gran carrera universitaria y por seguir formando parte de nuestra vida.

Los Tesistas.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todas las personas que formaron parte de este proyecto y lograron junto a nosotros culminarlo, gracias a la Dra. Elsa Aguirre Vargas, Ing. Lenin Palacios A., al Dr. Gilbert Rodríguez P., a la Dra. Luz Paucar M., al Dr. Augusto Castillo C., a la Sra. Edit Rosario, Ing. Jhon Gonzáles, Ing. Berenice, a los Ingenieros responsables de los laboratorios del Instituto de Investigación de Agroindustria y un agradecimiento especial a nuestro Asesor Ms. William Castillo M.

Además, agradecemos a nuestra querida Universidad Nacional del Santa, especialmente a la Escuela de Ingeniería agroindustrial donde nos hemos formado profesionalmente y logrado adquirir conocimientos que jamás olvidaremos.

Así mismo, a nuestros Padres por habernos apoyado siempre, de una manera incondicional.

Los Tesisistas.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	19
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	22
2.1. La papaya	22
2.1.1. Origen.-	22
2.1.2. Descripción Botánica.-	23
2.1.3. Descripción morfológica.-.....	23
2.1.4. Composición química y valor nutricional.-	26
2.1.5. Fisiología y Bioquímica.-	29
2.1.6. Maduración, Cosecha Y Manipulación.-.....	31
2.1.7. Variedades de la papaya.-	33
2.1.8. Usos de la Papaya.-.....	33
2.1.9. Producción y consumo de papaya.-	34
2.2. Frutas mínimamente procesadas	35
2.2.1. Elaboración de frutas mínimamente procesadas.-	36
2.3. Calcio	43
2.3.1. Fuentes alimenticias de Calcio.-	43
2.3.2. El calcio como componente fisiológicamente activo (CFA).-	45
2.3.3. Papel del calcio en la elaboración de frutas mínimamente procesadas.-.....	46
2.3.4. Papel del calcio sobre la estructura de la pared celular en frutas.- 47	
2.4. Cloruro de calcio	52
2.4.1. Aplicaciones de cloruro de calcio en alimentos.-.....	52
2.5. Espectroscopia de átomos	54

2.5.1.	Transmitancia y Absorbancia.-	54
2.5.2.	Ley de Lambert-Beer.-	56
2.5.3.	Espectroscopia De Absorción Atómica En Flama. (EAA).-	61
2.6.	Alimento funcional	63
2.6.1.	Alimento fortificado.-	65
2.7.	Ley de Fick para la difusión.	69
2.7.1.	Difusión en solidos porosos.-	69
2.8.	Porosidad efectiva	71
2.9.	Modelos Matemáticos	72
2.9.1.	Modelo de Crank (1964).-	74
2.9.2.	Modelo de Magee (1978).	76
2.9.3.	Modelo de Azuara (1992).	77
2.9.4.	Modelo de Mecanismo Hidrodinámico (HDM) (1996).-	80
2.10.	Impregnación a Vacío	85
2.10.1.	Equipo de Impregnación al vacío.-	85
2.10.2.	Mecanismo Hidrodinámico. –	86
2.11.	Análisis Sensorial	89
2.11.1.	Cantidad de jueces.-	90
2.11.2.	Pruebas de ordenamiento.-	90
2.11.3.	Escala Hedónica.-	90
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	91
3.1.	Lugar de ejecución	91
3.2.	Materiales y Equipos	91
3.2.1.	Materia prima.-	91
3.2.2.	Materiales.-	91

3.2.3.	Reactivos.-	92
3.2.4.	Equipos.-	93
3.3.	Métodos de Análisis	97
3.3.1.	Descripción del proceso de elaboración de papaya mínimamente procesada.-.....	97
3.3.2.	Determinación de Sólidos solubles (°Brix).-	103
3.3.3.	Determinación de Humedad.-	103
3.3.4.	Determinación de acidez.-.....	104
3.3.5.	Determinación de pH.-	104
3.3.6.	Determinación de Firmeza.-	105
3.3.7.	Determinación de Color.-	105
3.3.8.	Determinación de Porosidad efectiva.-	106
3.3.9.	Impregnación al vacío.-	111
3.3.10.	Determinación de Calcio por Espectrofotometría de absorción atómica.-.....	115
3.3.11.	Análisis Sensorial.-.....	124
3.3.12.	Determinación del Coeficiente de Difusión de calcio.-	127
3.3.13.	%Variación de peso y ganancia de sólidos.-.....	129
3.3.14.	Evaluación Fisicoquímica de papaya impregnada con calcio en almacenamiento.-	131
3.4.	Diseño Experimental.-	133
3.4.1.	Modelo estadístico.-	134
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	135
4.1.	Caracterización de la materia prima.....	135
4.2.	Determinación de porosidad efectiva	138
4.3.	Rendimiento de papaya cortada en rodajas en forma de moneda	142

4.4. Determinación de Calcio por Espectrofotometría de Absorción Atómica	143
4.5. Análisis Sensorial de papaya impregnada con calcio al vacío	152
4.6. Determinación del coeficiente de difusión de calcio en papaya	159
4.7. Determinación del % de ganancia de peso y ganancia de sólidos.....	162
4.7.1. % Ganancia de peso.-.....	162
4.7.2. % Ganancia de sólidos.-	164
4.8. Evaluación Físicoquímica de papaya impregnada con calcio en almacenamiento.....	166
4.8.1. %Pérdida de peso de papaya en almacenamiento.-.....	167
4.8.2. Variación del % Humedad de papaya en almacenamiento.-.....	170
4.8.3. Variación de °Brix de papaya en almacenamiento.-.....	172
4.8.4. Variación del pH de papaya en almacenamiento.-.....	175
4.8.5. Variación de la acidez de papaya en almacenamiento.-	178
4.8.6. Variación del color de papaya en almacenamiento.-.....	181
4.8.7. Variación de firmeza de papaya en almacenamiento.-	186
V. CONCLUSIONES	189
VI. RECOMENDACIONES.....	190
VII. BIBLIOGRAFIA.....	191

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Flor masculina (a) y femenina (b) de planta de papaya.....	24
Figura 2. Morfología de los frutos de papaya hermafrodita y hembra	25
Figura 3. Carica papaya.	26
Figura 4. Etapas fisiológicas de vida de un fruto.	29
Figura 5. Cambios relativos en el desarrollo de los frutos.	30
Figura 6. Estructura de la caja de huevos	50
Figura 7. Rayo de luz que incide perpendicularmente sobre un compuesto.	55
Figura 8. Ley De Lambert- Beer.	57
Figura 9. Curvas de calibrado para el análisis cuantitativo.....	59
Figura 10. Curva de calibrado con los límites de linealidad.....	60
Figura 11. Componente de un fotómetro de emisión de flama y de un espectrofotómetro de absorción atómica.	62
Figura 12. Equipo de Impregnación al vacío.	85
Figura 13. Sistema sólido-líquido. Evolución de la deformación relajación y HDM en un poro ideal.....	88
Figura 14. Espectrofotómetro de Absorción Atómica.	95
Figura 15. Equipo de Impregnación a Vacío.....	96
Figura 16. Recepción de papaya.....	97
Figura 17. Lavado de papaya.	98
Figura 18. Desinfección de papaya.	98
Figura 19. Pelado de papaya.....	99
Figura 20. Cortado de papaya en rodajas.	99

Figura 21. Corte de papaya en forma de monedas.	100
Figura 22. Rendimiento de papaya en rodaja.....	100
Figura 23. Inmersión de papaya en agua con ácido ascórbico al 0.15%.....	101
Figura 24. Rodajas de papaya refrigerada.	101
Figura 25. Determinación de sólidos solubles en papaya.	103
Figura 26. Determinación de humedad en papaya.....	103
Figura 27. Determinación de % Acidez en papaya.....	104
Figura 28. Determinación de pH en zumo de papaya.	104
Figura 29. Determinación de textura en papaya.....	105
Figura 30. Determinación de color en papaya.	105
Figura 31. Figuras geométricas de la papaya.....	106
Figura 32. Solución isotónica de azúcar.....	106
Figura 33. Piezas de papaya sumergidas en la solución isotónica.....	107
Figura 34. Mezcla de sacarosa (azúcar comercial) con cloruro de Calcio.....	111
Figura 35. Conexión de Bomba de vacío y Desecador	112
Figura 36. Impregnación de calcio en papaya.....	113
Figura 37. Calibración del Espectrofotómetro de Absorción atómica con solución de cobre (Cu)	115
Figura 38. Estándar de Calcio (Ca) a 1000 ppm.	116
Figura 39. Pipetas de 1000 μ L y 100 μ L.....	116
Figura 40. Curva de calibrado de calcio.	118
Figura 41. Homogenización de pulpa de papaya.	118
Figura 42. Adición de ácido nítrico en tubos de digestión.	119
Figura 43. Posición adecuada de los tubos de digestión en el microondas.	119

Figura 44. Digestor.	120
Figura 45. Aforado de fiola con agua ultra pura.....	120
Figura 46. Adición del ácido nítrico y solución isotónica al tubo de digestión....	121
Figura 47. Comportamiento de la temperatura de solución isotónica vs. Tiempo, en la digestión	122
Figura 48. Lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica a una longitud de onda de $\lambda = 422.7$	124
Figura 49. Análisis Sensorial de papaya.	126

INDICE DE DIAGRAMA

Diagrama 1. Diagrama de procesamiento mínimo de vegetales	36
Diagrama 2. Diagrama del proceso productivo para la obtención de papaya mínimamente procesada.....	102
Diagrama 3. Proceso para la determinación de Porosidad efectiva en frutas ...	108
Diagrama 4. Diagrama del proceso productivo para la obtención de papaya impregnada con calcio y su evaluación sensorial.....	114

INDICE DE CUADRO

Cuadro 1. <i>Descripción botánica</i>	23
Cuadro 2. <i>Contenido de nutrientes en 100 g de pulpa fresca de papaya</i>	28
Cuadro 3. <i>Estadío de Madurez de Papaya (Carica papaya)</i>	32
Cuadro 4. <i>Fuentes alimenticias y aporte de calcio de una porción de las mismas.</i>	45
Cuadro 5. <i>Requerimiento diario de consumo de calcio.</i>	51
Cuadro 6. <i>Componentes alimenticios funcionales y propiedades fisiológicas correspondientes.</i>	64
Cuadro 7. <i>Condiciones de presión y relación de compresión utilizadas para evaluar la porosidad efectiva</i>	110
Cuadro 8. <i>Volumen extraído del estándar de calcio a 1000ppm. (μL.) Para la preparación de la curva de calibrado.</i>	117
Cuadro 9. <i>Parámetros de digestión y lectura en el Espectrofotómetro de absorción atómica</i>	123
Cuadro 10. <i>Escala hedónica de 9 puntos para evaluación sensorial.</i>	124
Cuadro 11. <i>Presentación al azar de tratamientos al panelista</i>	125
Cuadro 12. <i>Representación del experimento factorial</i>	133
Cuadro 13. <i>ANOVA (Análisis de Varianza).</i>	134
Cuadro 14. <i>Características fisicoquímicas de papaya hawaiana utilizada en la impregnación a vacío.</i>	135
Cuadro 15. <i>1 – 1r Vs. Fracción volumétrica de líquido que ha penetrado en la papaya (X)</i>	138

Cuadro 16. <i>Porosidad efectiva de figuras geométricas en papaya.....</i>	139
Cuadro 17. <i>Rendimiento en rodajas de papaya.</i>	142
Cuadro 18. <i>Cantidad de calcio mg/100gr fruta.</i>	143
Cuadro 19. <i>Análisis de Varianza (ANOVA).....</i>	146
Cuadro 20. <i>Coeficiente de regresión para Concentración de calcio.....</i>	149
Cuadro 21. <i>Puntaje promedio para cada tratamiento en impregnación al vacío de calcio en papaya.</i>	152
Cuadro 22. <i>Análisis de varianza para el atributo olor en papaya.....</i>	153
Cuadro 23. <i>Análisis de varianza para el atributo color en papaya.....</i>	154
Cuadro 24. <i>Análisis de varianza para el atributo sabor en papaya.....</i>	156
Cuadro 25. <i>Análisis de varianza para el atributo textura en papaya.....</i>	157
Cuadro 26. <i>Factor $-\pi 2t4l2$ Vs. Fuerza impulsadora en la impregnación de calcio en papaya.....</i>	159
Cuadro 27. <i>Porcentaje de variación de peso para los procesos de impregnación a presión de vacío y presión atmosférica.</i>	162
Cuadro 28. <i>Masa de fruta, fracción de calcio y ganancia de sólidos (Ca) durante el tiempo de impregnación.</i>	164
Cuadro 29. <i>% Pérdida de peso de papaya en almacenamiento refrigerado.</i>	167
Cuadro 36. <i>Variación del % Humedad de papaya en almacenamiento refrigerado.</i>	170
Cuadro 30. <i>Variación de °Brix de papaya en almacenamiento refrigerado.</i>	172
Cuadro 33. <i>Variación del pH de papaya en almacenamiento refrigerado.</i>	175
Cuadro 34. <i>Variación de la acidez de papaya en almacenamiento refrigerado..</i>	178

Cuadro 31. <i>Variación de luminosidad y parámetros a* y b* de papaya en almacenamiento refrigerado.....</i>	181
Cuadro 32. <i>Variación de color de papaya en almacenamiento refrigerado.</i>	183
Cuadro 35. <i>Variación de la Firmeza de papaya en almacenamiento refrigerado</i>	186

INDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1. Influencia de la impregnación al vacío aplicada sobre la fracción volumétrica de la solución impregnada (X) en la papaya cortada en forma de: cubo, cilindro y moneda.	139
Gráfico 2. Cantidad de mg de Calcio/100g. de papaya obtenido en impregnación al vacío.	145
Gráfico 3. Diagrama de Pareto estandarizada para concentración de calcio.	147
Gráfico 4. Efectos principales para concentración de calcio.	148
Gráfico 5. Superficie de respuesta estimada.	150
Gráfico 6. Contorno de la superficie estimada.	150
Gráfico 7. Coeficiente de difusión en impregnación al vacío de calcio en papaya (Carica papaya).	160
Gráfico 8. %Variación de peso de papaya en impregnación al vacío y atmosférica.	163
Gráfico 9. % Ganancia de sólidos (gr. Ca/ gr.fruta) en el tiempo de impregnación.	165
Gráfico 10. % Pérdida de peso vs. Tiempo.	168
Gráfico 18. %Humedad vs. Tiempo.	170
Gráfico 11. °Brix vs. Tiempo.	173
Gráfico 15. Gráfico 2. pH vs. Tiempo.	176
Gráfico 16. %Acidez de la papaya vs. Tiempo.	178
Gráfico 12. Luminosidad de papaya vs. Tiempo.	181
Gráfico 13. Parámetro a* en papaya vs. Tiempo.	182

Gráfico 14. Parámetro b^* en papaya vs. Tiempo.....	182
Gráfico 17. Firmeza vs. Tiempo.	186

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la presión de vacío (-100mmHg, -200mmHg y -300mmHg) y la aplicación de diferentes tiempos de impregnación (5min., 10min. y 15min.) en la fortificación de papaya mínimamente procesada con calcio, evaluándose sensorialmente con una escala hedónica de 9 puntos, así mismo se determinó el coeficiente de difusión de calcio en papaya.

Se caracterizó la papaya (*Carica papaya*) fisicoquímicamente: Humedad Kg.H₂O/100Kg.muestra (91.8±0.15), 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 y b= 54.78±0.12), Firmeza en N (15.55±0.31), y contenido de Calcio en mgCa/100gr.fruta comestible (41.65±0.09). Así mismo se determinó la porosidad efectiva de la fruta en diferentes formas geométricas: cilindro (1cm x 2cm), moneda (2cm x 1cm) y cubo (1cm x 1cm), obteniéndose que para la forma de moneda se alcanza una mayor porosidad efectiva de 13.12%. De acuerdo al resultado obtenido de porosidad efectiva se preparó fruta mínimamente procesada para ser utilizada en el tratamiento de impregnación al vacío.

La respuesta a la impregnación al vacío mostró que para una presión de -200mmHg, un tiempo de expansión de 10min y un tiempo de impregnación (compresión) de 5min, se obtiene papaya MP con 319.7mgCa/200gr fruta comestibles, representando un 32% de la IDR (Ingesta diaria recomendada), con un coeficiente de difusión de $8.87 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{seg.}$, determinado de acuerdo al modelo de Mecanismo hidrodinámico.

El análisis sensorial con respecto al sabor, color y olor, muestra que no existe diferencia significativa, a un $\alpha=5\%$, de la papaya control con la papaya impregnada con calcio; siendo esto contrario con respecto a la textura, donde la papaya con tratamiento obtuvo un mejor puntaje para este atributo; así mismo, ésta mostró mejores características de conservación en almacenamiento refrigerado durante 15 días de evaluación.

ABSTRACT

The effect of vacuum pressure (-100mmHg, and -300mmHg -200mmHg) and applying different soak times (5 min., 10 min. And 15 min.) In fortifying calcium papaya minimally processed was evaluated sensorily evaluated with a hedonic scale of 9 points, also the diffusion coefficient of calcium in papaya was determined.

Papaya (*Carica papaya*) was characterized physicochemically: Humidity Kg.H₂O / 100Kg.muestra (91.8 ± 0.15), Brix (7.04 ± 0.09), pH (5.20 ± 0.02), titratable acidity (AC Citrus.) (0.10 ± 0.02) Color (L = 65.57 ± 0.22 , 4.55 ± 0.13 a = b = 54.78 ± 0.12), firmness in N (15.55 ± 0.31), and calcium content in mgCa / 100gr.fruta edible (41.65 ± 0.09). Also the effective porosity of the fruit was determined different geometric shapes: cylinder (1cm x 2cm), coin (2cm x 1cm) and hub (1cm x 1cm) to give that form of currency for a higher effective porosity is reached 13.12% .According to the result of effective porosity mininamente processed for use in the vacuum impregnation treatment was prepared fruit.

The answer to the vacuum impregnation show that -200mmHg pressure, a time of expansion of 10min and a soak time (compression) 5min, papaya MP is obtained 319.7mgCa / 200g edible fruit, representing 32% RDI (recommended daily intake), with a diffusion coefficient 8.87×10^{-9} m² / sec. determined according to the model of hydrodynamic mechanism.

Sensory analysis with respect to taste, color and smell, shows no significant difference, a $\alpha = 5\%$, of the control with the impregnated calcium papaya papaya; this being contrary regarding the texture, where papaya treated obtained a better score for this attribute; likewise, it showed best features of conservation in cold storage for 15 days of evaluation.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años en todo el mundo ha aumentado notable y considerablemente el interés de las personas por llevar un estilo de vida más saludable que, generalmente, empieza por la alimentación **(Espinosa, 2014)**.

La papaya (*Carica papaya*), es uno de los alimentos más saludables en el mundo **(Alimentación sana, 2011)**

Dentro de su composición debemos destacar su riqueza en vitaminas C y en provitamina A. También es una buena fuente de fibra (principalmente insoluble), que mejora el tránsito intestinal, evitando el estreñimiento y protege frente al cáncer de colon y la enfermedad cardiovascular, en cuanto a los minerales, la papaya es rica en potasio y contiene cantidades apreciables de calcio, magnesio, fósforo y hierro **(Arana& Quijano, 2012)**.

En la actualidad el Perú es el octavo productor a nivel mundial de cultivo de papaya (*Carica papaya*), noveno por sus 11.736 has total de su territorio y sexto en volumen producido (175.428 TM) **(Benavides, 2011)**.

Este año 2015, la producción nacional de papaya ascendería a 480 mil toneladas (12 mil Ha. Cuyo rendimiento promedio es de 40 Ton/Ha). **(León, 2015)**.

Las tendencias generales del consumidor según una encuesta realizada a consumidores de alimentos europeos (La población encuestada fue de 1200 personas de entre 18 y 65 años y que viven en poblaciones superiores a los 25.000 habitantes), existe un aumento de los productos dietéticos, enriquecidos, concentrados de nutrientes, etc. En los hogares, pero no como sustituto de alguna de las comidas **(Ida, 2010)**.

Los alimentos funcionales han ido ocupando un lugar muy significativo en las mentes de los consumidores debido a los fines que se persiguen con ellos, como por ejemplo, adquirir nutrientes de fuentes distinta a las comunes y ayudar a su salud **(Vásquez et al., 2010)**.

El mercado de alimentos funcionales se encuentra en pleno desarrollo y, gracias a la evidencia científica, se conocen mejor los efectos positivos al respecto de los componentes de los alimentos funcionales **(Espinosa, 2014)**. Uno de los nutrientes que las personas tienen más presente a la hora de alimentarse es el calcio **(Vásquez et al., 2010)**.

El calcio es un mineral cuya presencia en la dieta es muy importante debido a que se encuentra en gran cantidad en nuestro organismo, principalmente huesos y dientes y pertenece al grupo de los macro elementos. 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 en la síntesis de prostaglandinas y de enzimas hormonales entre otras **(Gras, 2001 citado por Vásquez et al., 2010)**.

Sin embargo, adquirir este mineral tiene algunos problemas, ya que las principales fuentes son los productos lácteos que contienen otros nutrientes como la lactosa y algunas proteínas de origen animal causantes de intolerancias y alergias. Por ello se hace imprescindible la obtención de éste en la misma cantidad que aporta un lácteo, pero a través de otros alimentos y a su vez eliminando el problema comentado. **(Vásquez et al., 2010)**.

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 Como la técnica de impregnación al vacío no involucra tratamientos térmicos, preserva el color, sabor natural, aroma y componentes nutritivos termosensibles **(Ostos et al., 2012)**.

El enriquecimiento o fortificación de frutas con componentes fisiológicamente activos (CFA), como el calcio, podría jugar un papel importante en el bienestar de la población de los países pobres del mundo, porque contribuiría a disminuir la deficiencia del 85,8% en la ingesta de calcio (**Ostos et al., 2012**).

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. La papaya

2.1.1. Origen.-

La papaya (*Carica papaya*) es una fruta tropical, que tiene su origen en América Central, probablemente al sur de México, La primera mención de la misma fue en el año 1535 y se le atribuye a Oviedo (Gonzalo Fernández de Oviedo 1478-1557, historiador español), quien informó a los reyes de España haber visto plantas de papayas creciendo en dicha región. Su llegada al Caribe y a Suramérica se debió a los marinos españoles y portugueses de donde se ha extendido por todos los países tropicales, cultivándose desde tiempo inmemorial en toda la zona citada, las Antillas, Brasil, Africa Tropical (Kenya, Tanganica) y Norteamérica (California, Florida). **(Mendoza, 2005 citado por Ceballos, 2005).**

Los españoles y portugueses la introdujeron en Filipinas y Malasia durante el siglo XVI, de allí a las Islas Hawaii, India y Ceilán, donde se cultiva a gran escala. Asimismo, se desarrolla muy bien en todo el archipiélago canario. En estos lugares se le conoce con diferentes nombres, tales como fruta bomba, lechosa, papaw, pawpaw y otros. **(Lobo, 1995).**

La papaya se conoce con diferentes nombres, como papaw (Inglaterra), mamao (Brasil), lechoso (Venezuela) y fruta bomba (Cuba). **(Kalra et al., 1995, Desai & Wagh, 1995 citado por Ceballos, 2005).**

Actualmente la papaya se produce a lo largo de todos los países tropicales. Brasil encabeza la producción mundial, seguido por Nigeria y México. **(Perfetti, 2000 citado por Ceballos, 2005).**

2.1.2. Descripción Botánica.-

Cuadro 1. *Descripción botánica*

Reino	Vegetal
Subreino	Embroyonta
Clase	Magnoliophyta
Subclase	Dillenidae
2° Grupo Evolutivo	Diapetala
Orden	Parietales
Familia	Caricaceae
Género	Carica
Especie	Papaya

Fuente: Jiménez, 2002

2.1.3. Descripción morfológica.-

Carica papaya L. es una planta herbácea arborescente, de rápido crecimiento, cuyo tallo es recto y cilíndrico que puede alcanzar en la madurez alturas de 10 m, generalmente es un tallo único; sin embargo, ramifica cuando se elimina el punto apical o cuando las plantas llegan a la vejez. El tronco está compuesto de un tejido más carnoso que leñoso, el cual se va endureciendo conforme va creciendo, una de las manifestaciones son las cicatrices que van dejando los pecíolos al desprenderse. Las hojas son alternas y aglomeradas en el ápice del tronco y ramas, de pecíolo largo, lisas, más o menos palmeadas, con venas medias robustas; por arriba la hoja es de color verde oscuro o verde-amarillo, brillante, marcada por nervaduras de color blanco amarillento y las venas reticuladas. **(Osche et al., 1980 citado por Ceballos, 2005).**

Las flores son grandes, blancas de 5 pétalos y 5 sépalos. Nacen en el tallo cerca de la inserción de las hojas en el mismo. Pueden ser de sexo masculino, sin ovario desarrollado; femenino, sin estambres (Figura.1.); y hermafroditas, con estambres y ovarios. El sexo de las flores determina la producción y características de los frutos. **(Pestano, 2001 citado por Ceballos, 2005).**

Las plantas femeninas generalmente producen frutos grandes de forma ovoide que tienen carne relativamente delgada, de buena calidad y textura; las plantas bisexuales producen frutos más pequeños de forma elipsoidal o cilíndrica, con carne más gruesa de calidad ligeramente inferior y las plantas masculinas producen pocos frutos y pequeños, por lo general mal formados y sin valor. **(Osche et al., 1980 citado por Ceballos, 2005).**

Las plantas femeninas generalmente producen frutos grandes de forma ovoide que tienen carne relativamente delgada, de buena calidad y textura; las plantas bisexuales producen frutos más pequeños de forma elipsoidal o cilíndrica, con carne más gruesa de calidad ligeramente inferior y las plantas masculinas producen pocos frutos y pequeños, por lo general mal formados y sin valor. **(Osche et al., 1980 citado por Ceballos, 2005).**

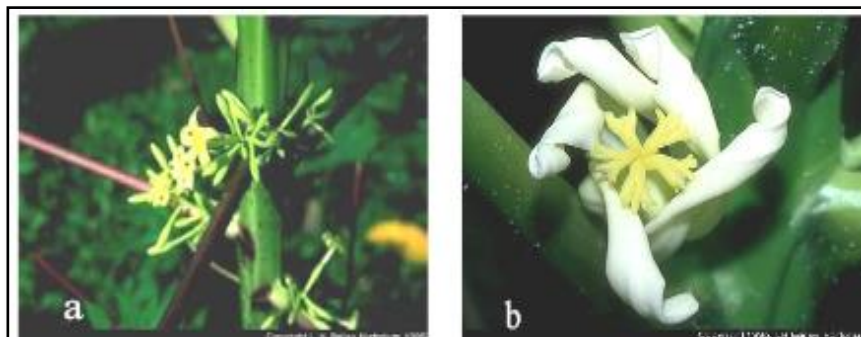


Figura 1. Flor masculina (a) y femenina (b) de planta de papaya. **(Ceballos, 2005).**



Figura 2. Morfología de los frutos de papaya hermafrodita y hembra **(Lobo, 1995).**

Las plantas femeninas generalmente producen frutos grandes de forma ovoide que tienen carne relativamente delgada, de buena calidad y textura; las plantas bisexuales producen frutos más pequeños de forma elipsoidal o cilíndrica, con carne más gruesa de calidad ligeramente inferior y las plantas masculinas producen pocos frutos y pequeños, por lo general mal formados y sin valor. **(Osche et al., 1980 citado por Ceballos, 2005).**

2.1.3.1. Fruto.

Baya ovoide-oblonga, piriforme o casi cilíndrica, grande, carnosa, jugosa, ranurada longitudinalmente en su parte superior, de color verde amarillento, amarillo o anaranjado amarillo cuando madura, de una celda, de color anaranjado o rojizo por dentro con numerosas semillas parietales y de 10 – 25 cm o más de largo y 7-15 cm o más de diámetro. Las semillas son de color negro, redondeadas u ovoides y encerradas en un arilo transparente, subácido; los cotiledones son ovoide-oblongos, aplanados y de color blanco **(Lobo, 1995).**

Las plantas femeninas generalmente producen frutos grandes de forma ovoide que tienen carne relativamente delgada, de buena calidad y textura; las planta bisexuales producen frutos más pequeños de forma elipsoidal o cilíndrica, con carne más gruesa de calidad ligeramente inferior y las plantas masculinas producen pocos frutos y pequeños, por lo general mal formados y sin valor. **(Osche et al., 1980 citado por Ceballos, 2005).**



Figura 3. Carica papaya (Ceballos, 2005).

2.1.4. Composición química y valor nutricional.-

Dentro de su composición química debemos destacar su riqueza en vitaminas C y en provitamina A, en forma de carotenos dentro de las cuales tiene principalmente: betacarotenos, gamma carotenos, épsilon carotenos y criptoxantina, un compuesto que además de transformarse en vitamina A en nuestro organismo, presenta propiedad antioxidante, atribuyéndosele acción preventiva frente al cáncer y la enfermedad cardiovascular. También destaca la presencia de vitaminas del grupo B como son vitamina B1, B2 y B3. En cuanto a los minerales, la papaya es rica en potasio y contiene cantidades apreciables de calcio, magnesio, fósforo y hierro. También es una buena fuente de fibra (principalmente insoluble), que mejora el tránsito intestinal, evitando el estreñimiento y protege

frente al cáncer de colon y la enfermedad cardiovascular. La papaya contiene una alta proporción de agua, siendo por el contrario su contenido en nutrientes energéticos (hidratos de carbono, proteínas y grasa) muy bajo. **(Arana& Quijano, 2012).**

En papayas de pulpa roja, el pigmento o colorante natural más importante es el licopeno. En papayas de pulpa más amarillenta, los pigmentos más abundantes son el grupo de las criptoxantinas. La intensidad del color depende de la concentración del pigmento, la cual varía de una localidad a otra. En pulpas rojizas, los carotenos constituyen un 10% de los pigmentos, mientras que en pulpas anaranjadas alcanzan un 30%. La pulpa contiene muy pocos ácidos orgánicos (0.099%) y éstos son una mezcla de 50% de ácido cítrico y 50% de ácido málico **(Arana& Quijano, 2012).**

Los compuestos volátiles determinan el olor y el sabor de las frutas. Se han detectado unos 134 compuestos volátiles en la papaya, la mayoría identificados desde 1985. Los compuestos volátiles más importantes de la pulpa de la papaya son el linool, el bencil isotiocianato y el ácido butanóico en la pulpa, encontrándose otros 20 compuestos de menor importancia. El bencil isotiocianato le da a la papaya su olor fuerte característico. El linool es responsable del sabor y el aroma de la pulpa madura. Casi todos estos compuestos se encuentran conjugados en el fruto, liberándose cuando las células se rompen durante el corte o consumo de las frutas. **(Arana& Quijano, 2012).**

Cuadro 2. *Contenido de nutrientes en 100 g de pulpa fresca de papaya*

COMPONENTES	UNID. MED.	VERDE	MADURO
Calorías			
Valor energético	Cal	28	32
Componentes mayores			
Humedad	%	91.6	90.7
Proteína	gr	0.8	0.5
Grasa	gr	0.1	0.1
Carbohidratos totales	gr	6.9	8.3
Fibra	gr	0.8	0.6
Minerales			
Calcio	mg	41	20
Fósforo	mg	22	12
Hierro	mg	0.3	0.4
Vitaminas			
Caroteno (A)	mg	trazas	110.0
Tiamina (B1)	mg	0.04	0.03
Riboflavina (B2)	mg	0.04	0.04
Ácido ascórbico ©	mg	36.0	46.0
Niacina (B5)	mg	0.2	0.3
Porción no comestible			
Cáscara	%	18	25
Semillas	%	6	19

Fuente: USDA, 2000 citado por Arana & Quijano, 2012

2.1.5. Fisiología y Bioquímica.-

Se puede considerar que la maduración corresponde a una serie de acontecimientos fisiológicos, bioquímicos y estructurales programados para cumplir la expresión de unos genes específicos **(Grierson, 1987 citado por Teles, 2006)**.

El desarrollo del proceso de maduración depende de un delicado y complejo equilibrio entre hormonas inductoras (etileno y ácido abscísico) e inhibidoras (auxinas, citoquininas y giberelinas) que regulan los mecanismos bioquímicos **(Belitz & Grosch, 1993 citado por Teles, 2006)**.

La vida de los frutos puede dividirse en tres etapas fisiológicas fundamentales: el crecimiento, la maduración y la senescencia, sin embargo, no es fácil establecer una distinción entre ellas. Al crecimiento y maduración fisiológica suele hacerse referencia conjunta hablando de fase de desarrollo. La senescencia se define como un período durante el cual los procesos bioquímicos anabólicos (sintéticos) dan paso a los catabólicos (degenerativos), lo que conduce al envejecimiento y la muerte tisular **(Teles, 2006)**.

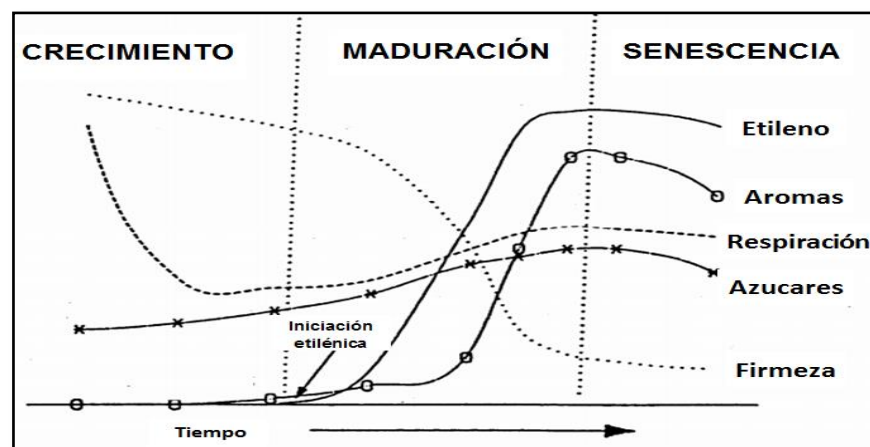


Figura 4. Etapas fisiológicas de vida de un fruto **(Teles, 2006)**.

Los frutos jóvenes almacenan carbono en forma de almidón, pero este es utilizado antes de que el fruto alcance la fase de crecimiento hasta maduración y las conversiones de almidón en azúcar no están involucradas en el proceso de maduración. En este periodo se producen una serie de cambios muy importantes en la composición y en el metabolismo de los frutos, como alteraciones hormonales y modificaciones en la actividad respiratoria. En las últimas etapas tienen lugar una serie de reacciones bioquímicas y químicas, que determinan las características del fruto, relativas a su color, aroma, sabor y textura y que hacen que pueda ser considerado comestible. Se pueden destacar: disminución de la firmeza; descenso del contenido de clorofilas y aumento de carotenoides y otros compuestos coloreados; incremento de diversos carbohidratos y descenso de los ácidos orgánicos y aumento de compuestos aromáticos, lo que se traduce en el proceso de maduración del fruto **(Wills et al., 1999 citado por Teles, 2006)**. Se pueden destacar: disminución de la firmeza; descenso del contenido de clorofilas y aumento de carotenoides y otros compuestos coloreados; incremento de diversos carbohidratos y descenso de los ácidos orgánicos y aumento de compuestos aromáticos, lo que se traduce en el proceso de maduración del fruto **(Wills et al., 1999 citado por Teles, 2006)**.

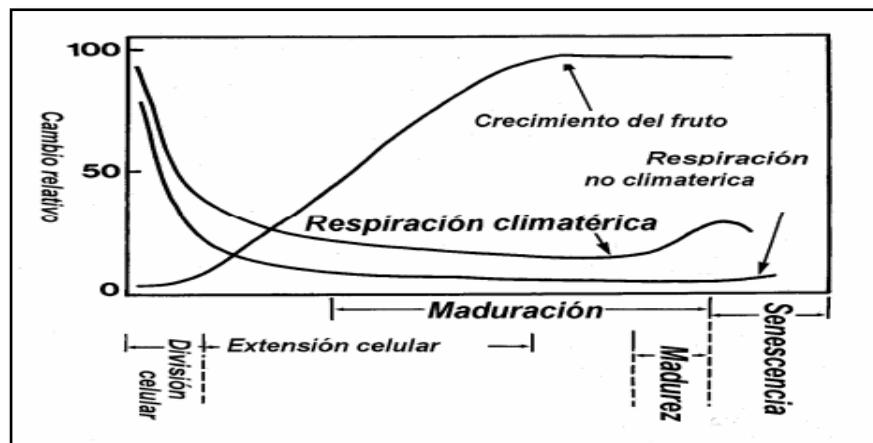


Figura 5 : Cambios relativos en el desarrollo de los frutos **(Wills et al., 1999 citado por Teles, 2006)**.

2.1.6. Maduración, Cosecha Y Manipulación.-

El estado de recolección se alcanza cuando los frutos empiezan a ablandarse y a perder el color verde del ápice. **(Ceballos, 2005).**

Los frutos maduran entre 4 y 6 meses dependiendo del clima y del cultivo. Durante el desarrollo, la relación pulpa:piel se incrementa en 1.5-2.5 meses, luego avanza de forma constante hasta la maduración y declina al final de este período. El estado de madurez está caracterizado por el cambio de color de la piel. Durante este período ocurren cambios importantes, el contenido de agua varía de 87 a 97% y los hidratos de carbono aumentan de 2 a 12%. El contenido de materia seca se incrementa cerca del 7% 15 días después de la antesis hasta 13% en la cosecha. También ocurre una disminución constante de alcoholes, sólidos insolubles, almidón y muchos minerales, pero se incrementan los azúcares totales. Los ácidos no volátiles y los ácidos orgánicos, como el ácido cítrico y el ácido málico, disminuyen en contenido hasta un mínimo a final del período de madurez **(Kalra et al., 1995 citado por Ceballos, 2005).**

Una práctica poscosecha comúnmente utilizada es el tratamiento térmico; agua caliente a 49 °C por 15 minutos para controlar enfermedades fúngicas, seguido de un baño de agua fría para bajarles la temperatura, que ayuda a prolongar brevemente el período de almacenamiento **(Guzmán, 1998 por Ceballos, 2005).**

La papaya como fruta tropical es susceptible al frío. A temperaturas de 7°C o inferiores, se observa una inapropiada madurez, acompañada de un pobre desarrollo del color en la pulpa y piel, desarrollándose tejidos suaves y acuosos con picaduras, incrementando un mal desarrollo y menor reducción de azúcares **(Kalra et al., 1995 por Ceballos, 2005).**

Cuadro 3. *Estadío de Madurez de Papaya (Carica papaya)*

	Estadio	Característica
	1	Una raya o verde verde claro con una veta amarilla ligeramente definida
	2	Una raya Verde más claro con una veta amarilla bien marcada más ancha y más evidente
	3	Dos rayas o rayada Verde alimonado con un 30 % de color amarillo repartido en dos vetas
	4	Tres rayas Verde alimonado con un 50 % de color amarillo repartido en tres vetas
	5	Cuatro rayas amarillo en un 70 % y 30 % verde claro
	6	Amarilla o madura maciza amarillo en un 90 % al 100 % con ligeros tonos de verde claro y punto de maduración recomendado para iniciar su consumo

Fuente: Frutas casas, 2012

2.1.7. Variedades de la papaya.-

En Centroamérica es difícil hablar de variedades debido a los múltiples cruzamientos que se producen por libre polinización. En zonas subtropicales se han desarrollado verdaderos cultivares como son: “Puna” y “Sunrise Solo” en Hawái, esta última no ha mostrado pérdida de vigor a pesar de la autopolinización a que ha sido sometida por varias generaciones, “Bettina” en Australia, “Hortus Gold” en África del Sur y “Betty” en Florida, todas logradas por medio de polinización controlada; otras variedades conocidas son: “Bluestem”, “Graham”, “Rissimee”, “Waimanalo”, “Kapoho”, “Cartagena”, ésta última con frutos grandes que rebasan los 5 kg, “Red Panamá”, “Singapore”, “Hortusgred” y la variedad “Fairchild” utilizada en las partes altas de las Islas Canarias **(Guzman,1998 por Ceballos, 2005)**.

En el Perú Destacan las variedades Solo, Bluestem, Graham, Betty, Fairchild, Rissimee, Puna y Hortusgred, las variedades más aceptadas son la Sólo, cuyo fruto, en plantas hermafroditas, pesa unos 450 gramos; la forma es de pera, la cáscara dura y el sabor dulce; y la variedad Puna, ambas procedentes de Hawái **(Infoagro, 2014)**.

2.1.8. Usos de la Papaya.-

El fruto de la papaya se consume principalmente como fruta fresca y también se utiliza como materia prima para la obtención de la enzima proteolítica papaína, similar en su acción a la pepsina y tripsina, con numerosas aplicaciones en la industria de la alimentación, cosmética y farmacopea. Los frutos también pueden emplearse en la elaboración de purés, néctares, mermeladas, fruta deshidratada, fruta cristalizada, alimentos infantiles, conservas en almíbar y otros, **(Góngora y León, 1991 citado por Ceballos, 2005)** además no

debe dejarse de lado la opción de consumirlo verde, en picadillos, como si se tratara de una hortaliza, incluso las semillas han sido utilizadas como especia **(Guzmán, 1998 citado por Ceballos, 2005)**.

La papaya contiene látex que exuda al ser sesgado o puncionado el epitelio, este látex contiene en mayor concentración a la papaína. En Panamá utilizan el látex de las hojas para eliminar verrugas. Dentro de los diversos usos que se le ha dado a la papaya, también destaca el uso de las semillas en India como desparasitante y antipirético, además se utilizaban infusiones de flores frescas para combatir la tos. Las hojas y la corteza se usaban para remover manchas o colorantes. En México suele utilizarse con frecuencia una pasta hecha con las semillas para ablandar carne **(Bioextracto, 2003 citado por Ceballos, 2005)**.

2.1.9. Producción y consumo de papaya.-

La papaya (*Carica papaya*), es uno de los alimentos más saludables en el mundo **(Alimentación sana, 2011)**

En 2010 la producción de papaya se estimó en 11.22 millones de toneladas y la tasa decrecimiento anual de su producción a nivel mundial fue del 4.35%. Entre 2009 y 2010 el crecimiento fue del 7.26% y si se comparan los años 2002 y 2010 el incremento fue del 34.82%). **(Evans & Ballen 2012)**.

En la actualidad el Perú es el octavo productor a nivel mundial de cultivo de papaya (*Carica papaya*), noveno por sus 11.736 has total de su territorio y sexto en volumen producido (175.428 TM), **(Benavides, 2011)**.

Este año 2015, la producción nacional de papaya ascendería a 480 mil toneladas (12 mil hectáreas (Has) cuyo rendimiento promedio es de 40 toneladas por Ha). **(león. 2015)**.

2.2. Frutas mínimamente procesadas

Las frutas MP son productos que contienen tejidos vivos y activos, los cuales han sufrido modificaciones a causa de las operaciones de procesado, y que dan como resultado un cambio fisiológico **(Baldwin et al., 1995 citado por citado por Torres, 2007).**), enzimático **(Yu & Yang, 1980 citado por citado por Torres, 2007)** y fisicoquímico, trayendo consigo un cambio sensorial **(Watada et al., 1996 citado por citado por Torres, 2007).**

Algunas operaciones básicas en el procesado mínimo de vegetales y frutas, como la eliminación de la piel (pelado) y el troceado, inducen a cambios en la calidad debido a las lesiones que se producen en el tejido **(Brecht, 1995; Watada et al., 1996 citado por citado por Torres, 2007).**

La impregnación a vacío (IV) es uno de los tratamientos que se les puede aplicar a las frutas MP para disminuir los niveles de O₂, así como un medio para incorporar en la estructura antioxidantes, conservantes, azúcares y ácidos, que pueden mejorar las cualidades organolépticas. Esta operación causa una alteración estructural y fisiológica, ocasionada por el intercambio del gas presente en los poros por el líquido externo, lo que afecta los niveles requeridos en la respiración de frutas mínimamente procesadas y, por tanto, influye en la vida útil de los productos. Este intercambio ocurre al sumergir el producto en la fase líquida para someterlo a baja presión y así expandir el gas para que salga, y luego, al restituir la presión atmosférica, el producto se comprime favoreciendo la penetración del líquido exterior en los poros **(Giraldo, 2006).**

2.2.1. Elaboración de frutas mínimamente procesadas.-

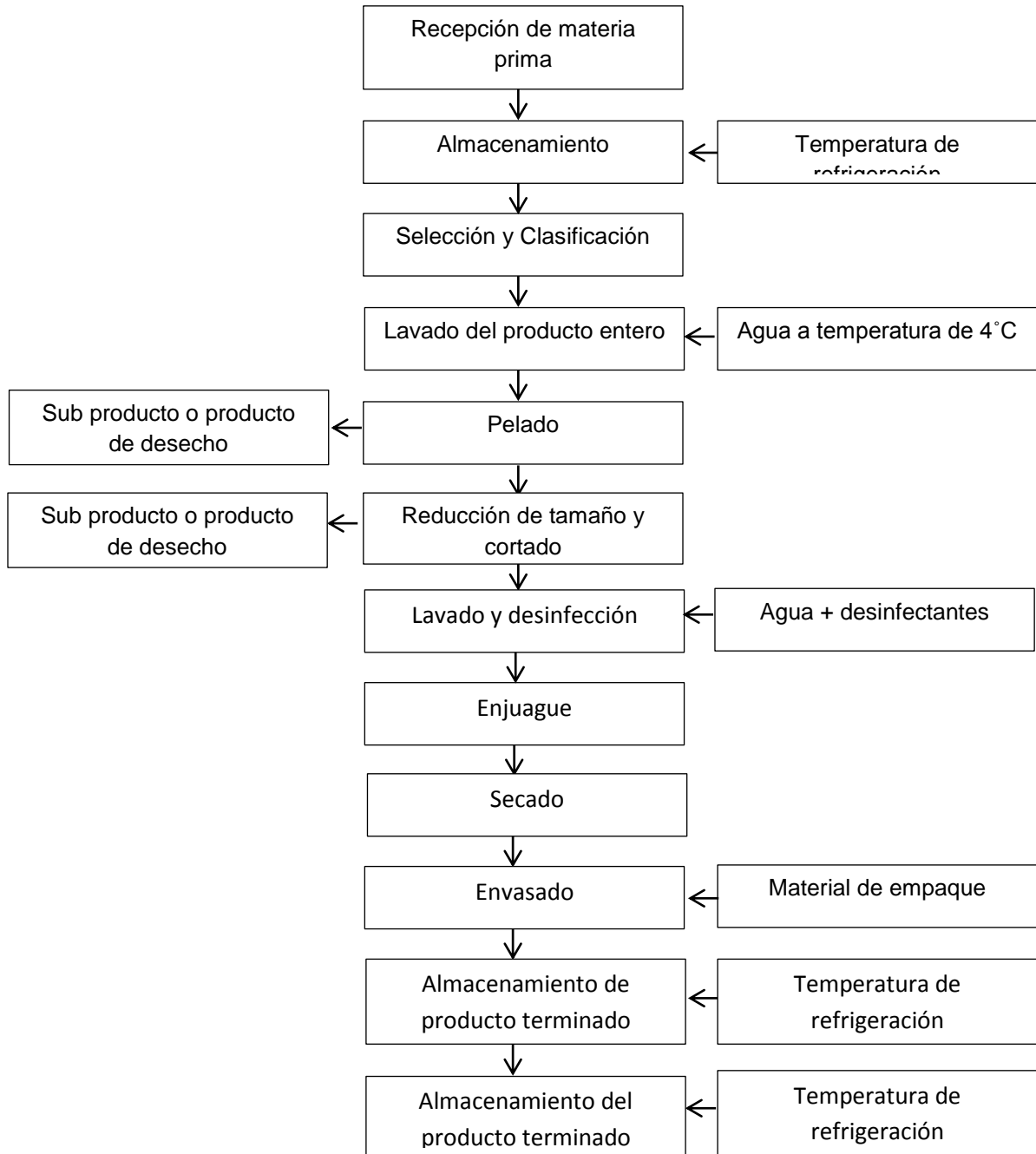


Diagrama 1. Diagrama de procesamiento mínimo de vegetales (Parzanese, 2012).

2.2.1.1. *Recepción de materia prima.*

En esta etapa es fundamental realizar una inspección visual para controlar características como color, olor, textura, temperatura de llegada, y otras. Es recomendable efectuar una evaluación y control de los proveedores para garantizar que la materia prima fue producida y recolectada en forma adecuada y respetando períodos de carencia. **(Parzanese, 2009).**

2.2.1.2. *Almacenamiento.*

Cuando hay que almacenar la materia prima durante un período prolongado (mayor a un día) antes de su transformación, es necesario hacerlo a temperaturas de refrigeración. Dependiendo de cada producto, esa temperatura de almacenamiento debería estar entre los siguientes rangos: -1 a 6°C, de 6 a 13°C o 13 a 18 °C. **(Parzanese, 2009).**

2.2.1.3. *Selección y clasificación.*

Consiste en realizar diversos factores: tamaño, forma, color, firmeza, magulladuras, superficies cortadas, alteración y solidez. Aquellos vegetales de menor tamaño, sobremaduros o defectuosos deberían separarse de los que presenten características aceptables, ya que los productos alterados pueden perjudicar la calidad del resto. La selección y clasificación de frutas y hortalizas puede ser realizada en forma mecánica mediante la operación de distintos equipos (seleccionadores de cinta plana, de tambores, de rodillos, vibratorios, entre otros) o manualmente, por personas entrenadas para detectar y

comprobar la aceptabilidad o no del producto rápidamente. **(Parzanese, 2009).**

2.2.1.4. Lavado.

Para eliminar la suciedad, restos de tierra, contaminantes físicos y en reducir la carga microbiana mediante la utilización de agua. Esta operación puede realizarse en forma manual o mecánica. Este es el primer lavado que se realiza en el proceso y tiene como objetivo separar y eliminar las sustancias extrañas eventualmente presentes en las frutas u hortalizas o en los cestos o bins de recolección y transporte (ramitas, estacas, insectos, arena, tierra, etc.). En algunos casos resulta efectivo realizar operaciones de separación mediante gravedad, flotación, escurrido o inmersión. Es recomendable que la temperatura del agua sea de 4°C aproximadamente para mantener el producto frío. **(Parzanese, 2009).**

2.2.1.5. Pelado.

Consiste en separar la corteza o piel del vegetal. Es importante que durante el pelado el producto no sufra daños físicos ni químicos. Existen tres tipos de pelado (Pelado al vapor, Pelado a cuchillo, Pelado por abrasión,), que pueden implementarse en la elaboración de frutas y verduras mínimamente procesadas, sin causar deterioro en las características sensoriales. **(Parzanese, 2009).**

2.2.1.6. Reducción de tamaño y cortado.

Son operaciones dirigidas a dar forma y tamaño definido a las frutas y hortalizas. Es importante recordar que el cortado causa daños mecánicos y modificaciones metabólicas y fisiológicas que a su vez pueden ocasionar el rápido deterioro del tejido vegetal. Por esto es necesario enfriar el producto hasta 4°C inmediatamente después del cortado. En la actualidad se comercializan distintos tipos de cortadoras automáticas en continuo o semicontinuo, que satisfacen las distintas necesidades de esta industria, según la fruta o vegetal y el tipo de corte que se desee obtener (cubos, rodajas, tiras, rallado, etc.). **(Parzanese, 2009).**

2.2.1.7. Lavado y desinfección.

Es una etapa crítica del proceso, ya que su resultado influye directamente en la inocuidad y vida útil del producto final. Su objetivo es enfriar los vegetales luego de la etapa de corte y eliminar los exudados celulares que se producen tras esa operación y que pueden favorecer el crecimiento microbiano, por lo que se emplea abundante agua clorada. El cloro y sus derivados son desinfectantes muy efectivos, tanto para la higienización del producto como para desinfectar el agua empleada en el proceso. En la selección de un sistema de lavado y desinfección adecuado es necesario tener en cuenta numerosos factores:

- Parámetros físico-químicos del agua de lavado tales como pH, temperatura, demanda química de oxígeno,

demanda bioquímica de oxígeno, turbidez, contenido de materia orgánica, etc.

- Tipo de vegetal a procesar, Específicamente las características que tiene la superficie del producto (roturas, hendiduras, tipo de tejido, hojas internas o externas, etc.).
- Forma de aplicación de los desinfectantes (lavado por inmersión con o sin agitación, spray, etc.).
- Tiempo de contacto.
- Carga microbiana inicial.
- Aplicación de una o varias etapas de lavado.
- Relación entre peso y superficie del producto.

Un sistema de desinfección resulta efectivo cuando es capaz de mantener un nivel residual del agente desinfectante a la salida del tanque de lavado que garantice la presencia necesaria de desinfectante en el agua, previniendo así la contaminación cruzada entre producto contaminado y producto limpio. Es esencial tener en cuenta que utilizar agentes desinfectantes es necesario para asegurar la calidad microbiológica del vegetal lavado y del agua de proceso

Para obtener mejores resultados se recomienda incluir una etapa de prelavado en forma de ducha que elimine la suciedad y los exudados celulares, y luego una etapa de desinfección por inmersión donde se aplique el desinfectante. **(Parzanese, 2009).**

2.2.1.8. *Enjuague.*

Esta etapa se efectúa dependiendo del agente desinfectante utilizado, a fin de eliminar residuos de la superficie del producto. Para mantener fríos los vegetales la operación debe realizarse con agua de proceso a temperaturas próximas a los 4°C (**Parzanese, 2009**).

2.2.1.9. *Secado.*

Operación esencial para garantizar un tiempo de vida útil aceptable de los productos. Dependiendo de las características del vegetal y del volumen de producción puede realizarse un secado centrífugo, o un secado convectivo por aire frío seco (**Parzanese, 2009**).

2.2.1.10. *Envasado.*

Está destinado a proteger el producto terminado de daños físicos, químicos o microbiológicos durante su almacenamiento, distribución y comercialización. Para el diseño de los envases, en general se utilizan películas plásticas poliméricas. (**Parzanese, 2009**).

2.2.1.11. *Almacenamiento del producto terminado.*

Es fundamental que el depósito donde se almacenan las frutas y hortalizas mínimamente procesadas posea óptimas condiciones de limpieza e higiene y cuente con un sistema de refrigeración que evite el deterioro del producto (**Parzanese, 2009**).

2.2.1.12. Distribución y comercialización.

En esta etapa, al igual que durante el almacenamiento, se debe garantizar la integridad de la cadena de frío. Si esto no se cumple el producto perderá calidad y tendrá menor vida útil (**Parzanese, 2009**).

2.3. Calcio

El calcio (Ca) es un mineral perteneciente al grupo de los macro elementos. Es el mineral que se encuentra en mayor cantidad en el organismo, principalmente en huesos y dientes. Se encuentra mayoritariamente en los productos lácteos, que causan en ocasiones problemas de intolerancia digestiva, en algunas hortalizas y leguminosas, en las espinas de los pescados en conserva, y en los pescados pequeños cuando se consumen enteros. El calcio es un mineral cuya presencia en la dieta es importante en muchas etapas de la vida. Las principales funciones del calcio son las siguientes **(Bello, 1995 citado por Torres, 2007)**:

- Función estructural.- más del 90% del calcio que se encuentra en el cuerpo forma parte del tejido óseo, en forma de fosfato y carbonato.
- Coagulación sanguínea.- el ión Ca^{2+} interviene en la activación de la protrombina y en la transformación del fibrinógeno soluble en fibrina.
- Contracción muscular.- el calcio también mantiene la actividad neuromuscular, así como los procesos de acortamiento y contracción muscular.
- Otras funciones del calcio.- En la síntesis de prostaglandinas y de enzimas hormonales, en la regulación de la respuesta frente a diferentes estímulos, etc.

2.3.1. Fuentes alimenticias de Calcio.-

Los productos lácteos, principalmente la leche y el yogurt, constituyen los productos que más aporte de calcio y mejor biodisponibilidad poseen. Sin embargo existen otras fuentes alimenticias que aportan este mineral, aunque en muy baja proporción, por lo que se requiere un elevado consumo de estos productos para alcanzar la Ingesta Recomendada (IR), aunque hay que tener en cuenta la biodisponibilidad del mismo. El cuadro 4,

muestra algunas fuentes alimenticias comunes, y el aporte de calcio que provee una porción de cada una de ellas.

Debido a que los vegetales tales como el brócoli y la espinaca poseen sustancias que disminuyen la absorción del mineral se requieren grandes cantidades de estos alimentos para obtener la misma cantidad de calcio que posee un vaso de leche, la cual constituye una de las fuentes más ricas y de fácil absorción. Según la USDA (2003) el contenido de calcio de un vaso de leche entera equivale a un vaso de yogurt o a 8 tazas de espinaca hervida o a 2 ¼ tazas de brócoli cocido, considerando la diferente biodisponibilidad de estos alimentos. Por otro lado, existen actualmente una amplia variedad de alimentos enriquecidos o fortificados con el mineral, como es el caso de ciertas bebidas, jugos de frutas, lácteo y cereal **(Casim, 2011)**.

Cuadro 4. Fuentes alimenticias y aporte de calcio de una porción de las mismas.

Alimento	Calcio(mg)	IR (%)
Yogurt, bajo en grasas, 1 pote 200 g	277	28
Yogurt entero, 1 pote 125g	126	13
Sardinas, enlatadas en aceite, 90 g	324	32
Queso cheddar, 1 porción 45 g	306	31
Leche, descremada, 1 vaso 200 cc.	290	29
Leche, entera (3.25% grasa láctea), 1 vaso 200cc.	280	28
Queso mozzarella, 1 porción 45g	275	28
Espinaca cocida, ½ taza	120	12
Helado de crema, 1/2 taza	85	8.5
Repollo crudo, 1 taza	74	7
Pan blanco, 1 unidad 30 g	31	3
Brócoli crudo, 1/2 taza	21	2
Pan integral, 1 rodaja	20	2
Queso crema, 1 cucharada	12	1

Fuente: USDA, 2003 citados por Casim, 2011.

2.3.2. El calcio como componente fisiológicamente activo (CFA).-

El calcio (Ca^{2+}) es un elemento esencial para el cuerpo humano, por lo cual debe ser obtenido a partir de la dieta. Sus diversas funciones incluyen tanto el mantenimiento de la integridad del esqueleto como la regulación de la excitabilidad nerviosa, la contracción muscular y la coagulación de la sangre. **(Levenson & Bockman, 1994 citado por Casim, 2011).**

Un déficit de calcio puede dar lugar a diversas enfermedades, como hipertensión, cáncer de colon, osteomalacia, y osteoporosis, entre

otras, siendo la osteoporosis una de las más importantes, ya que afecta a un amplio sector de la población, fundamentalmente personas de edad avanzada y mujeres que han alcanzado la menopausia. La osteoporosis también puede darse en mujeres embarazadas, durante el período de gestación o en madres lactantes, aunque en menor proporción. Esta enfermedad se debe a la falta de calcio en el hueso, originando en consecuencia la fragilidad del mismo. **(Steinmetz & Ingelheim, 1999 citado por Torres, 2007).**

2.3.3. Papel del calcio en la elaboración de frutas mínimamente procesadas.-

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. Cabe resaltar su gran importancia tanto en el ámbito sensorial (como agente mejorador de textura y antipardeante) como en el nutricional. Por esto, las sales de calcio son señaladas como una alternativa más para los tratamientos post-cosecha y para el diseño de nuevos productos. **(Torres, 2007)**

Algunas de las características que deben tener estas sales, para ser consideradas como parte de las materias primas, en el diseño de un producto hortofrutícola mínimamente procesado, son **(Torres, 2007):**

- Alta solubilidad: Cuanto más soluble es una sal, tanto más eficaz es en términos de absorción y biodisponibilidad. Es importante la solubilidad de la sal en la zona gastrointestinal (en relación con el pH). Esta solubilidad puede ser muy distinta de la solubilidad de la sal en el agua.

- Sabor: No debe presentar sabores indeseables para el consumidor (“sabor a medicina”), ni alterar los sabores originales del alimento.
- Calificación GRAS: Debe estar dentro de la lista de aditivos evaluados como GRAS. Éste calificativo se atribuye a las sustancias “Generalmente Reconocidas como Seguras”.

2.3.4. Papel del calcio sobre la estructura de la pared celular en frutas.-

El calcio juega un papel primordial en la estabilización de la pared celular vegetal ya que en la lámina media se encuentra unido a los grupos R-COO⁻ de los ácidos poligalacturónicos presentes en las pectinas, permitiendo la unión de varias cadenas formando la conocida estructura denominada “caja de huevos”. **(Redondo-Nieto, 2004, citado por Ceballos, 2005).**

El calcio después de acumularse entre la pared celular y la lámina media interacciona con el ácido péctico para formar pectato de calcio, reestructurando la integridad de ambas estructuras y que en la medida que aumentan sus concentraciones tiende a existir un incremento de la firmeza, disminución de la intensidad respiratoria y una menor sensibilidad del fruto a diversos desórdenes fisiológicos. **(Romero, et al., 2006).**

Una terminología adecuada exigiría que únicamente se denominasen pectinas a las cadenas poligalacturónicas metiladas al 100%, y ácidos pécticos a los que contuviesen una proporción de metilación inferior; el término ácidos pécticos designa a los ácidos poligalacturónicos exentos de grupos metilo. Sin embargo en la práctica el término pectinas se emplea tanto para los ácidos pécticos como para las pectinas propiamente dichas, pues las

pectinas sólo se han logrado en laboratorio, no conociendo su existencia en la naturaleza **(Cheftel & Cheftel, 1976)**.

El grado de esterificación de las pectinas (GE) corresponde al porcentaje de unidades de ácido galacturónico esterificado por cada cien unidades de la cadena. Según su GE se pueden clasificar en dos grupos: pectinas de alto metoxilo (HM), si su GE es mayor al 50 %, y pectinas de bajo metoxilo (LM), si su GE es menor al 50 %. En frutas, la proporción de metilación varía según la especie, variedad y grado de madurez entre otros factores, siendo los siguientes algunos de los valores promedio: frutilla, 60 %; pera, 51 %; manzana, 72 % y mango 78 % **(Van Buren, 1991, citado por Casim, 2011)**. Según su GE, las pectinas poseen la propiedad de formar geles bajo distintas condiciones. Las pectinas HM gelifican en un medio con alto contenido de sólidos solubles, usualmente azúcar en concentraciones > 50 % p/p, y en un rango de pH entre 2,0 y 3,5: si su GE es del 100%, formará geles con la sola presencia de azúcar. En cambio, las pectinas LM pueden formar geles estables en ausencia de azúcar, pero requieren la presencia de cationes divalentes, como el calcio, para formar entrecruzamientos moleculares. Sin embargo, el agregado de 10-20% de sacarosa proporciona geles con mejores características de textura, más rígidos. Estas pectinas son menos sensibles a los cambios de pH. **(Casim, 2011)**.

Se conoce que la mayor parte del Ca^{2+} presente en los tejidos vegetales se localiza extracelularmente en la pared celular, en los pectatos de la lámina media, en las membranas y, en menor medida, en algunos orgánulos celulares del tejido parenquimático como la vacuola **(Val & col., 1999, citado por Casim, 2011)**.

El calcio es esencial para el mantenimiento de la estructura y el funcionamiento de las paredes y membranas celulares. El mantenimiento de la estructura de la pared celular depende particularmente del enlace del calcio con los componentes pécticos de la lámina media **(Poovaiah, 1986; Quiles y col., 2004, citado por Casim, 2011)**. Se ha demostrado que cuando se agregan iones calcio en exceso, las moléculas de polipectatos forman dímeros en una conformación de “caja de huevo” (Figura 6.) en las cuales el calcio interactúa y se combina con los oxígenos de dos cadenas adyacentes formando los puentes de Ca^{2+} , neutralizando en un 50 % los grupos carboxilos. Sin embargo, si el GE es mayor del 40%, esta dimerización no ocurre **(McFeeters, 1985, citado por Casim, 2011)**. Cuando el grado de metilación de las pectinas es bajo, el calcio es un efectivo agente para mejorar la firmeza del tejido vegetal, formando en estas condiciones complejos insolubles. En presencia de este ion existe una tendencia al incremento de formación de gel cuando el GE decrece. Las uniones de calcio incluyen a otros grupos funcionales además del grupo carbonilo. Existe, por ejemplo, una fuerte interacción entre los iones Ca^{2+} y otros átomos de oxígeno de las pectinas; también forma complejos con azúcares neutros y con los ácidos orgánicos presentes naturalmente en la fruta.

En el tejido vegetal, aproximadamente el 90 % del calcio naturalmente presente en él está comprometido o en forma insoluble. Cuando los iones Ca^{2+} son desplazados por agentes quelantes, existe una pérdida de firmeza y solubilización de las pectinas. Por ejemplo, un tejido vegetal en presencia de oxalato de amonio, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), y/o hexametáfosfato de sodio presenta una marcada pérdida de la cohesividad. Esto demostraría que las uniones Ca^{2+} -pectina son los principales factores que

contribuyen a la adhesión celular, actuando como un cemento intracelular que proporciona firmeza al tejido vegetal (Van Buren, 1991; Alonso y col, 1995, citado por Casim, 2011).

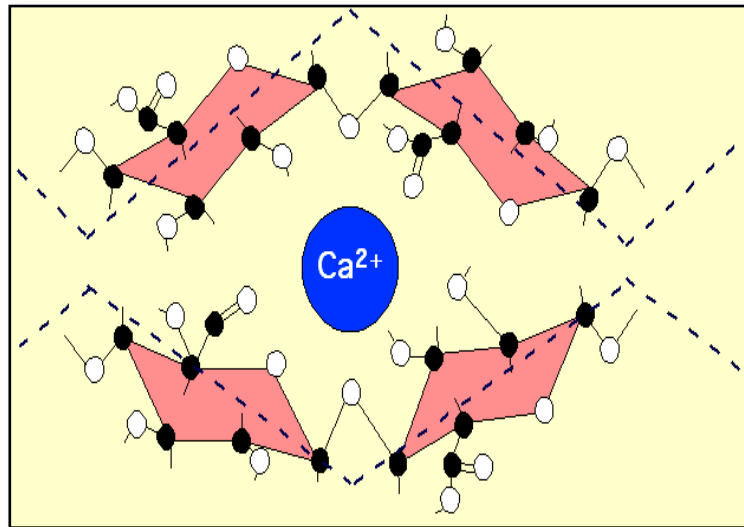


Figura 6. Estructura de la caja de huevos (Redondo 2004 citado por Casim, 2011).

Según el modelo de “la caja de huevos”, la asociación entre las pectinas de bajo grado de metilación y los iones de calcio provocan 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 un fluido, una viscosidad aparente más alta (Pérez, 2003, citado por Ceballos, 2005).

El calcio fortifica la fruta cambiando la estructura de la pectina, fortifica la pared celular en frutas mediante la interacción con el ácido péctico de las células de pared para formar pectato cálcico (Suutarinen et al., 1999, citado por Ceballo, 2005). Además, el calcio puede mejorar la textura de un tipo de tejidos de la planta y carecer de efectos en otro tipo de tejidos de la misma (Ahrni et al., 2001, citado por Ceballos, 2005).

2.3.5. Necesidades diarias de calcio.-

Cuadro 5. *Requerimiento diario de consumo de calcio.*

Grupo de edad o etapa de la vida	Calcio (mg/día)
Bebés de 0 a 6 meses	200
Bebés de 6 a 12 meses	260
1 a 3 años	700
4 a 8 años	1 000
9 a 13 años	1 300
14 a 18 años	1 300
19 a 30 años	1 000
31 a 50 años	1 000
51 a 70 años, hombres	1 000
51 a 70 años, mujeres	1 200
Más de 70 años	1 200
14 a 18 años, embarazadas/amamantando	1 300
19 a 50 años, embarazadas/amamantando	1 000

Fuente: El Comité de Nutrición y Alimentos, Instituto de Medicina, Academia Nacional de las Ciencias, 2010, citado por NIH, 2012.

2.4. Cloruro de calcio

El cloruro de calcio (CaCl_2) es un líquido viscoso y dependiendo de su grado de purificación es cristalino o turbio que se disuelve fácilmente en agua **(Galvis & Hernández, 1994)**

- No es considerado una sustancia peligrosa.
- No es corrosivo.
- Se disuelve en agua para formar iones acuosos.

El cloruro de calcio es una sal altamente soluble que en solución se disocia generando un mol de Ca^{++} y dos moles de Cl^- . Posee una notable capacidad de absorción de humedad desde el ambiente y materiales (higroscopia) y las soluciones que forman tienen un punto de congelamiento muy bajo **(Oxy, 2014)**.

La naturaleza del cloruro de calcio permite que este se pueda encontrar en un estado anhidro (CaCl_2), formando hidratos ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) o en solución **(Oxy, 2014)**.

2.4.1. Aplicaciones de cloruro de calcio en alimentos.-

La aplicación de calcio en los alimentos se realiza a través de sales, como el cloruro de calcio (CaCl_2) el cual tiene un papel importante en la conformación de las membranas de la pared celular, fortalecimiento de su integridad y por ende la textura durante el tiempo de conservación, ya que el calcio influye en la permeabilidad de la membrana, activación de enzimas específicas y en la evolución de la senescencia de los frutos, considerando que un aumento de su concentración en el tejido, altera los procesos de la respiración y senescencia **(García & Praderas, 2010)**.

El cloruro de calcio (CaCl_2) ha sido utilizado como retardante de la maduración de varias frutas, como manzana, tomate, Guanábana y lulo. Su efecto es el de retardar al máximo los procesos fisiológicos y bioquímicos debido a la acción de refuerzo sobre los componentes estructurales básicos como las membranas y las sustancias pécticas **(Galvis & Hernández, 1994)**

En este sentido, el cloruro de calcio se ha utilizado para mantener la firmeza de distintos alimentos, como en manzanas enteras, frutillas enteras y en tomates. El lactato de calcio se ha utilizado como agente potenciador de firmeza en frutillas y en uvas **(Baker, 1993 citado por Casim, 2011)**.

2.5. Espectroscopia de átomos

El término espectroscopia significa la observación y el estudio del espectro, o registro que se tiene de una especie tal como una molécula, un ion o un átomo, cuando estas especies son excitadas por alguna fuente de energía que sea apropiada para el caso. **(Rocha, E. 2000).**

Uno de los pioneros en la espectroscopia fue Isaac Newton, quien a principios de 1600 observó y estudió el comportamiento de la luz solar cuando esta atraviesa por un prisma. En 1831, J.F. Herschel demostró, que las sales de diferentes metales producen distintas coloraciones a la flama cuando las sales disueltas o en forma directa son puestas en contacto con ésta. Así por ejemplo la sales de calcio dan a la flama un color naranja, las de sodio un color amarillo, las de potasio un color violeta, las de cobre un verde azulado, las de estroncio un color verde amarillo, etc. Estas observaciones fueron corroboradas posteriormente por otros investigadores sugiriendo que de esta forma podría identificarse el metal formador de la sal en un compuesto químico específico. **(Nieman et al., 1998).**

2.5.1. Transmitancia y Absorbancia.-

Cuando un rayo de luz de una determinada longitud de onda de intensidad I_0 incide perpendicularmente sobre una disolución de un compuesto químico que absorbe luz o cromóforo, el compuesto absorberá una parte de la radiación incidente (I_a) y dejará pasar el resto (I_t), de forma que se cumple: $I_0 = I_a + I_t$

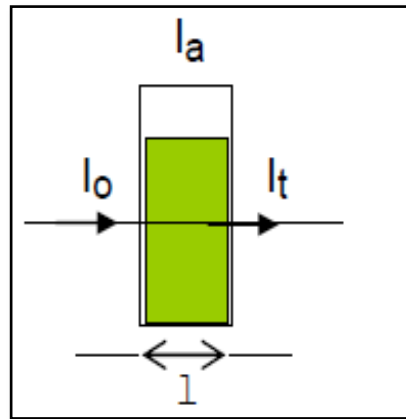


Figura 7. Rayo de luz que incide perpendicularmente sobre un compuesto (Díaz et al., 2006).

2.5.1.1. La Transmitancia (T).

De una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra, I_t , y la cantidad de luz que incidió sobre ella, I_o , y se representa normalmente en tanto por ciento: $\% T = I_t/I_o \times 100$

La transmitancia nos da una medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra. La relación entre $\%T$ y la concentración no es lineal, pero asume una relación logarítmica inversa. (Díaz et al., 2006).

2.5.1.2. La absorbancia (A).

Es un concepto más relacionado con la muestra puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo de $1/T$, en consecuencia: $A = \log 1/T = -\log T = -\log I_t/ I_o$.

Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales ($I_0 = I_t$), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces A vale $\log 1 = 0$.

La cantidad de luz absorbida dependerá de la distancia que atraviesa la luz a través de la solución del cromóforo y de la concentración de éste. **(Díaz et al., 2006)**.

2.5.2. Ley de Lambert-Beer.-

Las leyes de Lambert-Bouguer-Bunsen-Roscoe-Beer son esenciales para entender y para el empleo inteligente de la metodología de la absorción espectrofotométrica. La combinación de estas leyes se conoce por conveniencia como Ley De Beer. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esta es la combinación de varias leyes y que todas las personas antes mencionadas contribuyeron a ella. **(Díaz et al., 2006)**.

El enunciado de la ley de Beer dice: “la intensidad de un haz de luz monocromática, que incide perpendicular sobre una muestra, decrece exponencialmente con la concentración de la muestra”, según esta ley:

$$A=K.C.$$

A = Absorbancia de la muestra

K =Es una concentración que depende de la longitud de onda usada, de la muestra que se analiza y del espesor de la celda usada.

C = Concentración de la muestra

Esta ecuación $A=K.C.$; puede, ser similitud con la ecuación matemática $y =Mx+n$; señalarse lo siguiente:

- A Corresponde con Y
- K Corresponde con M
- C Corresponde con X
- Corresponde con n

Se deduce entonces, que la ecuación $A=K.C.$, no es más que una recta y como no tiene el término “n” pasar por el origen de coordenada. En función de ello, K no es más que la pendiente de dicha recta.

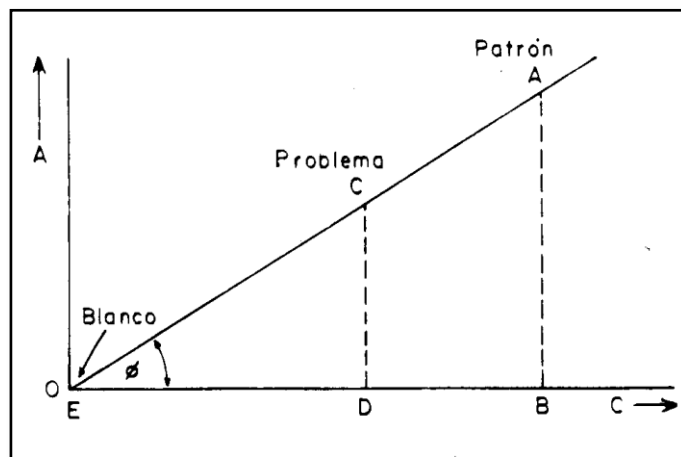


Figura 8. Ley De Lambert- Beer (Díaz et al., 2006).

Es evidente que si la muestra sigue la ley de Beer, los patrones y los problemas estarán representados por puntos sobre esta recta y la muestra en blanco, por ser patrón de concentración cero, estará representada por el punto de contacto de la recta con el origen de coordenada. (Díaz et al., 2006).

Cuando se representa el tanto por ciento de transmisión en una escala logarítmica, en función de la concentración (miligramos por litro, ppm, etc.), en una escala lineal, si los puntos caen sobre una línea recta ello es indicativo del cumplimiento de la ley de Beer. Una representación matemática o instrumental al comprobar el cumplimiento de la ley de Beer. (Díaz et al., 2006).

2.5.2.1. Comprobación de la ley de Beer.

No se conoce desviaciones de la ley de Lambert mientras sea aplicada a un material homogéneo, en cambio, la validez de la ley de Beer debe comprobarse siempre antes de utilizarla para un análisis cuantitativo exacto. Para comprobar la validez de la ley de Beer se prepara una serie de disoluciones de concentraciones perfectamente conocidas, en intervalos en el cual se supone que se encuentra la concentración de la muestra problema, y se mide la absorbancia de estas disoluciones a una longitud de onda determinada y a una longitud de cubeta dada. Las absorbancias medidas se representan en función de las concentraciones, tal como se indica en la figura 9. Si la ley de Lambert Beer se cumple en todo el intervalo de concentraciones estudiado, se obtiene una línea recta que pasa por el origen. Las desviaciones de la ley son positivas o negativas según la curva se desvíe por encima o por debajo de la línea recta. Algunas veces las causas de las desviaciones pueden conocerse y eliminarse y en otros tolerarse. Los métodos analíticos, los nuevos reactivos, así como los nuevos instrumentos, pueden ser causa de las desviaciones. Si como resultado de la

investigación, resulta que la causa de la desviación no es fácilmente corregible pero es reproducible, la curva de la ley de Beer puede utilizarse como curva de calibrado y determinar, por lo tanto, la concentración de una muestra desconocida a partir de la medida de su absorbancia. **(Eugene, 1990).**

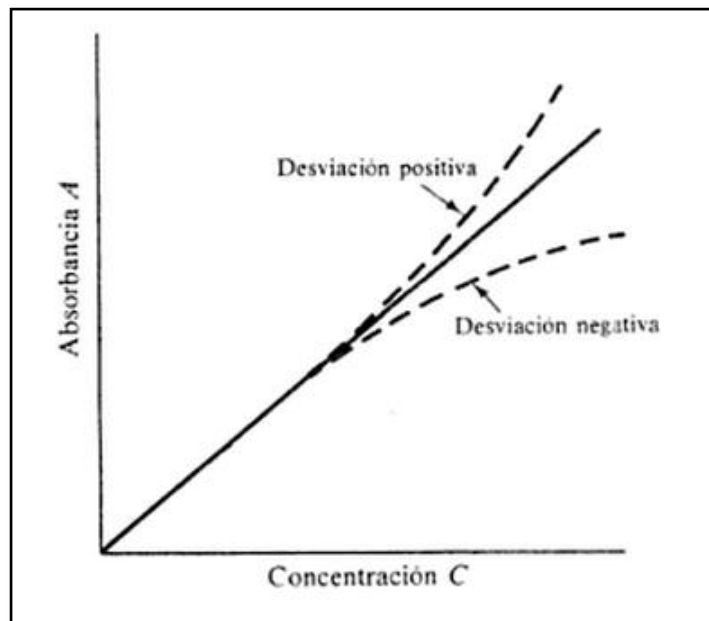


Figura 9. Curvas de calibrado para el análisis cuantitativo. **(Eugene, 1990).**

En las determinaciones espectrofotométricas se cumple la ley de Lambert Beer cuando la curva de calibrado sigue la llamada linealidad, que es el intervalo de concentración de la muestra entre las cuales existe una relación lineal entre concentración y absorbancia. **(Gonzales & Varea, 2011).** La ley de Lambert Beer tiene una serie de

limitaciones, solo es aplicable para la luz monocromática y las soluciones utilizadas para el análisis, en teoría no deben tener concentraciones inferiores a 0.01M (moles/litros), Aunque en la práctica se trabaja sin problemas con concentraciones más bajas. Otras posibles fuentes de error que originan desviaciones en la curva de calibrado y por ello en la Lambert Beer son: **(Gonzales & Varea, 2011)**.

- Altas concentraciones de la muestra.
- Que los lados de la cubeta estén rayados o con algo de suciedad.
- Si la muestra se disocia, asocia o reacciona con la solución.
- Incertidumbres o ruidos asociados al instrumento.

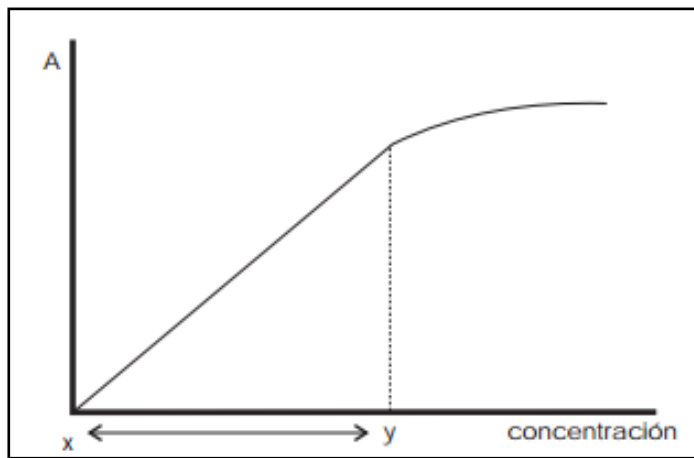


Figura 10. Curva de calibrado con los límites de linealidad. **(Gonzales & Varea, 2011)**.

2.5.3. Espectroscopia De Absorción Atómica En Flama. (EAA).-

La espectrofotometría de absorción atómica consiste en conducir a un estado de excitación a las moléculas de un elemento, haciendo uso de la energía térmica, para esta prueba se usa la flama o llama compuesta por una combinación de oxígeno acetileno o en su defecto óxido nítrico acetileno, cuando la muestra se encuentre a alta temperatura se le proyecta una luz a la longitud de onda a la cual el elemento en prueba absorbe la energía **(Pérez, 2012)**

En la espectroscopia de absorción de llama, una muestra es aspirada en una llama y es atomizada. Un haz de luz dirigido a través de la llama, en un monocromador, y en un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama **(Londoño, 2013)**.

La cantidad de energía en la longitud de onda característica absorbida en la llama es proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un rango de concentración limitada **(Londoño, 2013)**.

La absorción atómica es una técnica capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos del sistema periódico. Sus campos de aplicación son, por tanto, muy diversos. Este método se puede aplicar para la determinación de ciertos metales como: antimonio, cadmio, calcio, cesio, cromo, cobalto, oro, plomo, níquel, entre otros. Se emplea en el análisis de aguas, análisis de suelos, bioquímica, toxicología, medicina, industria farmacéutica, industria alimenticia, industria petroquímica, etc. **(Pérez, 2012)**

La espectroscopia de absorción atómica (EAA), tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos, está determinada por la ley de Beer, que relaciona ésta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores. (Rocha, E. 2000).

Los componentes instrumentales de un equipo de espectrofotometría de absorción atómica son los similares a los de un fotómetro o espectrofotómetro de flama, excepto que en EAA se requiere de una fuente de radiación necesaria para excitar los átomos del analito. Estos componentes se representan en la Figura 11. (Rocha, E. 2000).

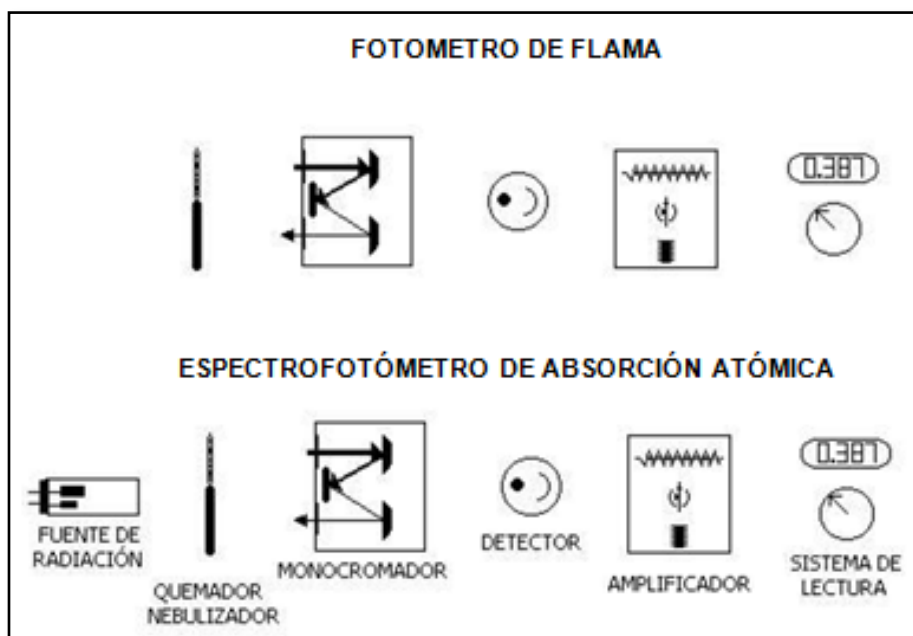


Figura 11. Componente de un fotómetro de emisión de flama y de un espectrofotómetro de absorción atómica. (Rocha, E. 2000).

2.6. Alimento funcional

Es cualquier alimento o ingrediente alimenticio modificado que pueda proporcionar un beneficio para la salud además de los nutrientes tradicionales que contiene (Thomas, 1994 citado por Guillermo, 2002)

Se consideran alimentos funcionales aquellos que, con independencia de aportar nutrientes, han demostrado científicamente que afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporcionan un mejor estado de salud y bienestar. Estos alimentos, además, ejercen un papel preventivo ya que reducen los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades. Entre los alimentos funcionales más importantes se encuentran los alimentos enriquecidos o fortificados. **(Aranceta & Serra, 2003).**

Los alimentos funcionales pueden formar parte de la dieta de cualquier persona. Pero además, están especialmente indicados en aquellos grupos de población con necesidades nutricionales especiales (embarazadas y niños), estados carenciales, intolerancias a determinados alimentos, colectivos con riesgos de determinadas enfermedades (cardiovasculares, gastrointestinales, osteoporosis, diabetes, etc.) y personas mayores. **(Aranceta & Serra, 2003).**

Cuadro 6. Componentes alimenticios funcionales y propiedades fisiológicas correspondientes.

COMPONENTE	PROPIEDADES FISIOLÓGICAS PROPUESTAS
Vitaminas y minerales	Varias: requeridas por el cuerpo en pequeñas cantidades para realizar funciones esenciales y se considera que contribuyen a la prevención de ciertas condiciones, ej.: calcio y prevención de la osteoporosis, antioxidante como defensa ante los radicales libres.
Fibra	Soluble: disminuye los niveles de colesterol sérico y controla el índice de glucemia. Insoluble: aumenta el tránsito intestinal aliviando ó previniendo la constipación, demora la absorción de glucosa
Extractos vegetales	Varias: Gingseng, guaraná, ginkgo biloba: alivian la fatiga y el stress, aumentan la atención mental y la concentración.
Prebióticos	Equilibran la flora intestinal, mejoran el sistema inmunológico, alivian la digestión y disminuyen los signos de constipación
Probióticos	Equilibran la flora intestinal, fortalecen el sistema inmunológico, previenen enfermedades coronarias.
Péptidos y proteínas	Varias, ej.: caseína, inmunoglobulinas, lactoferrina: regulación de la presión arterial, regulación del sistema inmunológico
Ácidos grasos esenciales	Previenen enfermedades coronarias, estimulan el desarrollo psíquico.

Fuente: Casim, 2011.

2.6.1. Alimento fortificado.-

La fortificación de alimentos se refiere a la adición de micronutrientes a determinados alimentos. Esta estrategia es considerada actualmente como uno de los principales enfoques para mejorar el consumo de vitaminas y minerales en las poblaciones. Debido a los costos relativamente bajos y a los demostrados beneficios, la fortificación de alimentos aparece como una de las intervenciones de salud pública más rentables. Sin embargo, deben tenerse en cuenta algunas condiciones para que los programas de fortificación sean efectivos:

- Que el alimento fortificado sea consumido en cantidades constantes y conocidas, por una gran proporción de la población objetivo.
 - Que el compuesto de fortificación a utilizar presente buena biodisponibilidad y no afecte las propiedades sensoriales de los alimentos.
 - Que los niveles seleccionados de fortificación sean adecuados para mejorar la ingesta de nutrientes de la población y que sean seguros, para evitar que aquellos que tienen un consumo elevado de alimentos fortificados tengan ingestas excesivas del nutriente.
- (Rovirosa & Zapata, 2010).**

Los alimentos fortificados son productos suplementados en forma significativa en su contenido natural de nutrientes esenciales (proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales). Estos alimentos deben aportar entre el 20% y el 100% de los requerimientos diarios recomendados para adultos y niños **(ArgenBio, 2007).**

Se han identificado tres tipos de fortificación de los alimentos:

2.6.1.1. Enriquecimiento o fortificación masiva.

Que suele ser propiciado por los gobiernos en casos en que exista una ingesta insuficiente a nivel poblacional, con consecuencias negativas para la salud pública. En general se utilizan alimentos básicos e inclusive condimentos como vehículo para aportar vitaminas y minerales adicionales al total de la población. El enriquecimiento es obligatorio, es decir, todas las marcas del alimento fortificado deben adicionar el/los micronutrientes, y todos utilizan los mismos niveles de fortificación y el mismo compuesto. Existen numerosos ejemplos en el mundo; en el 2003, con el objetivo de prevención de las anemias y malformaciones del tubo neural, tales como la anencefalia y la espina bífida, se implementó el enriquecimiento de la harina de trigo con hierro y ácido fólico, adicionándose también tiamina, riboflavina y niacina a niveles de restitución de lo que se pierde en la molienda del trigo. **(Rovirosa & Zapata, 2010).**

2.6.1.2. Fortificación de alimentos específicos.

En que los nutrientes se adicionan a alimentos dirigidos a subgrupos específicos de la población. Los ejemplos incluyen alimentos complementarios para lactantes y niños de corta edad, alimentos desarrollados para programas de alimentación escolar, galletas especiales para los niños y las mujeres embarazadas, y las raciones para la alimentación de emergencia y personas desplazadas. **(Rovirosa & Zapata, 2010).**

2.6.1.3. Fortificación voluntaria.

Impulsada por el mercado (market driven fortification en inglés), en los casos en que una determinada empresa productora de alimentos toma la iniciativa de agregar cantidades específicas de uno o más micronutrientes a alguno de sus productos. Este tipo de fortificación está regulado en nuestro país por el Código Alimentario Argentino en cuanto a que alimentos pueden ser fortificados y en que rango de niveles de fortificación, pero cada empresa puede utilizar diferentes niveles de fortificación dentro de los permitidos en la normativa. En muchos casos las empresas adicionan nutrientes respondiendo a necesidades de marketing y de posicionamiento del producto, sin embargo, la fortificación impulsada por el mercado puede desempeñar un papel positivo en la salud pública, contribuyendo a satisfacer las necesidades de nutrientes y de ese modo reducir el riesgo de deficiencias. En la Unión Europea, por ejemplo, los alimentos procesados y fortificados han demostrado ser una fuente sustancial de micronutrientes como el hierro, y las vitaminas A y D (WHO 2006). La fortificación voluntaria también puede mejorar la oferta de micronutrientes que son difíciles de agregar en cantidades suficientes a través de la fortificación obligatoria. **(Rovirosa & Zapata, 2010).**

2.6.1.4. **Ventajas.**

- No requiere modificación de los hábitos alimentarios, y a diferencia de lo que sucede con los suplementos, no requiere que la persona tenga que cumplir con la ingesta regular de un suplemento medicamentoso.
- El nutriente o nutrientes agregados se incorporan a la alimentación diaria en cantidades bajas pero constantes. En general cuando debidamente regulado, la fortificación lleva un riesgo mínimo de toxicidad crónica.
- Alta relación costo/beneficio
- Si se consumen de forma regular y frecuente, los alimentos fortificados mantendrán las reservas corporales de nutrientes de manera más eficiente que el uso intermitente de suplementos. **(Rovirosa & Zapata, 2010).**

2.7. Ley de Fick para la difusión

Cuando el gradiente de concentración permanece constante con el paso del tiempo, de tal forma que la rapidez de difusión es constante, la ley de Fick, puede aplicarse a los casos en que la difusividad es independiente de la concentración y en donde no hay flujo por convección. Entonces, N_A , la rapidez de difusión de la sustancia A por unidad de sección transversal de sólido, es proporcional al gradiente de concentración en la dirección de la difusión, $-dc_A/dz$ (Treybal, 1998).

$$N_A = -D_A \frac{dc_A}{dz} \quad \text{Ec. 1}$$

En donde D_A es la difusividad de A, a través del sólido. Si D_A es constante, la integración de la ecuación (1) para la difusión a través de una placa plana de espesor Z da como resultado.

$$N_A = -D_A \frac{(C_{A1} - C_{A2})}{z} \quad \text{Ec. 2}$$

2.7.1. Difusión en sólidos porosos.-

El sólido puede estar, en la forma de una barrera porosa o membrana, separando dos partes del fluido, como en el caso de la difusión gaseosa. Aquí, el movimiento del soluto puede ser por difusión de una parte del fluido a la otra, en virtud de un gradiente de concentración; también puede ser hidrodinámico, como resultado de una diferencia de presión. Alternativamente, en el caso de absorbentes, gránulos de catalizador, sólidos que se van a secar, partículas metálicas en las que se va a llevar a cabo una lixiviación, y similares, el sólido normalmente está totalmente rodeado por un

cuerpo único de fluido; el movimiento hacia fuera y hacia adentro del soluto a través de los poros del sólido se realiza únicamente por difusión. El movimiento difusivo puede ser dentro del fluido que llena los poros o puede también involucrar difusión superficial del soluto absorbido. **(Treybal, 1998).**

Los poros del sólido pueden estar interconectados, lo cual significa que el fluido los puede alcanzar por los dos lados de los poros; vía cerrada o conectado al exterior del sólido por un único lado; o aislado; inaccesible al fluido externo. **(Treybal, 1998).**

Se espera que los poros en la mayoría de los sólidos no sean ni rectos ni de diámetro constante. Se dice que están dispersas, las partículas de catalizador fabricadas por prensado de polvos, que contienen microporos hasta gránulos, con macroporos que rodean las partículas de polvo de diferente orden de magnitud en tamaño. **(Treybal, 1998).**

2.8. Porosidad efectiva

La porosidad es una propiedad de los alimentos para poder utilizar su estructura como vehículo de componentes que regularmente no contienen o están en baja concentración. La mayoría de los alimentos sólidos son porosos. **(Gilbert, 2002 citado por Sanzana, 2010).**

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 puedan ir desde 1% (papa) hasta más del 25% (manzana) del volumen total del tejido parenquimal. **(Duckworth, 1979 citado por Sanzana, 2010).**

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. **(Fito, 1994 citado por Sanzana, 2010).**

La porosidad decrece a medida que la fruta madura. La fruta con un índice de madurez en torno a los 6 – 7 °Brix presenta una mayor respuesta a las condiciones de impregnación al vacío, siendo el incremento de su fracción de líquido transferido mucho mayor que el que presenta la misma fruta en otros estados de madurez mayores. **(Alemán, 2011)**

2.9. Modelos Matemáticos

Para desarrollar un modelo fenomenológico que describa la transferencia de masa en Deshidratación osmótica (OD) se deben conocer los fundamentos relacionados con la fisicoquímica y la termodinámica del sistema, así como los mecanismos y las cinéticas de transferencia de masa. **(Barat, 1998).**

En lo relacionado a la fisicoquímica, el sistema alimento-disolución osmótica se considera multicomponente y polifásico. Las fases presentes son la disolución osmótica, la matriz sólida del producto, la fase líquida interna (intra y extracelular) y la fase gaseosa atrapada en la estructura porosa. **(Barat, 1998).**

Respecto a la termodinámica, en general, el sistema se encuentra muy alejado del equilibrio, lo que provoca espontáneamente los fenómenos de transporte, aunque durante el proceso se pasa por unos puntos de pseudoequilibrio que están controlados por la cinética.

Adicionalmente, el proceso de deshidratación osmótica se lleva a cabo en condiciones isotérmicas, lo que implica que la transferencia de energía no es relevante, excepto por la energía que se almacena debida a las tensiones que se provocan por pérdida de agua celular (mecanismos de deformación-relajación o encogimiento-hinchamiento, generados por fenómenos mecánicos que provocan gradientes de presión en el sistema). **(Barat, 1998; Shi & Le Maguer, 2002).**

En lo que se refiere a los mecanismos de transferencia de masa, pueden presentarse. **(Barat, 1998; Shi & Le Maguer, 2002):**

Mecanismos dependientes del gradiente de concentración que incluyen los mecanismos osmóticos y Fickianos, y que se afectan principalmente por la permeabilidad de la membrana a los diferentes componentes.

Mecanismos dependientes del gradiente de presión, que son los mecanismos hidrodinámicos (HDM) que son inducidos por la aplicación de vacío o por las tensiones liberadas en el proceso de relajación y que están condicionados por la estructura del alimento (porosidad).

Mecanismos de vaporización-condensación cuando se trabaja a presiones cercanas a la presión de vapor.

La alta complejidad del sistema hace que la precisión predictiva sea difícil cuando se usan modelos matemáticos rigurosos y que ésta dependa de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio y de parámetros como la difusividad.

Generalmente, cuando se quiere utilizar un modelo fenomenológico para procesos a presión atmosférica (OD) se emplea el modelo de Crank, que consiste en una solución de la ley de Fick en estado estacionario y que representa el mecanismo difusional. **(Crank, 1964, citado por Ochoa & Ayala, 2005).**

En cuanto a los modelos empíricos y semiempíricos, se usan Azuara, Magee, Raoult-Wack, Palou entre otros, o se recurre al ajuste polinómico. **(Azuara, 1998; Parjoko et al., 1996; Palou et al., 1993; Mújica et al., 2003, citado por Ochoa & Ayala, 2005).**

Para modelar procesos al vacío (VOD: Deshidratación Osmótica al vacío) o con pulsos de vacío (PVOD, Deshidratación Osmótica con Pulsos de Vacío) se usan principalmente el modelo del Mecanismo Hidrodinámico (HDM) **(Barat, 1998; Mújica et al., 2003; Betoret et al., 2003; Gras et al., 2003; Cháfer et al., 2003, citado por Ochoa & Ayala, 2005).** Y el modelo desarrollado por Rastogi y Raghvarao.

2.9.1. Modelo de Crank (1964).-

Consiste en un grupo de soluciones de la ley de difusión de Fick para diferentes geometrías, condiciones límite y condiciones iniciales desarrolladas por Crank. Con el modelo de Crank, se estiman la difusividad efectiva (D_e) del agua y del soluto, simulando los experimentos con condiciones límites y resolviendo las ecuaciones analítica o numéricamente, pero las suposiciones que se hace no siempre son fáciles de lograr lo que implica grandes limitaciones **(Parjoko et al., 1996)**. Las limitaciones del modelo de difusión de Fick para propósitos prácticos son:

- Se asume un cuerpo semi-infinito por lo tanto la transferencia de masa es unidireccional.
- Se asume que el agente osmótico es un medio semi-infinito, por lo tanto se requiere una relación disolución/alimento muy grande.
- Aunque tiene en cuenta la forma y las dimensiones, sólo hay soluciones analíticas para láminas planas, cilindros, cubos y esferas, entonces se requieren técnicas numéricas para materiales irregulares.
- El punto de equilibrio tiene que determinarse experimentalmente.
- Se asume que sólo se presenta el mecanismo de difusión para la extracción de agua.
- No hay efecto de los sólidos ganados ni de los solutos perdidos sobre la pérdida de agua.
- Se desprecia el encogimiento debido a la transferencia de masa.
- Se desprecia la resistencia externa a la transferencia de masa, pero esto no se puede lograr a baja temperatura ni a alta concentración de soluto **(Parjoko et al., 1996)**.

En las siguientes ecuaciones se presenta la solución para láminas planas semi-infinitas (Crank, 1964; Barat, 1998; Rastogi, 2002, citado por Ochoa & Ayala, 2005):

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j}\right) = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left\{- (2n+1)^2 \frac{\pi^2 Fo}{4}\right\} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde el número de Fourier (Fo) está dado por:

$$Fo = \frac{D_e^j \cdot t}{l^2} \quad \text{Ec. 4}$$

Para tiempos cortos:

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j}\right) = 2(Fo)^{0.5} - \left\{ \pi^{-0.5} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \text{ierfc} \frac{n}{Fo} \right\} \quad \text{Ec. 5}$$

ierfc: integral de la función de error complementaria.

El modelo puede simplificarse usando únicamente el primer término de la serie, de acuerdo a las ecuaciones (6) y (7), aunque es menos riguroso matemáticamente.

Para tiempos largos:

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j}\right) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left\{- \frac{\pi^2 Fo}{4}\right\} \quad \text{Ec. 6}$$

Para tiempos cortos:

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j}\right) = 2 \left(\frac{Fo}{\pi}\right)^{0.5} \quad \text{Ec. 7}$$

A partir de las ecuaciones (3) y (7), se determina el F_0 para cada punto experimental y con una gráfica de F_0 vs. t se infiere el valor de la difusividad efectiva D_e^j . **(Rastogi et al. 1997; Shi & Le Maguer, 2002, citado por Ochoa & Ayala, 2005).**

2.9.2. Modelo de Magee (1978).

Este modelo fue propuesto por Hawkes y Flink en 1978, pero se le atribuye a Magee quien hizo algunas modificaciones **(Parjoko et al., 1996).**

$$\frac{M_0^j - M_t^j}{M_t^0} = kt^{0.5} + k_0 \quad \text{Ec. 8}$$

k y k_0 son parámetros cinéticos empíricos, pero se les puede asignar un significado físico; k se asocia con las velocidades de transferencia de agua y de solutos que ocurren a través del mecanismo osmótico-difusional (constante cinética de difusión) dado que la transferencia de masa que ocurre por mecanismos difusionales es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo en procesos cortos de acuerdo a la ecuación de Crank y k_0 cuantifica la ganancia o pérdida de masa que ocurre después de tiempos de proceso muy cortos debido a la acción del HDM promovido por presiones impuestas o capilares **(Giraldo et al., 2003, citado por Ochoa & Ayala, 2005).** Este modelo sólo es válido para tiempos cortos **(Parjoko et al., 1996)** o sea durante las primeras etapas de deshidratación, en las cuales los cambios son más relevantes para los procesos industriales.

2.9.3. Modelo de Azuara (1992).

Azuara modeló la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en la OD a partir de los balances de masa, obteniendo ecuaciones que requieren dos parámetros ajustables (**Azuara et al., 1992**).

-Balance de masa para el agua

$$\Delta M_t^w = \Delta M_\infty^w - \Delta M_m^w \quad \text{Ec. 9}$$

Donde M_m^w es el agua capaz de difundirse que permanece en el alimento en un tiempo t .

Como la pérdida de agua es función del agua que es capaz de difundirse y del tiempo (si se tienen la concentración de la disolución osmótica y la temperatura constantes), entonces

$$\Delta M_t^w = s_1 t \Delta M_m^w \quad \text{Ec. 10}$$

Reemplazando (10) en (9) y reorganizando se obtiene

$$\Delta M_t^w = \frac{s_1 t \Delta M_\infty^w}{1 + s_1 t} \quad \text{Ec. 11}$$

Haciendo un tratamiento similar, se obtiene la expresión para la ganancia de sólidos

$$\Delta M_t^w = \frac{s_2 t \Delta M_\infty^{SS}}{1 + s_2 t} \quad \text{Ec. 12}$$

s_1 y s_2 son parámetros que pueden definirse como constantes de la velocidad relativas a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos respectivamente. (**Parjoko et al., 1996**).

Linealizando las ecuaciones (11) y (12) se obtiene:

$$\frac{t}{\Delta M_t^w} = \frac{1}{s_1 \Delta M_\infty^w} + \frac{t}{\Delta M_\infty^w} \quad \text{Ec. 13}$$

$$\frac{t}{\Delta M_t^{ss}} = \frac{1}{s_2 \Delta M_\infty^{ss}} + \frac{t}{\Delta M_\infty^w} \quad \text{Ec. 14}$$

Con:

$$\Delta M_t^w = \frac{(M_0^0 x_0^w) - (M_t^0 x_t^w)}{M_0^0} \quad \text{Ec. 15}$$

$$\Delta M_t^{ss} = \frac{M_t^0 (1 - x_t^w) - M_0^0 (1 - x_0^w)}{M_0^0} \quad \text{Ec. 16}$$

Las ecuaciones (15) y (16) son usadas para el cálculo de pérdida de agua y ganancia de sólidos a partir de datos experimentales. Estas ecuaciones corresponden a un balance general de agua y de sólidos respectivamente, suponiendo que no hay salida de solutos.

Representando en forma gráfica las ecuaciones (13) y (14), se obtienen los parámetros s_1 , s_2 , ΔM_∞^w , ΔM_∞^{ss} que permiten calcular ΔM_t^w , ΔM_t^{ss} , x_t^w , x_t^{ss} , para cualquier tiempo t a unas condiciones dadas.

Adicionalmente, si se obtiene una línea recta en una gráfica de $\Delta M_t^w / \Delta M_0^0$ vs. $\Delta M_t^{ss} / \Delta M_0^0$, entonces $\Delta M_t^w / \Delta M_t^{ss}$ es constante y éste es un criterio importante para determinar si predomina el proceso de deshidratación (>1) o el proceso de impregnación (<1). (Azuara et al., 2002).

$$D_{e,w} = \frac{\pi t}{4} \left[\left(\frac{s_1 l}{1+s_1 l} \right) \left(\frac{\Delta M_{\infty}^{w,mod}}{\Delta M_{\infty}^{w,exp}} \right) \right] \quad \text{Ec. 17}$$

Donde $\Delta M_{\infty}^{w,mod}$ corresponde a la pérdida de agua en el equilibrio calculada a partir de la ecuación (13) y $\Delta M_{\infty}^{w,exp}$ es el valor obtenido experimentalmente.

El modelo de Azuara es un modelo empírico que se basa en el ajuste de una ecuación a los datos experimentales. Su mayor ventaja es que no se requiere llegar al equilibrio para predecirlo. Su gran desventaja es su validez que se limita al rango experimental para el que se obtuvieron los parámetros. Este método no tiene en cuenta las dimensiones, la forma ni la estructura del material **(Ochoa, 2005)**.

2.9.4. Modelo de Mecanismo Hidrodinámico (HDM) (1996).-

Este modelo se emplea en el proceso de deshidratación osmótica de presiones de vacío (Mújica-Paz et al., 2003 citado por Ochoa & Ayala, 2005).

La cinética del proceso de Deshidratación osmótica (OD), la cual utiliza presiones atmosféricas con concentraciones hipertónicas, se modela en forma diferente a la del proceso de Deshidratación Osmótica con pulsos de vacío (PVOD). Con OD, básicamente se utiliza la ley de Fick ya que el fenómeno está gobernado principalmente por el mecanismo pseudodifusional (PD) mientras que con PVOD debe tenerse en cuenta, además, el mecanismo hidrodinámico (HDM) (Ochoa & Ayala, 2005).

El modelo combina los mecanismos difusionales e hidrodinámico, asumiendo que el mecanismo hidrodinámico (HDM) actúa en $t=0$ y que el equilibrio es composicional ($z_{\infty}^w = y^w$). De esta forma se define la fuerza impulsora reducida (Y_t^w) como:

$$Y_t^w = \frac{z_t^w - y^w}{z_0^w - y^w} \quad \text{Ec. 18}$$

$$Y_t^w = Y_t^w|_{\text{HDM}, t=0} \cdot Y_t^w|_{\text{PD}, t>0} \quad \text{Ec. 19}$$

Utilizando la solución de la ecuación simplificada para la parte difusional y reemplazándola en la ecuación (19) se obtiene:

$$\frac{Y_t^w}{Y_t^w|_{\text{HDM}, t=0}} = k \cdot \exp\left(\frac{-D_e \pi^2 t}{4l^2}\right) \quad \text{Ec. 20}$$

Como la fase líquida del alimento se considera un sistema binario compuesto por agua y solutos, el coeficiente de difusión efectivo es el mismo para ambos componentes (Barat, 1998 citado por Ochoa & Ayala, 2005).

Para el cálculo de $Y_t^w|_{HDM,t=0}$ se utiliza la ecuación (18), determinando previamente el valor de acuerdo a la siguiente expresión ec. (21):

$$z_t^w|_{HDM,t=0} = \frac{M_0^0 \cdot x_0^j + (1+\gamma)V_0 \cdot X \cdot \rho_{0s} \cdot y^j}{M_0^0 \cdot x_0^w + M_0^0 x_0^{ss} + (1+\gamma)V_0 \cdot X \cdot \rho_{0s}} \quad \text{Ec. 21}$$

Con

$$X = \frac{M_t^0 - M_0^0}{\rho_{0s} \cdot v_0} \quad \text{Ec. 22}$$

Y

$$\gamma = \frac{v_t - v_0}{v_0} \quad \text{Ec. 23}$$

Representando gráficamente la ecuación (20) se obtienen los parámetros k y D_e . Una vez conocidos estos parámetros, la ecuación (20) sirve para predecir cambios de composición en la fase líquida del alimento (z_t^w, z_t^{ss}).

El HDM está relacionado con la estructura de los tejidos ya que ésta es discontinua y porosa y posee espacios ocupados por gas (Cháfter et al., 2002 citado por Ochoa & Ayala, 2005). Por lo tanto, en procesos de PVOD es importante conocer el comportamiento de la porosidad y la deformación del producto cuando se somete a vacío para determinar el volumen que puede ocupar el líquido externo **(Mújica-Paz, 2003 citado por Ochoa & Ayala, 2005)**. La porosidad efectiva (ϵ_e) de la muestra se calcula como:

Donde p_1 y p_2 son la presión de trabajo y la presión atmosférica, respectivamente

$$\epsilon_e = \frac{(X-\gamma)r+\gamma_1}{r-1} \quad \text{Ec. 24}$$

Con

$$r \approx \frac{p_2}{p_1} \quad \text{Ec. 25}$$

Donde p_1 y p_2 son la presión de trabajo y la presión atmosférica, respectivamente.

Asumiendo deformación despreciable, la ecuación (24) queda:

$$X = \epsilon_e \left(1 - \frac{1}{r}\right) \quad \text{Ec. 26}$$

Representando gráficamente la ecuación (26) se determina ϵ_e en un rango de presiones definido **(Mújica-Paz, 2003 citado por Ochoa & Ayala, 2005)**.

Nomenclatura (Ochoa & Ayala, 2005):

D_e : Difusividad efectiva (m^2/s)

l : Longitud característica (semiespesor), m

M : Masa, Kg.

ΔM : Pérdida (o ganancia) de masa, Kg.

ΔV : Pérdida (o ganancia) de volumen, m^3 .

t : Tiempo, s

V : Volumen, m^3 .

X : Fracción másica del componente j en el alimento, $Kg_{componente}/Kg_{Totales}$.

X : Fracción de volumen ocupado por la disolución osmótica.

Y : Fracción másica del componente j en la disolución osmótica.

Y : Fuerza impulsadora reducida.

Z : Fracción másica del componente j en la fase líquida del alimento.

Γ : Nivel de deformación.

P_{OS} : Densidad de la disolución osmótica, Kg/m^3 .

Índices:

j : Genérico para un componente del alimento

$j=w$: Agua

$j=ss$: Sólidos solubles

$j=0$: Masa total

Subíndice:

0 : Valor inicial

t : Valor en un tiempo t

∞ : Valor en el equilibrio

El modelo HDM es un modelo semiempírico que tiene en cuenta el tamaño y la forma de la muestra a diferencia de los modelos anteriores. Aunque es fácil de utilizar, requiere de algunos parámetros y propiedades del producto que no siempre están disponibles en la literatura y como en los demás casos está limitado a los datos experimentales para los que se obtuvieron los parámetros. Este modelo no predice el equilibrio. Las ecuaciones que se utilizan en OD no se ajustan a PVOD debido, en primer lugar, al aumento de peso de la muestra durante los primeros momentos del proceso (se presenta impregnación y deshidratación simultáneamente) y en segundo lugar, a las características estructurales (porosidad y resistencia mecánica) que se vuelven más importantes debido a que el fenómeno de transferencia no sólo se produce desde el interior hacia la interfase alimento/disolución osmótica, sino también hacia el espacio poroso ocupado por la disolución osmótica **(Barat, 1998 citado por Ochoa & Ayala, 2005)**

2.10. Impregnación a Vacío

La impregnación al vacío (IV) es un método reciente de procesamiento mínimo que aprovecha la microestructura porosa de las matrices de los alimentos, para reemplazar el gas ocluido en su estructura celular por solutos contenidos en un líquido de impregnación mediante acción capilar y gradientes de presión impuestas en el sistema. Involucra un intercambio de materia promovido por la acción de un mecanismo hidrodinámico (MHD) entre un sistema sólido-líquido, acoplado a un fenómeno de deformación-relajación (FDR) en la matriz sólida del alimento. Este proceso está influenciado por la porosidad, propiedades mecánicas, tamaño y forma del alimento, viscosidad de la solución de impregnación o solución externa, propiedades físicas y químicas de los compuestos fisiológicamente activos, presiones y tiempos de vacío (**Ostos et al., 2012**).

2.10.1. Equipo de Impregnación al vacío.-

La metodología para el Equipo de impregnación al vacío utilizada está encaminada a la obtención de datos experimentales que permiten analizar el comportamiento (de la estructura) de la muestra durante toda la operación de impregnación al vacío (**Fito et al., 1996 citado por Sanzana, 2010**).

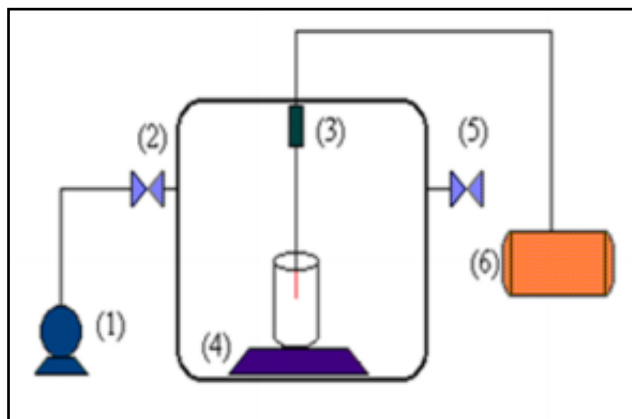


Figura 12. Equipo de Impregnación al vacío (**Fito et al., 1996, Martínez-Monzó et al., 1998 citado por Sanzana, 2010**).

En la figura 12. Se observa un esquema del equipo de IV (Impregnación al vacío), que consta de una cámara de vacío en acero inoxidable, con una balanza electrónica (4). En el plato de la balanza se coloca el recipiente con la fase líquida a impregnar y, mediante un sistema neumático alimentado por un compresor (6), se acciona un brazo rígido (3) que permite sumergir y girar la muestra. El vacío en el sistema es suministrado por una bomba de anillo líquido (1) y la presión de trabajo es controlada por una válvula manual (5) que además permite romper el vacío.

2.10.2. Mecanismo Hidrodinámico. –

Basándose en la estructura porosa de muchos alimentos, se explica la operación de impregnación a vacío (IV) a través del denominado mecanismo hidrodinámico (HDM) **(Fito & Pastor, 1994 citado por Ceballos, 2005)**. Este mecanismo se describe y modela **(Fito, 1994 citado por Ceballos, 2005)** como un fenómeno de transferencia de materia que ocurre en operaciones sólido-líquido y es especialmente importante cuando se trabaja en condiciones de vacío. Según estos autores, lo que le ocurre al producto cuando se sumerge en un líquido y se somete a presiones sub atmosféricas es que el gas ocluido en los poros sufre una expansión (t_1) para equilibrarse con la presión impuesta al sistema, lo que implica por una parte, un nivel de desgasificación de la estructura porosa del alimento, función de la presión aplicada y, por otra, una penetración del líquido por capilaridad una vez alcanzado el equilibrio de presiones en el sistema.

Posteriormente, cuando se instaura la presión atmosférica en un determinado tiempo de compresión (t_2) se crea un nuevo gradiente de presiones que actúa como fuerza impulsora y que hace que los espacios intercelulares o poros se llenen parcialmente de líquido. La entrada de disolución externa en el tejido supone un aumento de la superficie de contacto sólido-líquido dentro de los poros (espacios intercelulares) del producto, lo que contribuye al incremento de las velocidades de transporte **(Fito & Chiralt, 2000 citado por Ceballos, 2005)**.

Producto sin procesar



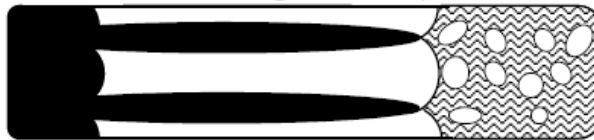
Poro lleno de gas

Producto sumergido en un líquido



HDM, entrada de líquido por capilaridad (P1)

Producto sumergido en la etapa de vacío



El gas se expande y sale del poro, el tejido se deforma por efecto de la presión. (P1 cambia a P2 en t1)

Producto sumergido en la etapa de vacío



Se establece un equilibrio de presiones entre el medio y el producto. Entrada de líquido por capilaridad. HDM (P2)

Producto impregnado



Se restablece la presión atmosférica, la capilaridad y la presión interna son las fuerzas impulsoras. HDM (t2)

Figura 13. Sistema sólido-líquido. Evolución de la deformación relajación y HDM en un poro ideal (Fito et al., 1996 citado por Torres, 2007).

2.11. Análisis Sensorial

El análisis sensorial es la disciplina científica usada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de los alimentos que se perciben por los sentidos de la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto. La evaluación sensorial no se puede realizar mediante aparatos de medida, el “instrumento” utilizado son las personas, ya sea jueces expertos o consumidores corrientes. **(León & Galán, 1991 citado por Torres, 2007).**

La evaluación de la calidad sensorial de los alimentos cada día cobra más importancia en la industria alimentaria, dado las exigencias del mercado competitivo actual y su repercusión en el desarrollo de cualquier empresa o entidad productora **(Torres, 2007).**

Algunas de las ventajas que trae consigo el análisis sensorial son **(Torres, 2007):**

- Control de calidad de materias primas y productos finales.
- Pruebas de mercado, desarrollo y lanzamiento de nuevos productos.
- Comunicación a los consumidores de las características de un producto.
- Evaluación de las preferencias del consumidor.
- Investigación particular de cualquiera de los aspectos sensoriales pertenecientes al alimento.

2.11.1. Cantidad de jueces.-

La cantidad de jueces necesaria para obtener una respuesta válida es fundamental, mientras más numerosos sean, mejor se podrá sobrellevar la diferencia de sensibilidad entre individuos. Poca cantidad de jueces puede ser compensado con la calidad de los mismos, pero hay que tener cuidado porque la degustación es siempre difícil y pueden tener algún tipo de anosmia (pérdida del sentido del olfato) hacia un determinado carácter sensorial. **(Roessler et al., 1956 citado por Catania, 2007)**

2.11.2. Pruebas de ordenamiento.-

Consiste en ordenar las muestras de acuerdo a la intensidad de un descriptor sensorial determinado sin preocuparse por la magnitud de la diferencia. Se pueden efectuar con muchas muestras o con dos (ordenamiento por pares) **(Roessler et al., 1956 citado por Catania, 2007).**

2.11.3. Escala Hedónica.-

La prueba de escala hedónica es un método para medir preferencias, además permite medir estados psicológicos. En este método la evaluación del alimento resulta hecha indirectamente como consecuencia de la medida de una reacción humana **(Sanzana, 2010)**

Se usa para estudiar a nivel de Laboratorio la posible aceptación del alimento. Se pide al juez que luego de su primera impresión responda cuánto le agrada o desagrada el producto, esto lo informa de acuerdo a una escala numérico-verbal que va en la ficha, en este caso de 9 puntos **(Wittig, 2001 mencionado por Sanzana 2010).**

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en los ambientes de la Universidad Nacional del Santa:

- Laboratorio de Operaciones Unitarias de la E.A.P. Ingeniería Agroindustrial.
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la E.A.P. Ingeniería Agroindustrial.
- Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial, Laboratorio de Absorción atómica.

3.2. Materiales y Equipos

3.2.1. Materia prima.-

La materia prima empleada fue la papaya (*Carica papaya*) de var. Hawaiana.

Las papayas se seleccionaron con un tamaño adecuado para fines de la investigación, con un estadío 3 considerando 7°Brix como estándar , con una longitud entre 20 a 24cm, un diámetro entre 12 a 15cm, con una textura dura, de forma ovoide y un peso de entre 1 a 1.5Kg., libres de daños mecánicos y/o fitopatológicos.

3.2.2. Materiales.-

- Vasos precipitados de 50, 100 y 250ml, marca pirex
- Pipetas de 1, 5 y 10ml., marca pirex.
- Matraces de 50, 125 y 250ml., marca pirex.
- Probetas de 50 y 100ml., marca pirex.
- Fiolas de 25 y 50ml, marca pirex.
- Mortero.
- Placas Petri, marca pirex.

- Pinzas y tijeras
- Coladores de 5cm de radio.
- Papel filtro de 0.002mm.
- Embudo de vidrio.
- Pera succionadora
- Crisol.
- Varilla de agitación.
- Cuchillo de acero inoxidable.

3.2.3. Reactivos.-

- Cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Comercial)
- Ácido Nítrico (HNO_3) cc
- Gas Acetileno (gas)
- Óxido Nitroso (gas)
- Aire (gas)
- Buffer de 4.01.
- Fenolftaleína
- Agua destilada

3.2.4. Equipos.-

- Texturómetro
Marca : Brookfield
Modelo : LVDV – IIIU
País : USA
- Colorímetro
Marca : Konica Minolta
Modelo : CR – 400
País : Japón
- Refractómetro Digital automático
Marca : Rudolph Research
Modelo : J157
País : USA
- Bureta Digital continua (Medidor de Acidez)
Marca : VITLAB
Modelo : Continuous RS
País : Alemania
- Balanza Electrónica
Marca : Precisa
Modelo : XB4200CSCS
Capacidad: Mín. 0.5g – Máx. 4200g
Precisión: 0.01g.
País: Suecia
- Balance analítica
Marca : Precisa
Modelo : LX320ASCS

Capacidad: Mín. 0.01g. – Máx. 320g.

Precisión: 0.0001mg.

País : Suiza

- Mufla

Marca : Thermolyne Sybron

Modelo : Nº FB1310 M-26

Tipo : Type 1300

País : USA

- Ph-metro

Marca : Thermo Scientific

Modelo : Orion VersaStar Advanced Electrochemistry Meter.

País : Singapur

- Espectrómetro de absorción atómica
 Marca : *Thermo Scientific*
 Modelo : ICE 3500
 N/S: AAOS13174

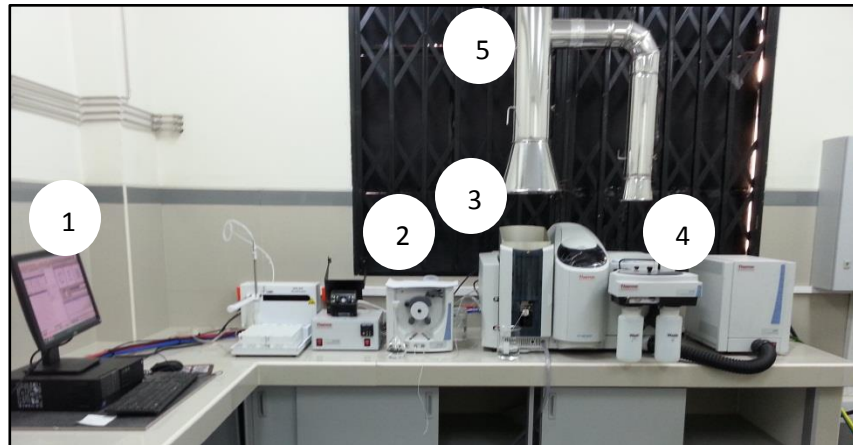


Figura 14. Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

1. Computador
2. Generador de Hidruros
3. Flama
4. Horno de Grafito
5. Extractor de gases

- Equipo adaptado de Impregnación a Vacío
 1. Bomba de vacío de paletas rotatorias con lubricación por aceite, caudal 4m³/h.
 2. Válvula neumática de regulación DN ¼", Cv= 0.32, ejecución en acero inoxidable AISI 316.
 3. Compresor. Marca Brillant, modelo 50-15. Volumen 50L. Serie 729171.
 4. Vacuómetro, rango entre 0 y -1 bar, ejecución en acero inoxidable AISI 304.
 5. Campana de vidrio (Desecador) de $\Phi=150$ mm para uso bajo presiones de vacío.
 6. Agitador magnético, Marca IKA, Modelo C-MAG HS7, País USA

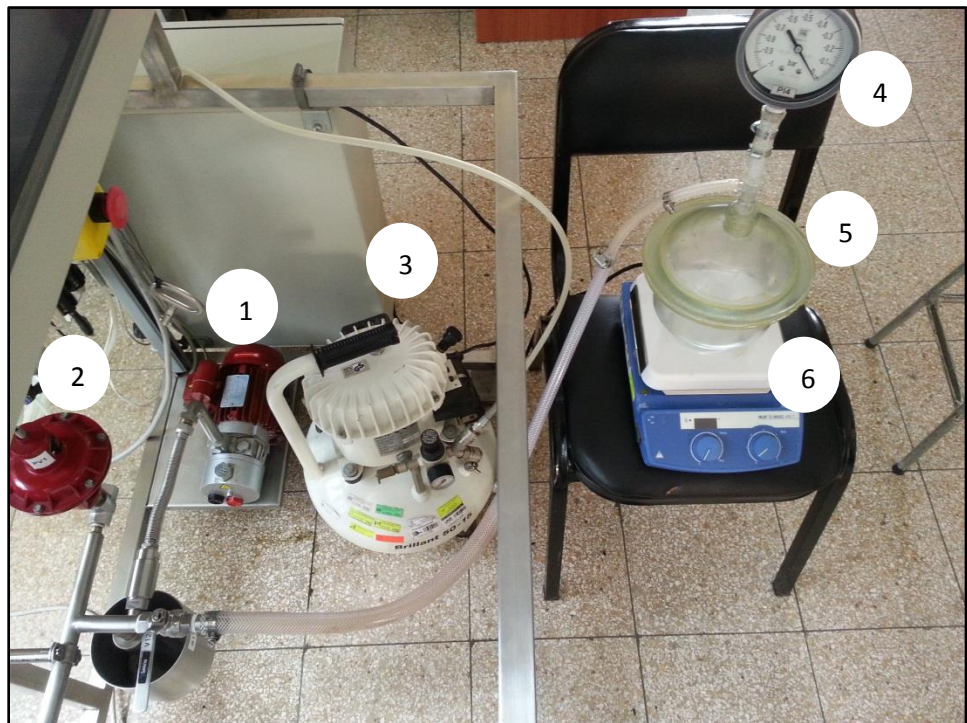


Figura 15. Equipo de Impregnación a Vacío.

3.3. Métodos de Análisis

3.3.1. Descripción del proceso de elaboración de papaya mínimamente procesada.-

3.3.1.1. *Recepción.*

La materia prima fue recepcionada en el Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Escuela de Ing. Agroindustrial, realizando una inspección visual al producto.



Figura 16. Recepción de papaya.

3.3.1.2. *Selección.*

Se descartó la materia prima con estado de madurez mayor a 3, además las que presentaron daños por abrasión en la cáscara, daño por insectos o contaminación causada por microorganismos. Se realizaron los análisis fisicoquímicos (caracterización) a la fruta en buen estado.

3.3.1.3. *Lavado.*

El lavado de la fruta se realizó por inmersión, con abundante agua a 4°C para eliminar la suciedad, restos de tierra y contaminantes físicos, además para reducir su temperatura interna.

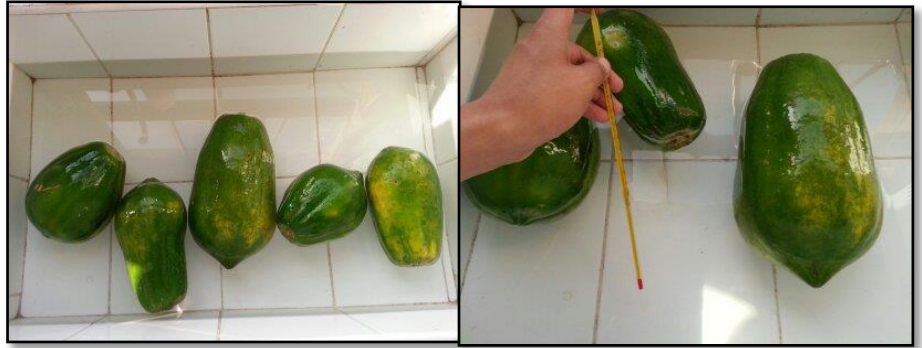


Figura 17. Lavado de papaya.

3.3.1.4. *Desinfección.*

Se desinfectó la fruta con NaClO a 150ppm por un tiempo de 3min. en agua a 4°C para evitar la proliferación de microorganismos y eliminar residuos de pesticidas (Teixeira et al., 2001).



Figura 18. Desinfección de papaya.

3.3.1.5. Pelado.

El procedimiento de pelado se realizó en forma manual con utensilios de acero inoxidable desinfectados con una solución de NaClO a 100ppm (Teixeira et al., 2001).



Figura 19. Pelado de papaya.

3.3.1.6. Cortado y preparado.

La operación de cortado se realizó en forma manual empleando cuchillos inoxidables. La papaya se cortó en dos mitades retirando con una cuchara las semillas para su posterior eliminación. Cada mitad fue cortada en rodajas para luego ser cortadas con un molde de forma cilíndrica de 2cm de diámetro x 1cm de alto.



Figura 20. Cortado de papaya en rodajas.



Figura 21. Corte de papaya en forma de monedas.

Se determinó el rendimiento de papaya cortada en rodajas en forma de moneda.



Figura 22. Rendimiento de papaya en rodaja.

3.3.1.7. Inmersión en ácido ascórbico.

Las muestras cortadas en forma cilíndrica se sumergieron en agua 4°C con ácido ascórbico a 0.15% por 1min.



Figura 23. Inmersión de papaya en agua con ácido ascórbico al 0.15%.

3.3.1.8. Eliminación de agua.

Se retiró el exceso de agua superficial deslizando la fruta sobre una superficie lisa proporcionando aire por 2min, con un ventilador, para luego proceder al almacenamiento de la fruta mínimamente procesada.

3.3.1.9. Almacenamiento.

La papaya mínimamente procesada se almacenó en bandejas de tecnopor cubiertas con papel film (atmósfera modificada) para su posterior análisis, distribuidas de acuerdo a cada tratamiento a realizar.



Figura 24. Rodajas de papaya refrigerada.

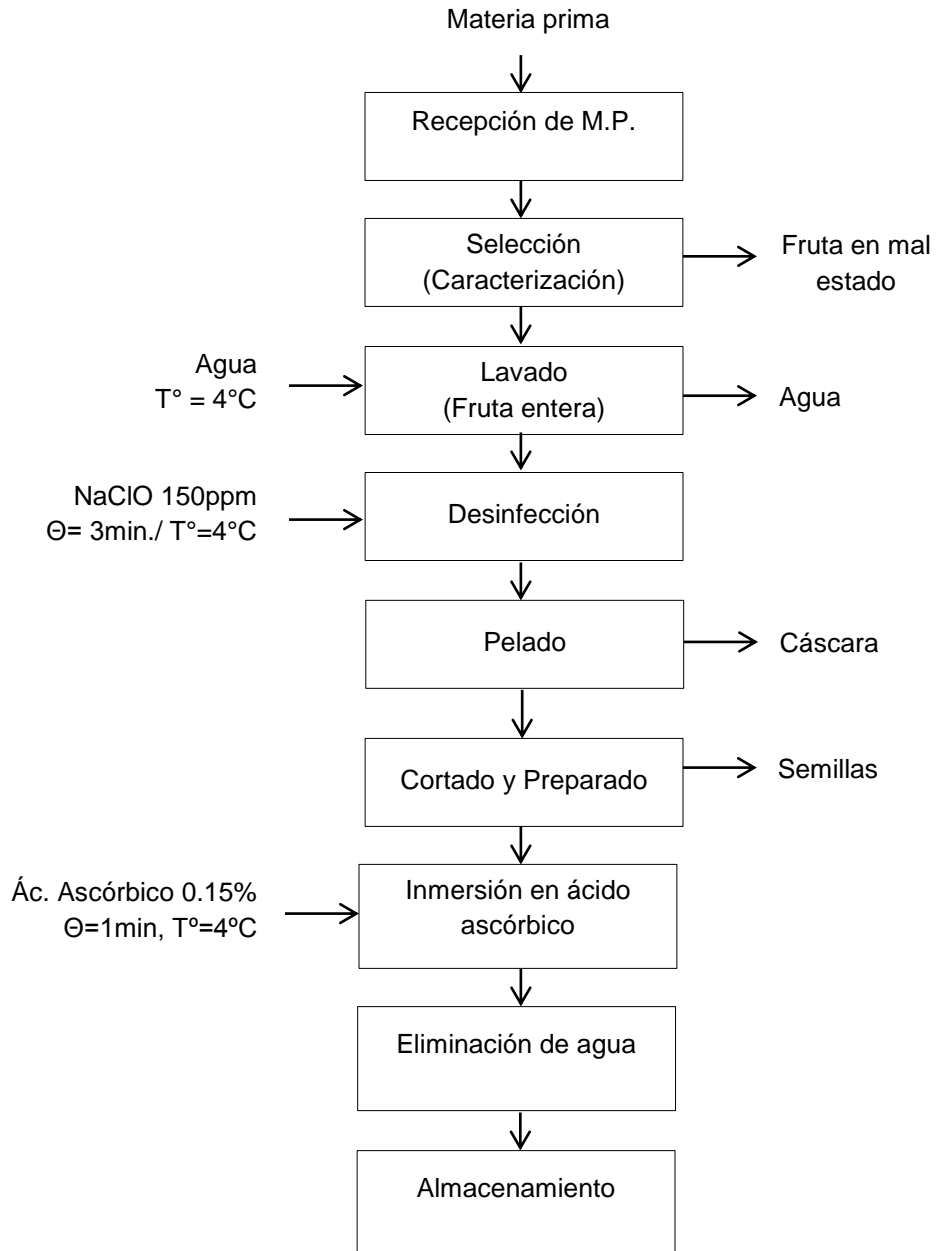


Diagrama 2. Diagrama del proceso productivo para la obtención de papaya mínimamente procesada.

3.3.2. Determinación de Sólidos solubles (°Brix).-

La determinación del contenido de sólidos solubles se realizó usando un refractómetro ABBE (Marca: Hand. Held Atago), expresando el resultado en °Brix a 20°C, según el método de la AOAC (1990) 932.12.



Figura 25. Determinación de sólidos solubles en papaya.

3.3.3. Determinación de Humedad.-

La determinación del contenido de humedad se determinó por efecto de la gravimetría en estufa a temperatura de 55°C, según el método descrito por la A.O.A.C (1991), descrito por Pearson.

$$\% \text{Humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} * 100$$

Dónde:

P₁= Peso de la placa más muestra

P₂= Peso de la placa más muestra seca

m= peso de la muestra



Figura 26. Determinación de humedad en papaya.

3.3.4. Determinación de acidez.-

Se determinó por titulación del zumo de papaya filtrado con hidróxido de sodio a 0.1 N, usando fenolftaleína como indicador; de acuerdo al método descrito por la A.O.A.C (1990) 942.15 para frutas, expresando el resultado en % ácido cítrico

$$\%Acidez = \frac{V(\text{Gasto de NaOH}) * N(\text{NaOH}) * \text{Meq}(\text{Ác.Cítrico})}{V_{\text{muestra}}} * 100$$

Dónde:

Normalidad de NaOH= 0.1

Meq. De Ácido cítrico= 0.064



Figura 27. Determinación de % Acidez en papaya.

3.3.5. Determinación de pH.-

Se determinó de acuerdo al método oficial de la A.O.A.C (1990) 981.12, calibrando inicialmente con solución tampón de 4.1.



Figura 28. Determinación de pH en zumo de papaya.

3.3.6. Determinación de Firmeza.-

La determinación se llevó a cabo utilizando el Texturómetro Brookfield Texture Analyzer CT3 siguiendo el método LAA-I-004-003.



Figura 29. Determinación de textura en papaya.

3.3.7. Determinación de Color.-

Se utilizó el colorímetro marca Konica Minolta modelo CR-400 con el método adoptado por AOAC (1990), determinando la luminosidad (L) y los parámetros (a y b).



Figura 30. Determinación de color en papaya.

3.3.8. Determinación de Porosidad efectiva.-

Para la determinación de la porosidad efectiva de la papaya se tomó en consideración el procedimiento realizado por **Fito & Pastor (1994)**, el cual se detalla a continuación:

- La papaya se lavó y desinfectó. Luego se cortó en diferentes figuras geométricas cilindro (1cmx2cm), cubo (1cmx1cm) y moneda (2cmx1cm).

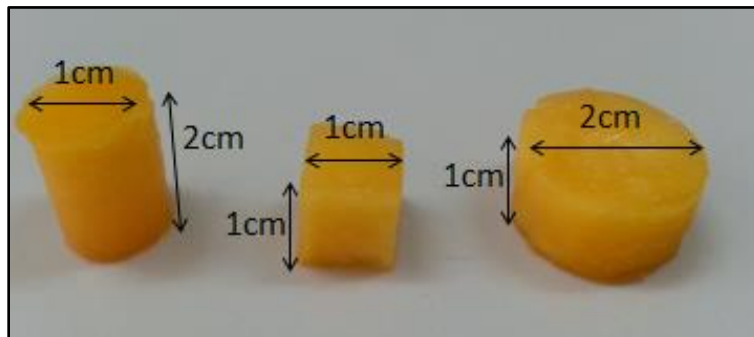


Figura 31. Figuras geométricas de la papaya.

- Se pesaron las piezas de papaya anotando sus pesos iniciales (W_i) y volúmenes iniciales (V_{fruta}).
- Se preparó una solución isotónica de acuerdo a la concentración de sólidos solubles de la papaya fresca en estadio 3, el cual fue de 7°Brix. La solución isotónica se preparó con azúcar comercial.

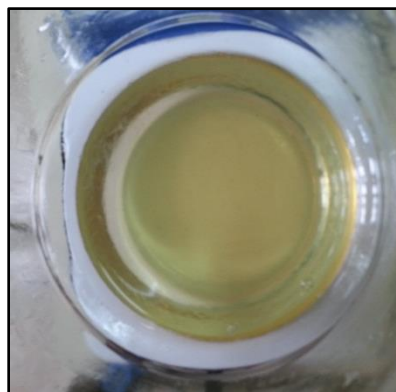


Figura 32. Solución isotónica de azúcar

- Las piezas se colocaron en el recipiente de impregnación a vacío junto a la solución isotónica antes preparada.
- Se sometió todo el sistema a la presión de trabajo de por un tiempo de 10 min. con una agitación de 100rpm.



Figura 33. Piezas de papaya sumergidas en la solución isotónica.

- Transcurridos los 10min, se rompió el vacío y se llevó el sistema gradualmente por 10min. a la presión atmosférica.
- Se retiraron las muestras de la solución, escurriendo el exceso de jarabe por 3 minutos.
- Se registró el peso final de las muestras (M_f).

Este mismo procedimiento se llevó a cabo a 3 presiones diferentes (-300mmHg, -200mmHg y -100mmHg.) para construir la curva para porosidad.

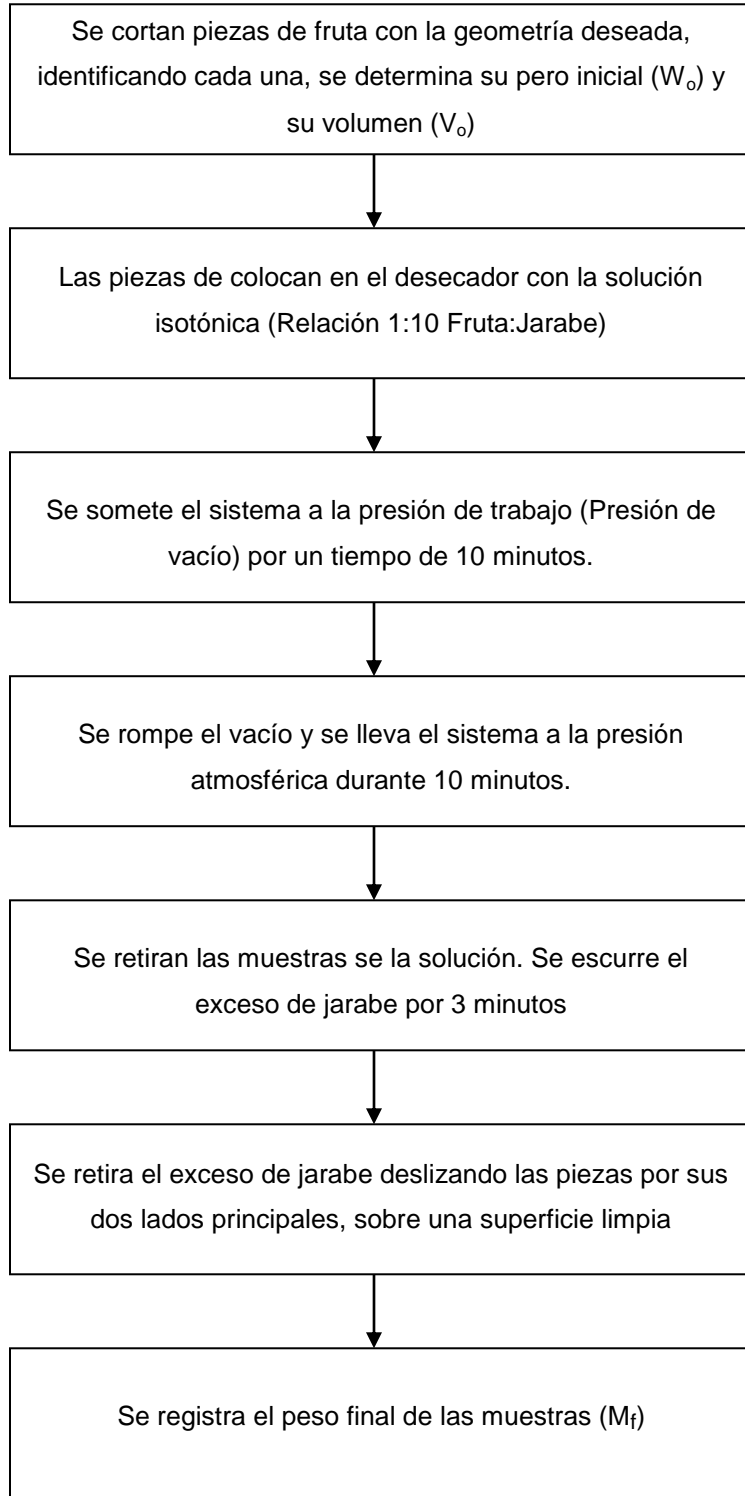


Diagrama 3. Proceso para la determinación de Porosidad efectiva en frutas (Santacruz, 2004).

Para cada presión de trabajo se calcularon:

$$X = \frac{M_f - M_i}{\rho_s V_{fruta}}$$

Dónde:

- X : Fracción volumétrica total del alimento ocupado por la solución
- M_f : Peso final de la muestra (g.)
- M_i : Peso inicial de la muestra (g.)
- ρ_s : Densidad de la solución (g/cm³.)
- V_{fruta} : Volumen de la fruta (cm³.)

Los pesos iniciales y finales de cada rodaja se muestran en el **Anexo 1**.

Asumiendo la deformación volumétrica despreciable se determinó la porosidad efectiva:

$$r \approx \frac{p_2}{p_1}$$

$$X = \varepsilon_e \left(1 - \frac{1}{r}\right)$$

Dónde:

- r : Relación de compresión.
- p_2 : Presión absoluta de trabajo (mmHg.)
- p_1 : Presión atmosférica (mmHg.)
- ε_e : Porosidad efectiva

Se graficó la fracción volumétrica total del alimento ocupado por la solución X vs. $\left(1 - \frac{1}{r}\right)$, y se determinó la pendiente ajustando a una línea recta, hallando de esta manera la porosidad efectiva.

Cuadro 7. *Condiciones de presión y relación de compresión utilizadas para evaluar la porosidad efectiva.*

Presión de Vacío (mmHg)	Presión Absoluta	Relación de Compresión (r=Patm/Ptrabajo)	$1 - \frac{1}{r}$
-300	460	1.65	0.39
-200	560	1.36	0.26
-100	660	1.15	0.13

3.3.9. Impregnación al vacío.-

El sistema para impregnación al vacío consistió en un desecador conteniendo la solución de isotónica con 1% de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, en el cual también se sumergieron las muestras de papaya mínimamente procesadas. El desecador se encontraba conectado a una bomba de vacío y a un vacuómetro para controlar la presión.

3.3.9.1. Preparación del medio de impregnación.

Se utilizó como componente activo el calcio (Ca^{++}), obtenida de su fuente comercial cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

El medio de impregnación se preparó mezclando en seco sacarosa (azúcar comercial) y cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), considerando 7% de sacarosa y 1% de cloruro de calcio, ambos, del volumen total de solución usada.



Figura 34. Mezcla de sacarosa (azúcar comercial) con cloruro de Calcio

La cantidad de sacarosa utilizada fue calculada de modo que la solución final fuera isotónica con respecto al contenido de sólidos solubles nativos de la papaya (7°Brix) con el fin de minimizar la presencia de mecanismos de transferencia de masa debido a los azúcares presentes, y así, evitar la deshidratación del tejido y la pérdida de azúcares nativos durante el proceso.

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

- Se verificó que todos los componentes del equipo adaptado para impregnación al vacío estuvieran en buen estado de uso.
- Se conectó el desecador (campana de vidrio), en donde se colocó la fruta a impregnar y la solución isotónica, a una línea de todo el sistema de vacío.



Figura 35. Conexión de Bomba de vacío y Desecador

- Se encendió el compresor de aire hasta llegar a la presión adecuada para el funcionamiento adecuado de la bomba de vacío.
- Se sometió el sistema a la presión de trabajo (-300, -200 y -100mmHg.) y a los tiempos de impregnación (5, 10 y 15min.) según la metodología, programando presiones en el software utilizado por el equipo.
- Durante el proceso de impregnación, se mantuvo una agitación estándar de 100rpm.
- Una vez culminado todo el proceso, con la abertura gradual de una válvula en el sistema se fue llegando a la presión atmosférica en el tiempo (Tiempo de compresión) indicado para cada tratamiento. En este punto se rompe el vacío.

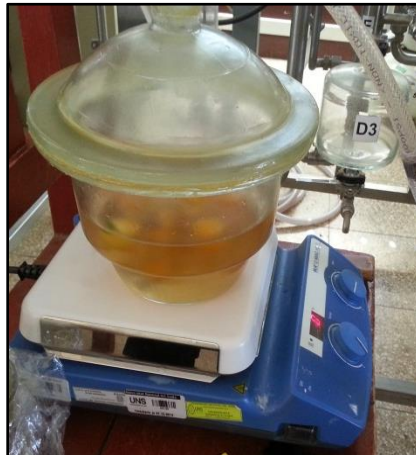


Figura 36. Impregnación de calcio en papaya.

A continuación se muestra todo el proceso productivo para obtener papaya impregnada con calcio.

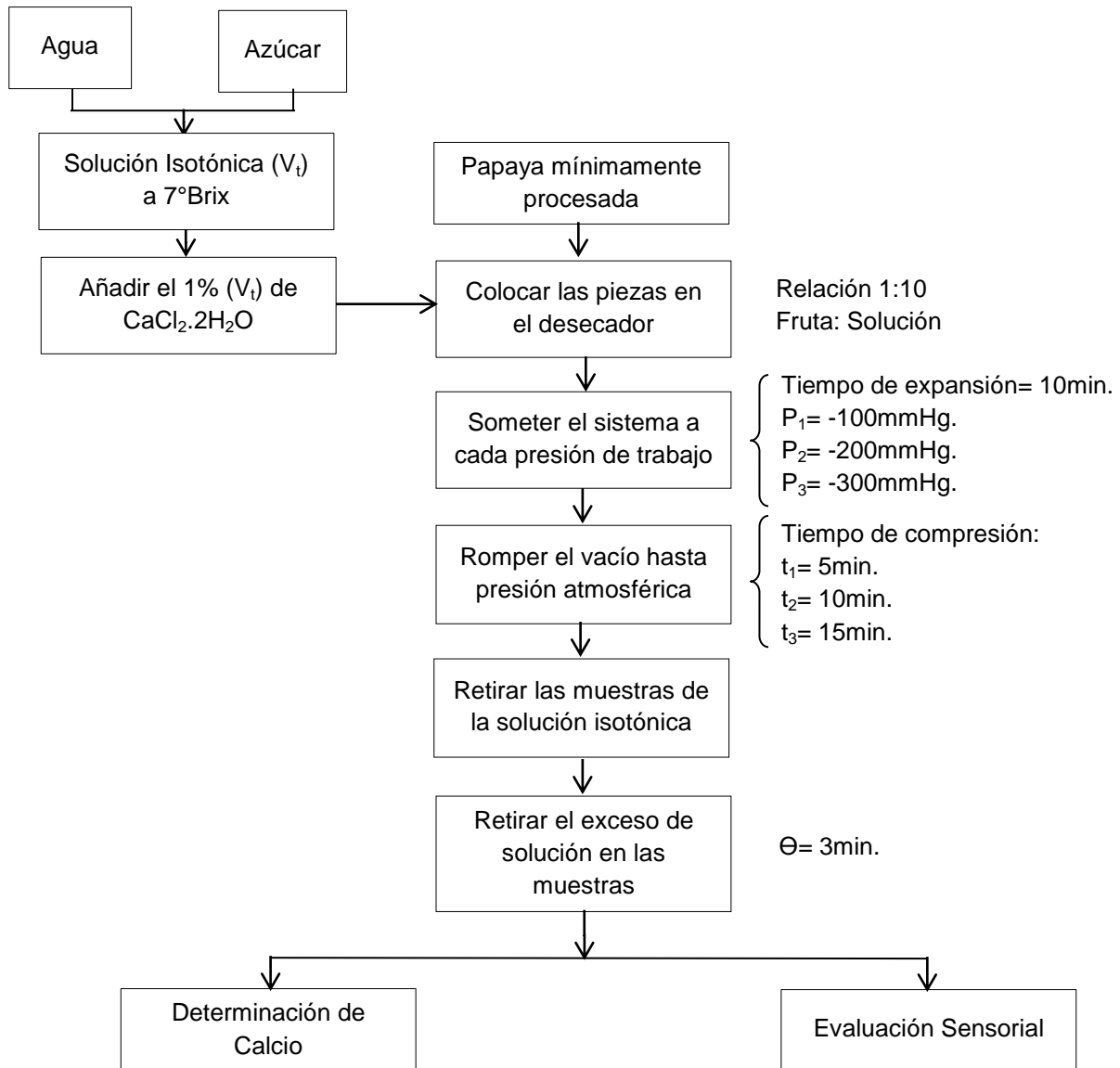


Diagrama 4. Diagrama del proceso productivo para la obtención de papaya impregnada con calcio y su evaluación sensorial.

3.3.10. Determinación de Calcio por Espectrofotometría de absorción atómica.-

Se determinó por espectrometría de absorción atómica a la llama según el método oficial de la AOAC, 2000 de la manera siguiente:

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

- Se preparó una solución diluida a 5ppm de Cobre desde una solución estándar a 1000ppm de Cu, utilizando agua ultra pura UP para la dilución.
- Se realizó la lectura de la solución de Cu a 5ppm en el espectrofotómetro de absorción atómica, calibrando la altura, ángulo y movimiento horizontal del mechero, el flujo del combustible, microajuste de la bola de impacto en la cámara de nebulización, para lograr obtener una absorbancia de 0.5 a más, a una longitud de onda de 326.0 nm.

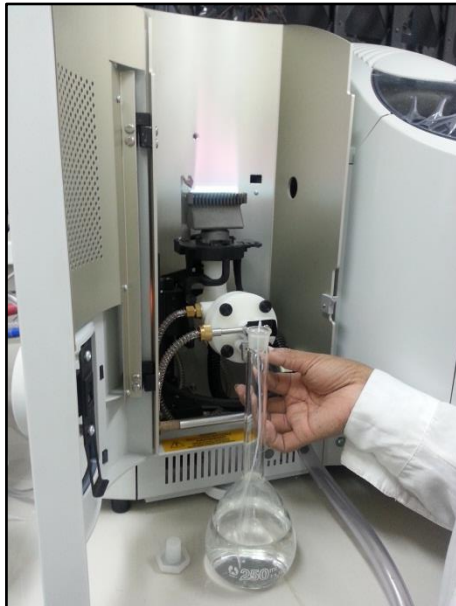


Figura 37. Calibración del Espectrofotómetro de Absorción atómica con solución de cobre (Cu)

3.3.10.2. Preparación de la curva de calibrado de calcio.

- Se utilizó un estándar de calcio a una concentración de 1000ppm, del cual se extrajo pequeñas cantidades para la preparación de soluciones a diferentes concentraciones.

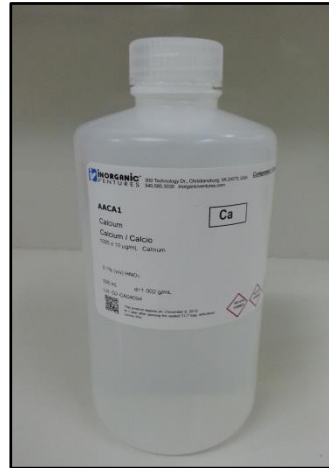


Figura 38. Estándar de Calcio (Ca) a 1000 ppm.

- La concentración de las soluciones de calcio fueron de 1ppm, 2ppm, 3ppm, 4ppm, 5ppm, 6ppm, 7ppm, 8ppm, 9ppm y 10ppm.



Figura 39. Pipetas de 1000µL y 100µL.

Cuadro 8. *Volumen extraído del estándar de calcio a 1000ppm. (μL .) Para la preparación de la curva de calibrado.*

Concentración de solución. De Calcio. (ppm)	Volumen extraído del estándar de calcio a 1000ppm. (μL.)
1	50
2	100
3	150
4	200
5	250
6	300
7	350
8	400
9	450
10	500

- La cantidad calculada de solución estándar para cada punto se colocó en una fiola de 50ml junto con 10ml de HNO₃ aforando con agua ultra pura.

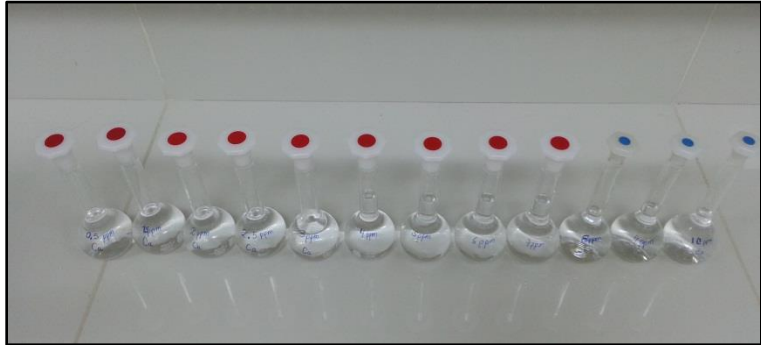


Figura 40. Curva de calibrado de calcio.

3.3.10.3. Digestión de la muestra de papaya en un horno microondas.

- Se homogenizaron las rodajas de papaya en un mortero, de donde se utilizaron sólo < 0.5g. de muestra. Esto para cada tratamiento.

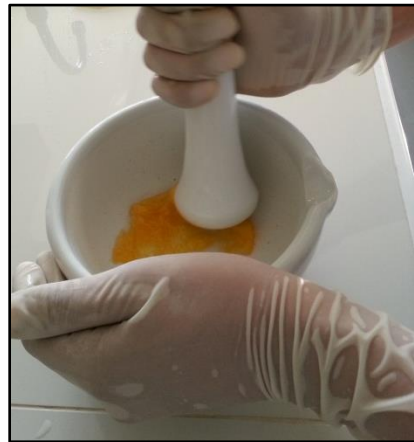


Figura 41. Homogenización de pulpa de papaya.

- Se agregó 10ml. De HNO_3 P.A. en el tubo de digestión. Este procedimiento se realizó en la cámara de extracción, dejando reposar por 15 min. con la tapa abierta para la expulsión de gases.



Figura 42. Adición de ácido nítrico en tubos de digestión.

- Se agregó la muestra previamente homogenizada y pesada al tubo de digestión, colocando de manera adecuada la cantidad de tubos permitidos por el equipo.



Figura 43. Posición adecuada de los tubos de digestión en el microondas.

- Se dejó digerir por un tiempo de 15 min. a una temperatura de 210°C y luego enfriar automáticamente con el mismo equipo hasta una temperatura máxima de 75°C.

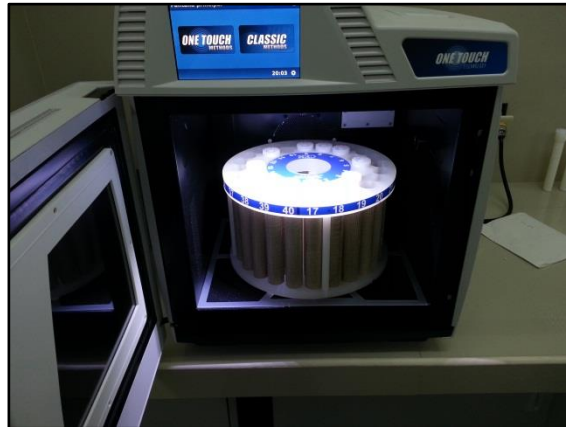


Figura 44. Digeritor.

- Después de la digestión, los tubos se destaparon en la cámara de extracción de gases.
- Posteriormente la mezcla de digestión se colocó a tubos cubicados de 50ml, completando con ácido nítrico (HNO_3) hasta 10ml (esto si hubo evaporación del ácido), para luego aforar con agua ultra pura hasta un volumen total de 50ml.



Figura 45. Aforado de fiola con agua ultra pura.

3.3.10.4. Digestión de la solución isotónica en un horno microondas.

- Se añadió al tubo de digestión, 2.5ml de HNO_3 . La relación de Sol. isotónica: Ácido fue de 1: 9.
- Se dejó reposar dentro de la campana de extracción por un tiempo de 15 min.
- Se agregó 22.5ml de la solución isotónica con $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ al tubo de digestión que contenía el ácido nítrico (HNO_3).

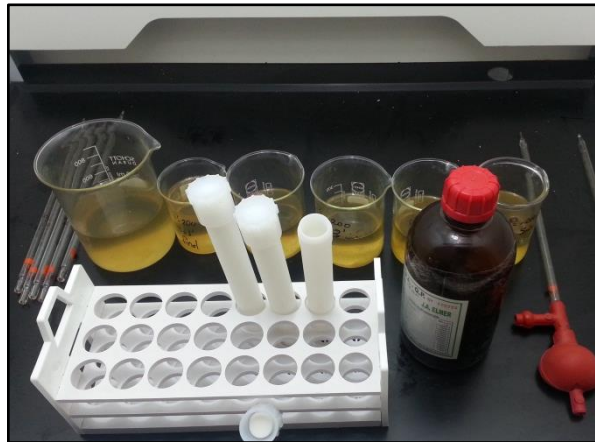


Figura 46. Adición del ácido nítrico y solución isotónica al tubo de digestión.

- Se realizó la digestión de acuerdo al US EPA 3015a por un tiempo de 15 min. a una temperatura de 171°C .
- Los tubos se destaparon en la cámara extractora de gases, para luego aforar con agua ultra pura hasta 50ml.

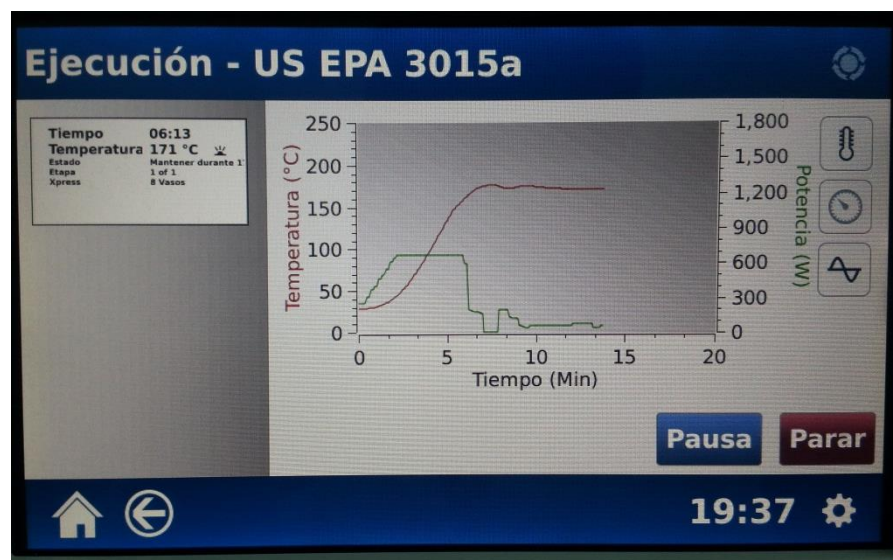


Figura 47. Comportamiento de la temperatura de solución isotónica vs. Tiempo, en la digestión

3.3.10.5. Lectura de absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica.

- Se realizó la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica a una longitud de onda de $\lambda = 422.7$, así mismo se calculó la concentración (g. Calcio/ 100g de Fruta) en cada muestra.

Cuadro 9. *Parámetros de digestión y lectura en el Espectrofotómetro de absorción atómica.*

Parámetros	Muestra sólida (Papaya)	Muestra Líquida (Sol. Isotónica)
Relación muestra: Ácido nítrico	0.5g muestra + 10ml Ácido nítrico (HNO ₃)	22.5ml muestra + 2.5ml Ácido nítrico (HNO ₃)
T° de digestión (°C)	210	171
Tiempo de digestión (min.)	15	15
Longitud de onda para determinación de calcio (nm)	422.7	422.7
Flujo de toma muestra (ml/seg)	0.12	0.12
Flujo de combustible (L/min.)	1.2	4.2
Longitud del mechero (mm)	50	50
Altura del mechero (mm)	10.2	11.0
Presión de Aire UHP (psia)	30	30
Presión de gas Acetileno (psi)	10	10
Presión de gas Óxido Nitroso (psi)	40	40

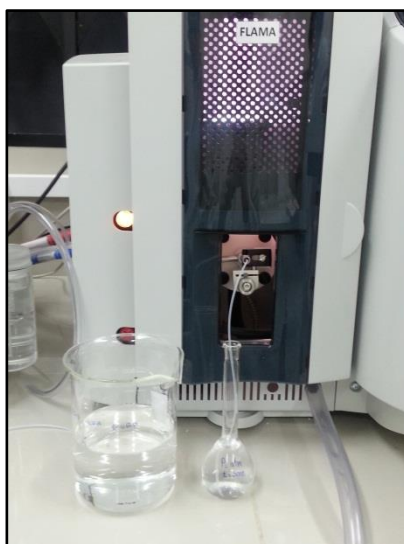


Figura 48. Lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica a una longitud de onda de $\lambda = 422.7$.

3.3.11. Análisis Sensorial.-

Se realizó una prueba de preferencia empleando para ello una escala hedónica de 9 puntos, que permite medir el grado en que un producto gusta o disgusta.

Cuadro 10. Escala hedónica de 9 puntos para evaluación sensorial.

Puntaje	Escala
1	Extremadamente desagradable
2	Muy desagradable
3	Desagradable
4	Me disgusta un poco
5	Ni me gusta ni me disgusta
6	Me gusta un poco
7	Agradable
8	Muy agradable
9	Extremadamente agradable

Se evaluó el olor, color, sabor y textura de papaya impregnada con calcio, con un panel 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 una temperatura de 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 y tiempo de impregnación de calcio
- Bloques: Panelistas

A los panelistas se les presentó 10 tratamientos al azar según el **Cuadro 11.**, de los cuales un tratamiento era el control (papaya fresca sin impregnar). Se les entregó el formato del Anexo 3 para que puedan evaluar las características de las muestras.

Cuadro 11. *Presentación al azar de tratamientos al panelista*

Tratamiento	Presión	Tiempo
T 1	P= -200mmHg	t=10min.
T 2	P= -100mmHg	t=15min.
T 3	P= -300mmHg	t=10min.
T 4	P= 760mmHg (Atm.)	-
T 5	P= -300mmHg	t=15min.
T 6	P= -200mmHg	t=5min.
T 7	P= -100mmHg	t=5min.
T 8	P= -300mmHg	t=5min.
T 9	P= -200mmHg	t=15min.
T 10	P= -100mmHg	t=10min.

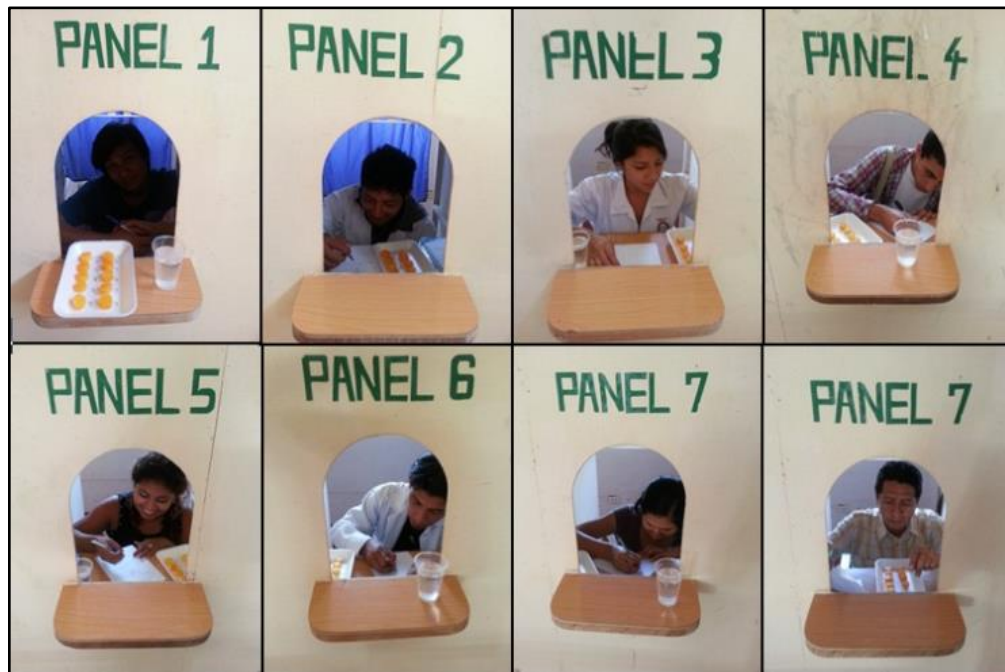


Figura 49. Análisis Sensorial de papaya.

- El software utilizado fue STATGRAPHICS Centurion.

3.3.12. Determinación del Coeficiente de Difusión de calcio.-

Se utilizó el modelo matemático de Mecanismo Hidrodinámico (HDM), el cual se usa para impregnación a vacío.

Se determina la fuerza impulsora reducida:

$$Y_t^j = \frac{z_t^j - y^j}{z_0^j - y^j} \quad \text{Ec. (18)}$$

$$Y_t^j = Y_t^j|_{HDM,t=0} \cdot Y_t^j|_{PD,t>0} \quad \text{Ec. (19)}$$

Dónde:

Y_t^j : Fuerza impulsadora reducida de calcio en un tiempo t.

z_t^j : Fracción másica del calcio en la fase líquida del alimento en un tiempo t.

z_0^j : Fracción másica total de calcio en la fase líquida del alimento inicial.

y^j : Fracción másica del calcio en la disolución isotónica.

Utilizando la solución de la ecuación simplificada para la parte difusional y reemplazándola en la ecuación (19) se obtiene:

$$\frac{Y_t^j}{Y_t^j|_{HDM,t=0}} = k \cdot \exp\left(\frac{-D_e \pi^2 t}{4l^2}\right) \quad \text{Ec. (20)}$$

Dónde:

k : Constante.

D_e : Difusividad efectiva (m^2/s)

l : Longitud característica (semiespesor), m

t : Tiempo, s

Para el cálculo de $Y_t^j|_{HDM,t=0}$ se utiliza la ecuación (18), determinando previamente el valor de acuerdo a la siguiente expresión Ec. (21):

$$z_t^j|_{HDM,t=0} = \frac{M_0^0 \cdot x_0^j + (1 + \gamma)V_0 \cdot X \cdot \rho_{OS} \cdot y^j}{M_0^0 \cdot x_0^w + M_0^0 x_0^{SS} + (1 + \gamma)V_0 \cdot X \cdot \rho_{OS}}$$

Dónde:

z_t^j : Fracción másica del calcio en la fase líquida del alimento en un tiempo t.

M_0^0 : Masa total al inicio, Kg.

x_0^j : Fracción másica del calcio en el alimento al inicio,
Kg_{componente}/Kg_{Totales}.

x_0^{SS} : Fracción másica de sólidos solubles en el alimento al inicio,
Kg_{componente}/Kg_{Totales}.

γ : Nivel de deformación.

V : Volumen, m³.

V_0 : Volumen inicial, m³.

X : Fracción de volumen ocupado por la disolución isotónica.

ρ_{OS} : Densidad de la disolución isotónica, Kg/m³.

y^j : Fracción másica del calcio en la disolución isotónica.

Con

$$X = \frac{M_t^0 - M_0^0}{\rho_{OS} \cdot V_0} \quad \text{Ec. (22)}$$

y

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0} \quad \text{Ec. (23)}$$

Dónde:

M_t^0 : Masa total en un tiempo t, Kg.

M_0^0 : Masa total al inicio, Kg.

V_t : Volumen en un tiempo t, m³.

V_0 : Volumen inicial, m³.

Se representaron gráficamente la ecuación (5) obteniéndose el coeficiente de difusión D_e .

3.3.13. %Variación de peso y ganancia de sólidos.-

Para determinar el porcentaje de variación de peso y ganancia de sólidos, se utilizó la presión y tiempo que permitían la mayor incorporación de calcio en la estructura de la fruta, esto se extrajo del resultado de la determinación de calcio.

Se obtuvieron pesos iniciales y finales en cada minuto del tiempo de impregnación (Tiempo de compresión), teniendo así sólo cinco puntos, así mismo se determinó la cantidad de calcio (mgCa/100g. fruta) en cada tiempo.

El porcentaje de variación de peso se determinó con la siguiente ecuación:

$$\Delta M = \frac{M_f - M_0}{M_0} * 100$$

Donde

ΔM : Porcentaje de variación de peso.

M_f : Masa de la muestra después de ser sometida a impregnación (g.)

M_0 : Masa inicial de la muestra (g.)

La ganancia de sólidos, en este caso calcio, se determinó de acuerdo a la ecuación descrita por **Sereno & Moreira, 2001**:

$$G.S. = \frac{M_t X_t^{Ca} - M_0 X_0^{Ca}}{M_0}$$

Dónde:

$G.S.$: Ganancia de sólidos, (g.Ca/g.fruta)

M_t : Masa total en un tiempo t, (g.)

M_0 : Masa inicial antes de impregnación, (g.)

X_t^{Ca} : Fracción másica de calcio en el alimento en un tiempo t.
(g.Ca/g.fruta)

X_0^{Ca} : Fracción másica de calcio en el alimento antes de impregnación.
(g.Ca/g.fruta)

3.3.14. Evaluación Fisicoquímica de papaya impregnada con calcio en almacenamiento.-

- Se evaluaron las características fisicoquímicas en almacenamiento refrigerado de la papaya mínimamente procesada que presentó mayor cantidad de calcio bajo los tratamientos aplicados y de papaya control sin tratamiento alguno.
- La determinación de: %Acidez, °Brix, pH, cantidad de calcio (mg/100gr fruta), color, textura, se llevaron a cabo durante 12 días, para evaluar los cambios que presenta la fruta durante el almacenamiento.

3.3.14.1. % Pérdida de peso.

Se registró el peso de un lote de 5 papayas en una balanza digital ($\pm 0,001$ g). Posteriormente, los frutos se pesaron diariamente durante todo el periodo de evaluación. Los resultados obtenidos se expresaron como porcentaje de peso perdido en relación al peso inicial **(Pérez et al., 2002)**.

3.3.14.2. % Humedad.

Se tomaron muestras representativas tanto de la papaya control y la papaya impregnada con calcio, de los cuales se extrajo 3 ± 001 g., dejando en una estufa a una temperatura de 55°C hasta peso constante. Se obtuvieron láminas de 1mm de cada rodaja, tanto de la parte externa e interna.

3.3.14.3. Sólidos solubles, acidez titulable y pH.

Se tomó una muestra representativa de la fruta en almacenamiento, la cual fue homogenizada. Se analizó el contenido de sólidos solubles expresando los resultados en °Brix. Se utilizó un refractómetro ABBE, calibrando con agua destilada previo a los análisis a 25°C. Para el % de acidez titulable se tomaron 10ml de zumo de papaya y se le agregó 3 gotas de fenolftaleína para titular con Hidróxido de Sodio al 0.1N hasta el viraje a un color rosado-violeta. El resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico (ácido cítrico /100 g de fruta). El pH se determinó con un pH-metro, calibrando previamente con soluciones buffer 4,0 y 7,0, enjuagando con agua destilada en cada medición.

3.3.14.4. Cambios en el color.

El color se determinó utilizando un colorímetro de marca Konica Minolta, modelo CR-400. Se evaluó diariamente el cambio de color en la piel de los frutos bajo las coordenadas CIE L*a*b*. Se tomó una lectura en las bases de cada rodaja cilíndrica haciéndolo por triplicado, tanto en la papaya control como en la papaya impregnada con calcio. Para el análisis de variación de color se analizaron las coordenadas a* (-verde, + rojo), b* (-azul, +amarillo), así como la luminosidad.

3.3.14.5. Firmeza.

Se evaluó la fuerza máxima de ruptura en las rodajas de papaya (expresadas en Newton, N) con la ayuda de un analizador de textura Texturómetro Brookfield Texture Analyzer CT3 siguiendo el método LAA-I-004-003, provisto de un cilindro de 2mm de diámetro y 3cm de largo, con una velocidad de penetración de 0.5mm/s, profundidad de penetración de 10mm y una carga de celda de 4500g. Se analizaron por triplicado las rodajas en almacenamiento para la papaya control y para la papaya impregnada con calcio.

3.4. Diseño Experimental.-

El diseño estadístico que se aplicó consiste en un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 3x3, 3 valores de presiones de vacío (A) y 3 tiempos diferentes de compresión (B) para cada una de ellas, 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 a fin de determinar las diferencias significativas entre ellos.

Cuadro 12. Representación del experimento factorial.

	A ₁			A ₂			A ₃		
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₁	B ₂	B ₃	B ₁	B ₂	B ₃
1									
2									
3									

3.4.1. Modelo estadístico.-

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

H0: $A_i = 0$

H1: Al menos un $A_i \neq 0$

H0: $B_i = 0$

H1: Al menos un $B_i \neq 0$

H0: $(AB)_{ij} = 0$

H1: Al menos un $(AB)_{ij} \neq 0$

Cuadro 13. ANOVA (Análisis de Varianza).

F.V	SC	GI	CM	Fc
Efecto de A	SC_A	$(p-1) = 2$	$SC_A / (p-1)$	CM_A / CM_e
Efecto de B	SC_B	$(q-1) = 2$	$SC_B / (q-1)$	CM_B / CM_e
Efecto de AB	SC_{AB}	$(p-1)(q-1) = 4$	$SC_{AB} / (p-1)(q-1)$	CM_{AB} / CM_e
Error	SC_{error}	$(pq)(r-1) = 18$	$SC_{error} / (pq)(b-1)$	
Total	SC_{Total}	$(pqb - 1) = 26$		

Dónde:

Factor:

A: Presión

B: Tiempo

r: repeticiones

Niveles del Factor:

p: Presión = 3

q: Tiempo = 3

r: Repeticiones = 3

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la materia prima

Las características iniciales promedio de la papaya (Carica papaya) en rodajas utilizada en la investigación, la cual pertenece a la variedad Hawaiana en estadio 3, se presenta en el Cuadro 14. Dentro de las características más relevantes se analizó el porcentaje de humedad, cantidad de sólidos solubles, % de acidez tomando como referencia la cantidad de ácido cítrico, pH, firmeza, porcentaje de porosidad y color.

Cuadro 14. *Características fisicoquímicas de papaya hawaiana utilizada en la impregnación a vacío.*

Parámetro	Valor
Humedad (Kg.H₂O/100Kg.muestra)	91.8±0.15
Sólidos solubles (°Brix) (20°C)	7.04±0.09
pH (20°C)	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 (mgCa/100gr.fruta)	41.65±0.09

Los sólidos solubles de la papaya en estadio 3, fueron de $7.04 \pm 0.09^\circ$ Brix, determinado a 20°C . **Rueda (1999)**, 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 un contenido en sólidos solubles de 6 a 7° Brix.

La firmeza (Newton, N) inicial de papaya en estadio 3, presentó valores de $15.55 \pm 0.31 \text{N}$. La firmeza es un atributo de la textura de las frutas y vegetales que están relacionada con el punto de cosecha, este atributo está ligado con los cambios físico-químicos 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. **(Zapata, et al, 2010)**.

El contenido de Humedad ($\text{Kg.H}_2\text{O}/100\text{Kg.muestra}$) 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, esto es debido al estadio de la papaya que se utilizó en la investigación y a las condiciones del suelo y clima donde ha sido cultivada.

La acidez libre (acidez titulable) representa a los ácidos orgánicos presentes que se encuentran libres y se mide neutralizando los jugos o extractos de frutas con una solución estándar de hidróxido de sodio (titulante). El % acidez titulable (ácido cítrico) obtenido fue de $0.10 \pm 0.02\%$, dato que coincide con **Arana & Quijano (2012)**, quienes reportan que la acidez en papaya de var. Hawaiiana es de 0.10 ± 1.60 .

El pH obtenido para la pulpa de papaya a una temperatura de 20°C fue de 5.20 ± 0.02 , dato que difiere ligeramente al reportado por **Ceballos (2005)**, quien menciona que el pH de la papaya se encuentra entre 5.5 y 5.9.

El valor de la coordenada L^* se refiere a la luminosidad y puede ir desde 0 (negro) a 100 (blanco). El valor de la coordenada a^* va desde el rojo (+) al verde (-) y la coordenada rectangular b^* varía del amarillo (+) al azul (-) (**Ferreira, 1981**). Los datos obtenidos para el color de 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 (2005)**, 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.

El contenido de calcio en papaya (parte comestible) obtenido en la investigación fue de 41.65 ± 0.09 (mgCa/100gr.fruta), el cual está ligeramente mayor del rango, de 40.80mgCa (verde) a 12.90 mgCa (madura) por cada 100 g. de parte comestible (**Barreiro, 1999**). 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.

4.2. Determinación de porosidad efectiva

Para la determinación de porosidad efectiva, se utilizaron los resultados de los valores promedios de la fracción volumétrica de líquido que ha penetrado en la estructura porosa de la papaya (X) (**ANEXO 2**), los cuales se graficaron vs. $\left(1 - \frac{1}{r}\right)$ en regresión lineal.

Cuadro 15. $\left(1 - \frac{1}{r}\right)$ Vs. Fracción volumétrica de líquido que ha penetrado en la papaya (X).

PRESION	CUBO		MONEDA		CILINDRO	
	X	1 - 1/r	X	1 - 1/r	X	1 - 1/r
P1= -100 mmHg	0.1231	0.1316	0.0169	0.1316	0.0562	0.1316
P2= -200 mmHg	0.1295	0.2632	0.0374	0.2632	0.0739	0.2632
P3= -300 mmHg	0.1459	0.3947	0.0514	0.3947	0.0857	0.3947

En el Grafico 1, se representa gráficamente los valores promedio de $\left(1 - \frac{1}{r}\right)$ Vs. X, para las distintas figuras geométricas: cubo, cilindro y moneda respectivamente.

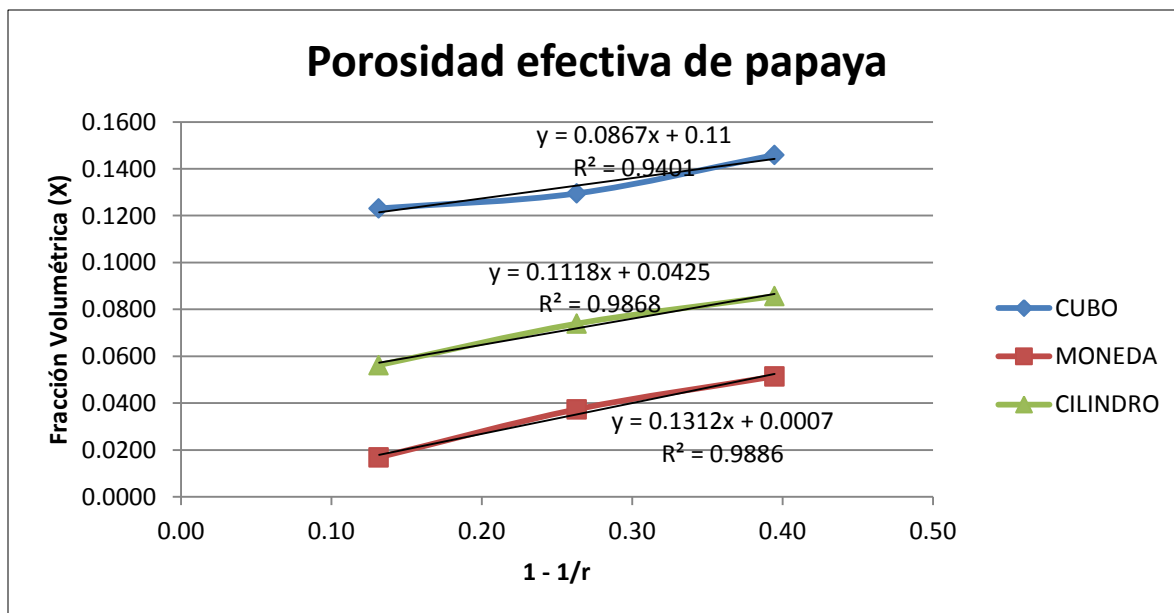


Gráfico 1. Influencia de la impregnación al vacío aplicada sobre la fracción volumétrica de la solución impregnada (X) en la papaya cortada en forma de: cubo, cilindro y moneda.

Los valores obtenidos de la fracción volumétrica se ajustaron a un modelo lineal junto con el factor $\left(1 - \frac{1}{r}\right)$, en donde los valores de porosidad efectiva representada por la pendiente de la recta variaron desde 0.867 hasta 0.1312.

Cuadro 16. Porosidad efectiva de figuras geométricas en papaya.

FIGURA GEOMÉTRICA	VOLUMEN (cm ³)	CORRELACIÓN	POROSIDAD EFECTIVA (%)
Cubo	1.00	0.9401	8.67%
Moneda	3.14	0.9886	13.12%
Cilindro	1.57	0.9868	11.18%

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 (**Duckworth, 1979, citado por Santacruz, 2004**). La determinación de la porosidad ayuda a determinar el volumen de aire que se encuentra en la fruta (**Santacruz, 2004**); 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 mostrada 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 (citado por Santacruz, 2004)**, 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, a la agitación utilizada, a la temperatura de trabajo y a la solución isotónica usada, ya que esto interfiere en el resultado final.

Santacruz (2004), 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, para la misma fruta, 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 (**Fito, 1994, citado por Santacruz, 2004**).

Fito & Betoret (2011) 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.

La porosidad es una propiedad de los alimentos para poder utilizar su estructura como vehículo de componentes que regularmente no contienen o están en baja concentración (**Gilibert, 2002, citado por Santacruz 2004**).

4.3. Rendimiento de papaya cortada en rodajas en forma de moneda

Se seleccionaron tres papayas de la misma variedad y estadio 3 para obtener el rendimiento de rodajas en forma de moneda en la papaya, el cual fue 48.46%. El resultado promedio se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. *Rendimiento en rodajas de papaya.*

Papaya		Rendimiento (%)	
Parte comestible	Rodajas	45.3	73.5
	Pulpa de segundo uso	28.2	
Parte no comestible	Pepa	4.9	26.5
	Cáscara	21.6	
Total		100	100

El peso promedio obtenido para las rodajas en forma de moneda fue de 4.8 ± 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 **USDA (2000)**, quien reporta un rendimiento de 56% en parte comestible y un 44% en parte no comestible.

La parte comestible (pulpa de segundo uso) que no se utiliza en un proceso de impregnación, puede utilizarse para la elaboración de bebidas, mermeladas, dulces, etc.

4.4. Determinación de Calcio por Espectrofotometría de Absorción Atómica

El Cuadro 18, presenta los promedios de los niveles de Ca^{+2} obtenidos para la papaya fresca y para la papaya impregnada con calcio. La mayor cantidad de calcio impregnado en papaya fue de 319.7mg/200gr fruta, representando un 32% de la IDR (Ingesta diaria recomendada), concentración que demuestra la efectividad del proceso de impregnación a vacío como metodología de fortificación.

Cuadro 18. Cantidad de calcio mg/100gr fruta.

TRATAMIENTOS		Cantidad de Calcio (mg/100gr fruta)
Control	P=atm.	41.65 ± 0.306
P ₁ =- 100mmHg.	t ₁ =5min.	90.24 ± 2.277
	t ₂ =10min.	99.03 ± 3.047
	t ₃ =15min.	108.14 ± 8.531
P ₂ =- 200mmHg.	t ₁ =5min.	159.87 ± 3.500
	t ₂ =10min.	88.44 ± 2.521
	t ₃ =15min.	84.41 ± 3.189
P ₃ =- 300mmHg.	t ₁ =5min.	104.85 ± 3.303
	t ₂ =10min.	144.34 ± 1.971
	t ₃ =15min.	108.39 ± 6.737

La cantidad de calcio presentado por la papaya control sólo fue de 41.65 mgCa/100g.fruta, mientras que con los tratamientos aplicados varió desde 84.41 mgCa/100g.fruta (P₂=-200mmHg., t₃=15min.) hasta 159.87 mgCa/100g.fruta (P₂=-200mmHg., t₁=5min.). Las repeticiones en determinación de calcio para cada tratamiento se muestran en el **Anexo 5**.

Ostos, S., Díaz, A., & Suarez, H. (2012), evaluaron diferentes condiciones de proceso (utilizando dos presiones de vacío: -138 mmHg y -61,5 mmHg así como también dos tiempos de impregnación: 5min y 10min) en la fortificación de mango (tommy atkins) con calcio mediante la impregnación a vacío, demostrando que el proceso de impregnación a una presión de -138mmHg por un tiempo de 5 min de una mezcla de sales como medio de fortificación (lactato de calcio al 6% y cloruro de calcio al 1%), permite incorporar hasta en un 37,6 % de la IDR (Ingesta diaria recomendada) de $\text{Ca}^{+2}/200\text{g}$ de mango sin afectar las características sensoriales del producto fortificado. **(Ostos et al., 2012)**, esto se contrasta con los resultados obtenidos en esta investigación, evidenciando que el proceso de impregnación a vacío es un método apropiado para poder obtener alimentos funcionales.

Vásquez, M., Gras, M., & Vidal, D. (2010). Realizaron el enriquecimiento en calcio de la lechuga tipo Iceberg a través de lactogluconato de calcio y a una presión de vacío de -375mmHg a partir de 34.7mgCa/100 gr de parte comestible, obteniendo como resultado 154mg Ca/250 g de producto impregnado, lo que corresponde al 19,3% de la cantidad diaria recomendada. **(Vásquez et al., 2010)**.

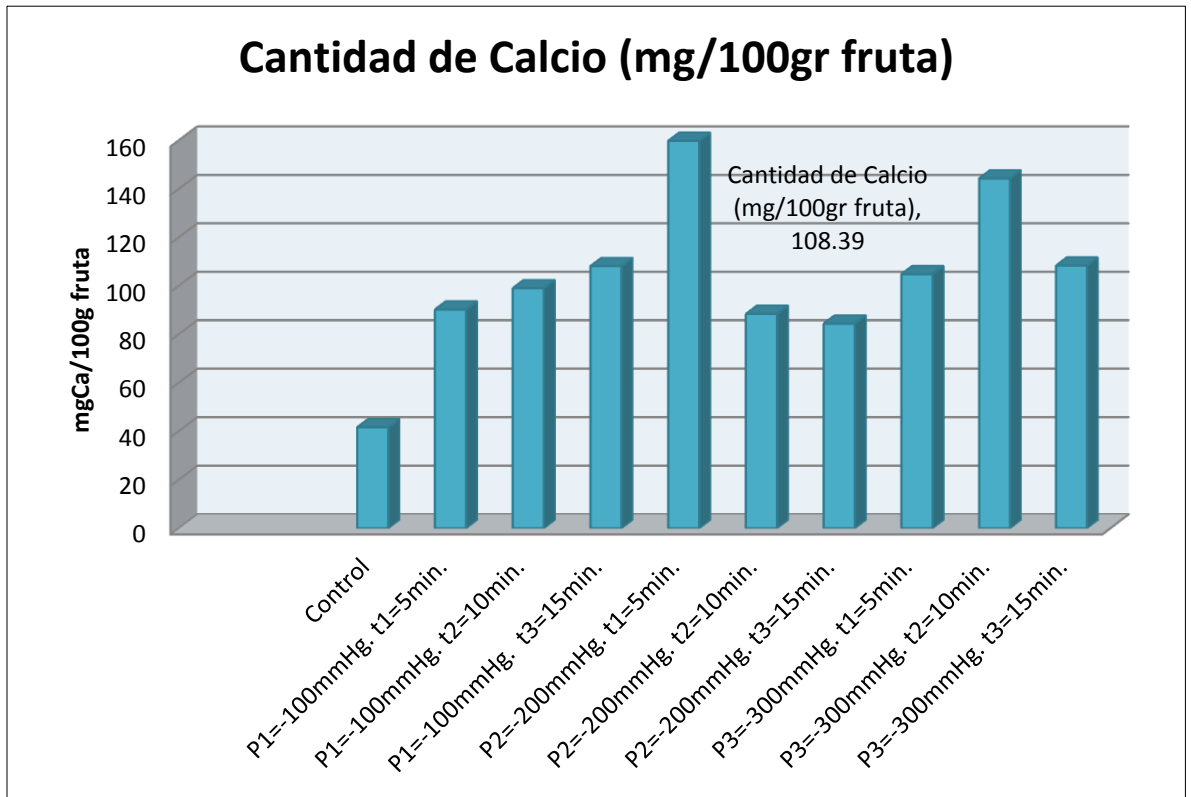


Gráfico 2. Cantidad de mg de Calcio/100g. de papaya obtenido en impregnación al vacío.

En el gráfico 2 de barras, se puede mostrar claramente que para una P=-200mmHg y t=5min. se obtiene mayor impregnación de calcio en la estructura de la papaya. A continuación se muestra el Análisis estadístico para determinar si existe diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos aplicados.

Las medias para cada tratamiento se evaluaron con un Análisis de Varianza mediante un Diseño Completamente al azar con arreglo factorial 3X3 con una significancia de $\alpha=5\%$.

Cuadro 19. *Análisis de Varianza (ANOVA).*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Presión	1811.22	1	1811.22	2.67	0.1186
B:Tiempo	1458.72	1	1458.72	2.15	0.1587
AA	18.1911	1	18.1911	0.03	0.8716
AB	154.585	1	154.585	0.23	0.6384
BB	9.95195	1	9.95195	0.01	0.9048
bloques	9.36393	2	4.68197	0.01	0.9931
Error total	12876.8	19	677.727		
Total (corr.)	16338.8	26			

Analizando los efectos de cada variable, se encuentra que las variables que tienen un efecto positivo sobre la respuesta a la cantidad de impregnación de calcio en papaya son la interacción de Presión con tiempo. El resto de las variables tiene un efecto negativo sobre la respuesta. Los efectos se ordenan en mayor a menor en el **gráfico 3**.

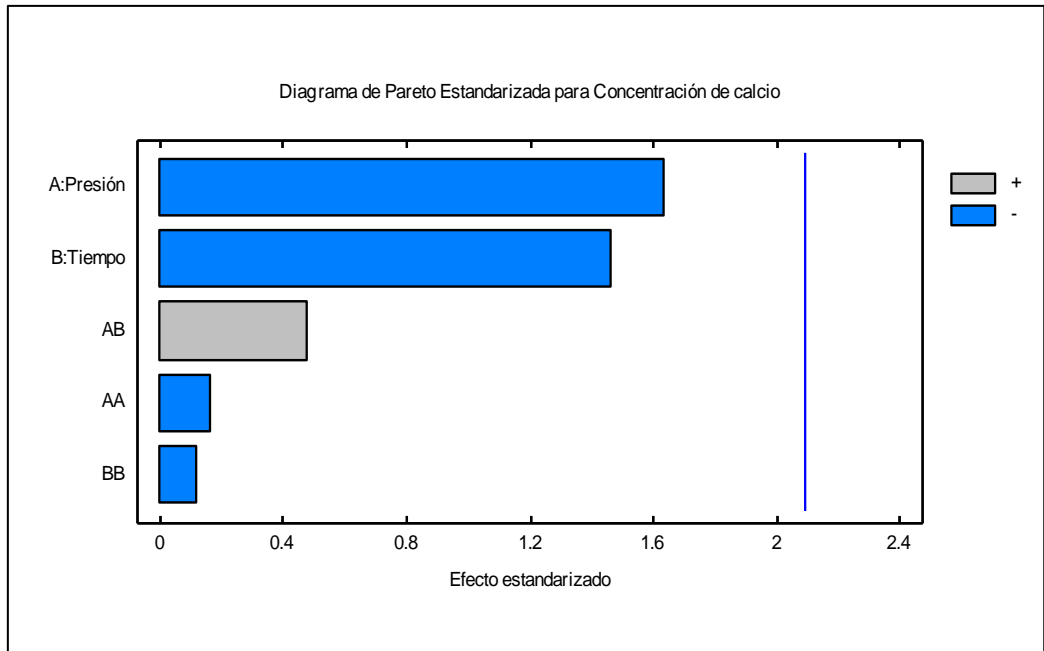


Gráfico 3. Diagrama de Pareto estandarizada para concentración de calcio.

El gráfico de Pareto muestra claramente que la presión es el factor más importante que influye de manera significativa en la cantidad de calcio impregnado en papaya, seguido por el efecto del tiempo y por efecto de la interacción de presión-presión y tiempo-tiempo.

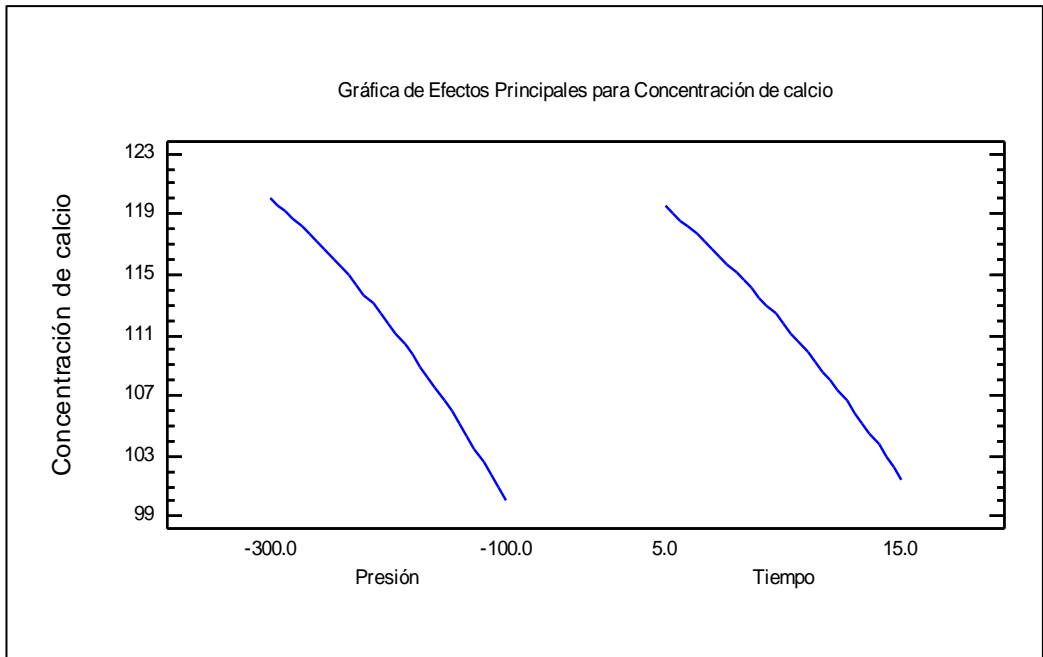


Gráfico 4. Efectos principales para concentración de calcio.

En el gráfico 4, muestra que, a medida que la presión de vacío disminuye, el contenido de calcio impregnado en papaya también lo hace. Además, con respecto al tiempo, el contenido de calcio disminuye a medida que se aumenta el tiempo de impregnación.

Cuadro 20. *Coefficiente de regresión para Concentración de calcio*

Coefficiente	Estimado
constante	83.2334
A:Presión	-0.241743
B:Tiempo	0.665533
AA	-0.000174122
AB	0.00717833
BB	-0.0515156

La ecuación de regresión en donde se han ajustado los datos en:

$$\text{Concentración de calcio} = 83.2334 - 0.241743 \cdot \text{Presión} + 0.665533 \cdot \text{Tiempo} - 0.000174122 \cdot \text{Presión}^2 + 0.00717833 \cdot \text{Presión} \cdot \text{Tiempo} - 0.0515156 \cdot \text{Tiempo}^2$$

El modelo de regresión contiene en este caso dos efectos lineales, una interacción y dos efectos cuadráticos. Estos efectos se pueden interpretar de la siguiente manera: Los efectos lineales representan la diferencia entre los niveles bajos y altos para cada factor respectivo. Los efectos cuadráticos, representan la diferencia entre el respectivo nivel medio y el promedio de los niveles bajos y altos. Los efectos para la interacción lineal entre dos factores pueden interpretarse como la media diferencia entre el efecto lineal de un factor a los niveles bajos y altos del otro factor.

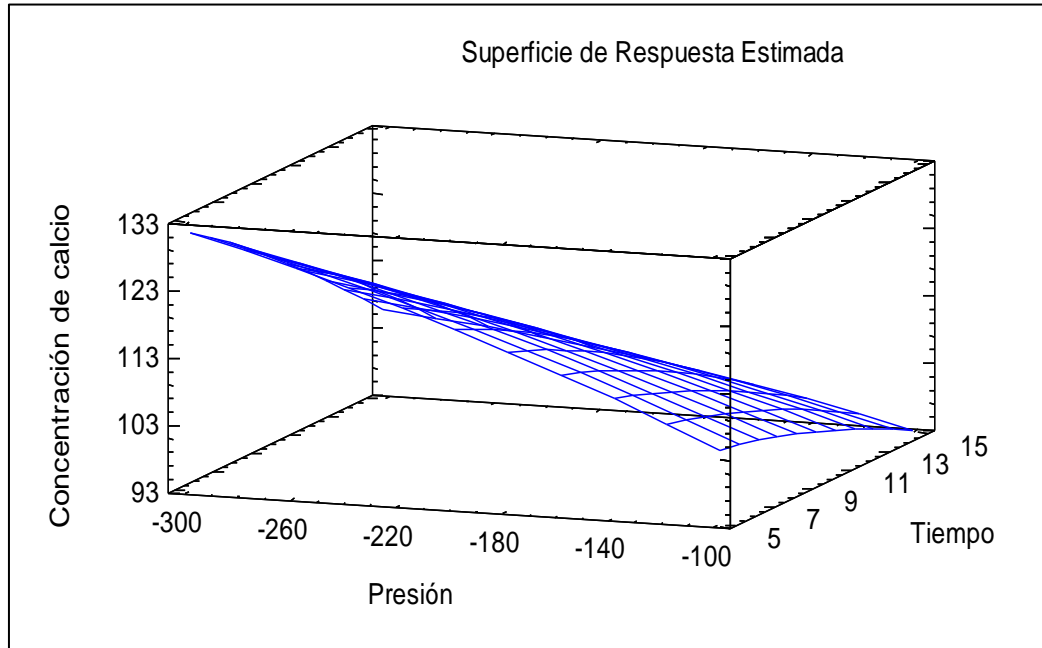


Gráfico 5. Superficie de respuesta estimada.

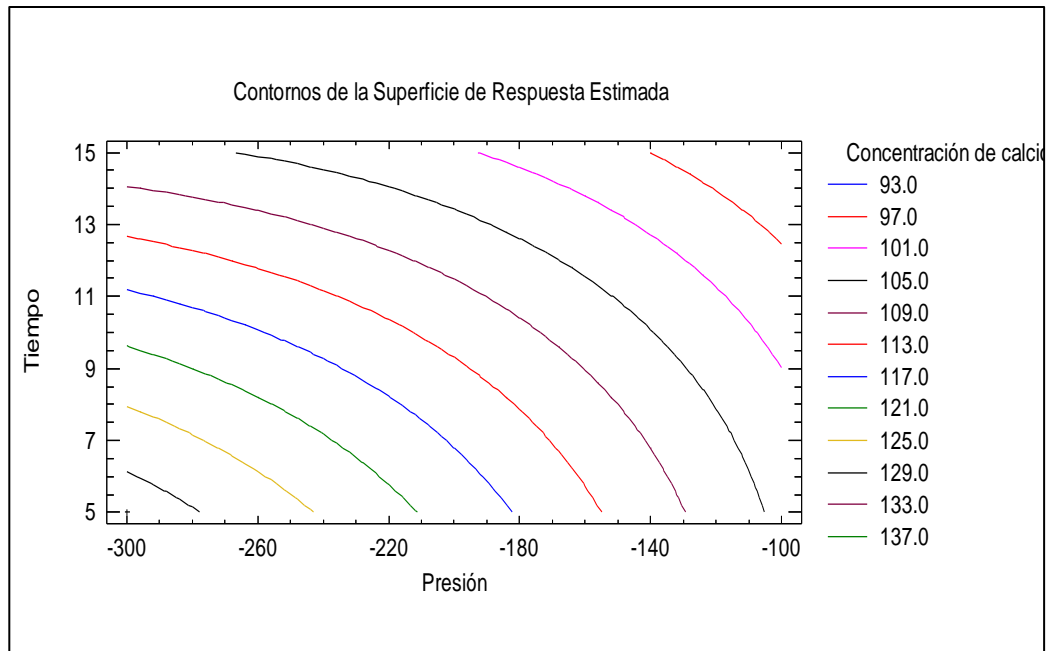


Gráfico 6. Contorno de la superficie estimada.

Según el Gráfico 5 y 6. A medida que el tiempo de impregnación aumenta y la presión de vacío es menor (-100mmHg.) la concentración de calcio también disminuye; así mismo, a medida que la presión de vacío va aumentando y el tiempo disminuyendo, la concentración de calcio en papaya aumenta, hasta un punto determinado en donde se logra una máxima concentración, para luego disminuir por efecto de la aplicación de la presión de vacío. Por lo tanto, no hay concordancia entre la aplicación de una presión de vacío con el tiempo de impregnación, es por esto que en esta investigación, se ha encontrado la presión y tiempo óptimos en donde se ha logrado impregnar mayor cantidad de calcio en papaya, siendo $P=-200\text{mmHg}$ y $t=5\text{min}$, los factores que determinan una mayor impregnación ($159.87\pm 3.5\text{mg.Ca}/100\text{g.fruta}$).

4.5. Análisis Sensorial de papaya impregnada con calcio al vacío

Se aplicó una evaluación sensorial con una escala hedónica de nueve puntos a 20 jueces semi-entrenados, a dichos resultados se les aplicó un análisis de varianza ANOVA, para verificar el nivel de agrado de los jueces para cada tratamiento.

Para esta evaluación se utilizó papaya impregnada con calcio al vacío con diferentes presiones y tiempos.

Los resultados (**ANEXO 6**) promedios que se obtuvieron se muestran en el **Cuadro 21**.

Cuadro 21. Puntaje promedio para cada tratamiento en impregnación al vacío de calcio en papaya.

TRATAMIENTOS		PUNTAJE PARA LOS SIGUIENTES ATRIBUTOS			
		OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
Control	Control	6.30±1.66	6.25±1.59	5.85±1.79	6.55±1.93
P ₁ =- 100mmHg.	t ₁ =5min.	6.90±1.17	6.55±1.57	6.7±1.49	6.70±1.75
	t ₂ =10min.	6.90±1.12	7.05±1.15	6.6±1.23	6.95±0.89
	t ₃ =15min.	6.80±0.77	6.20±1.15	6.4±0.88	7.20±1.11
P ₂ =- 200mmHg.	t ₁ =5min.	6.55±1.09	6.45±1.09	6.65±1.46	7.45±1.05
	t ₂ =10min.	6.65±1.14	6.75±0.71	6.5±0.95	7.45±0.83
	t ₃ =15min.	6.55±1.64	6.40±1.23	5.75±1.37	6.35±1.75
P ₃ =- 300mmHg.	t ₁ =5min.	6.70±0.98	6.85±1.42	6.7±1.08	7.10±1.07
	t ₂ =10min.	6.80±0.95	6.75±1.25	6.25±1.41	7.15±1.31
	t ₃ =15min.	6.35±1.50	6.75±1.37	5.75±1.45	6.85±1.18

Cuadro 22. Análisis de varianza para el atributo olor en papaya.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft (5%)	SIG
TRATAMIENTOS	9	8.10	0.90	1.27	1.94	
PANELISTAS	19	167.90	8.84	12.44	1.65	**
ERROR	171	121.50	0.71			
TOTAL	199	297.50				

Los sabores a fruta son una mezcla del dulzor debido a los azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa) y la acidez de los ácidos orgánicos (cítrico y málico). Sin embargo, son los aromas relacionados con los diferentes componentes volátiles de las frutas los que permiten distinguirlas entre sí. Una fruta contiene más de 100 compuestos volátiles diferentes, pero en conjunto estos compuestos constituyen solamente unas pocas partes por millón de la fruta (**Fisher y Scott, 2000**).

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. Sin embargo, existe diferencia altamente significativa entre panelistas. Esta valoración, quizá relacionada con la asociación del olor a aspectos emotivos, como experiencias pasadas o recuerdos, puede cambiar con las circunstancias propias de cada persona, pero existen olores que el cerebro procesa automáticamente como “malos” o como “buenos”, lo que puede, en el caso de los alimentos, ser la base para su aceptación o rechazo (**Torres, 2007**), sin embargo no es objeto de estudio.

La relación entre el olor y el tiempo es más importante, ya que el olor es una propiedad sensorial que presenta dos atributos contradictorios entre sí, en los cuales está involucrado el tiempo. La primera es la persistencia, o sea, que aun después de haberse retirado la sustancia olorosa, la persona continúa percibiendo el olor. Esto se debe a que las fosas nasales y la mucosa que recubre el interior de estas quedan saturadas de la sustancia volátil. Es por esto que cuando se llevan a cabo pruebas sensoriales de olor, es muy necesario ventilar bien el lugar de prueba entre las evaluaciones de una y otra muestra, y dar tiempo suficiente a los jueces entre una y otra prueba, para que la sensación olfativa desaparezca. La otra característica está más bien relacionada con la mente o con la zona olfatoria del cerebro, y es que las personas se acostumbran a los olores después de un cierto tiempo. La causa de esto es que el olor produce una impresión muy fuerte en el cerebro, tal que incluso impide a este que perciba algunos otros atributos, pero después de un cierto tiempo, el mecanismo cerebral restablece la atención hacia los demás sentidos y por ello se pierde la sensación del olor, o uno se acostumbra a ella (**Anzaldúa, 1994**).

Cuadro 23. *Análisis de varianza para el atributo color en papaya.*

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft (5%)	SIG
TRATAMIENTOS	9	13.60	1.51	1.32	1.94	
PANELISTAS	19	114.40	6.02	5.25	1.65	**
ERROR	171	196.00	1.15			
TOTAL	199	324.00				

El color es un fenómeno de percepción que depende del observador y de las condiciones en que se mira un material. Este atributo en un alimento se vuelve visible cuando la luz de una fuente luminosa choca con su superficie **(Zuluaga et al., 2010)**.

El análisis de varianza, a una significancia de $\alpha=0.05$, muestra que no existe estadísticamente diferencia significativa con respecto a los tratamientos aplicados. El promedio general de todos los tratamientos fue de 6.6, 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.

Las rodajas de papaya fueron sumergidas en agua con ácido ascórbico al 0.1% para evitar el pardeamiento enzimático, ya que este se origina por la polifenoloxidasas, una enzima que provoca un oscurecimiento rápido principalmente en la parte externa de las muestras **(Zuluaga et al., 2010)**.

La apariencia es el atributo que más causa impacto a la hora de escoger por parte del consumidor, siendo el color la característica más relevante, constituyéndose en el primer criterio para su aceptación o rechazo. El color está relacionado con la calidad, el índice de madurez y la deterioración del producto. El consumidor espera un determinado color para cada alimento y cualquier alteración en éste parámetro puede influir en su aceptabilidad **(Resende et al., 2004)**.

Cuadro 24. *Análisis de varianza para el atributo sabor en papaya.*

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft (5%)	SIG
TRATAMIENTOS	9	27.80	3.09	2.16	1.94	**
PANELISTAS	19	95.25	5.01	3.51	1.65	**
ERROR	171	244.10	1.43			
TOTAL	199	367.16				

Los tratamientos P=-300mmHg y t=15min y P=-200mmHg y t=10min, obtuvieron el mismo puntaje de 5.75 (entre “Ni me gusta ni me disgusta” y “me gusta un poco”); y según el análisis de medias DUNCAN, muestra que estos tratamientos difieren estadísticamente con los tratamientos P=-200mmHg y t=5min; P=-100mmHg y t=5min, y P=-300mmHg y t=5min., que tienen puntajes de 6.65; 6.7 y 6.7 respectivamente, y a su vez, no tienen diferencia significativa entre sí ni con el tratamiento control (5.85), al tener la calificación entre “me gusta un poco” y “agradable”, obteniendo mayor aceptación por parte de los consumidores.

El cloruro de calcio puede impartir un sabor amargo-salado al paladar, no deseado (**Casas & Cáez, 2011**) y además se intensifica al aumentar su concentración en el alimento (**Gómez, 2013**). Sin embargo, no hubo correlación entre la cantidad de calcio presente en la papaya y la aceptabilidad, esto se debe a la percepción que tuvo cada panelista y al juicio emitido por los mismos.

El sabor y aroma de frutas y legumbres, dependen de la relación del contenido de azúcares y ácidos, de la riqueza en taninos (astringentes) y de la presencia de numerosos compuestos más o menos volátiles, tales como los ésteres, alcoholes, aldehídos, cetonas, terpenos, etc. (**Cheftel & Cheftel, 1976**).

Cuadro 25. Análisis de varianza para el atributo textura en papaya.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft (5%)	SIG
TRATAMIENTOS	9	24.23	2.69	2.32	1.94	**
PANELISTAS	19	142.17	7.48	6.45	1.65	**
ERROR	171	198.48	1.16			
TOTAL	199	364.88				

El análisis estadístico muestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos P=-200mmHg y t=10min.; P=-200mmHg y t=5min; P=-100mmHg y t=15min.; y P=-300mmHg y t=10min. y., quienes obtuvieron un puntaje de 7.45, 7.45, 7.20 y 7.15 respectivamente, siendo los tres primeros tratamientos los que obtuvieron mayor cantidad de calcio impregnado en su estructura y encontrándose en la escala de “agradable”. Estos tratamientos muestran diferencia significativa con el control, el cual obtuvo un puntaje de 6.55, ya que los iones de Ca^{+2} presentes en la solución osmótica después de acumularse en el interior de la estructura, interaccionan con el ácido péctico para formar pectato de calcio, reestructurando la integridad de la estructura y en la medida que aumenta su concentración tiende a existir un incremento de la firmeza; lo que ayuda a mantener la estructura de la fruta (**Leyva et al., 2011**).

Leyva-López et al. (2011) concluyeron que los tratamientos de papaya (*Carica papaya* L.) fresca, cortada en cubos, previamente sumergidos en soluciones de lactato y cloruro de calcio (1 y 3 %), no afectaron la aceptabilidad general, no obstante con cloruro de calcio 3 % hubo mayor aceptabilidad con respecto a apariencia y textura.

En la deshidratación osmótica de rodajas de kiwi inmersas en soluciones de sacarosa con y sin adición de cloruro de calcio (0,1 M), **Sanjinez et al. (2010)**, luego de una evaluación sensorial, determinaron que en el atributo textura, hubo diferencia significativa entre las muestras, siendo preferidas las muestras tratadas con adición de cloruro por presentar textura más firme. El resultado lo explican por la presencia del calcio; la formación de pectatos que favorecen disminuyendo la solubilidad de las sustancias pépticas y que, consecuentemente, favorecen a la firmeza del producto.

4.6. 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 P= -200mmHg y t=5min.

El tiempo que se refleja en el cuadro siguiente es el tiempo de compresión, existiendo un tiempo de expansión de 10min. Para cada análisis. Una vez transcurrido el tiempo de expansión se sometió al tiempo de compresión (Cambio de P_{Vacío} a P_{atm}) y a su vez se almacenó para la determinación de calcio.

Utilizando la solución de la ecuación Ec. (20) simplificada para la parte difusional: se obtiene la Ec. (27) y Ec. (28)

$$\frac{Y_t^j}{Y_t^j|_{HDM,t=0}} = k \cdot \exp\left(\frac{-D_e \pi^2 t}{4l^2}\right) \quad \text{Ec. (20)}$$

$$\ln(Y_t^j) = \ln(k) + \left(\frac{-D_e \pi^2 t}{4l^2}\right) \quad \text{Ec. (27)}$$

$$\ln(Y_t^j) = \ln(k) + D_e * \left(\frac{-\pi^2}{4l^2}\right) t \quad \text{Ec. (28)}$$

Cuadro 26. Factor $\frac{-\pi^2 t}{4l^2}$ Vs. Fuerza impulsadora en la impregnación de calcio en papaya.

T (min.)	$\frac{\pi^2 t}{4l^2}$	$\ln(Y_t^j)$
1	-370088	-0.001719
2	-740177	-0.007257
3	-1110265	-0.010179
4	-1480353	-0.011549
5	-1850442	-0.015990

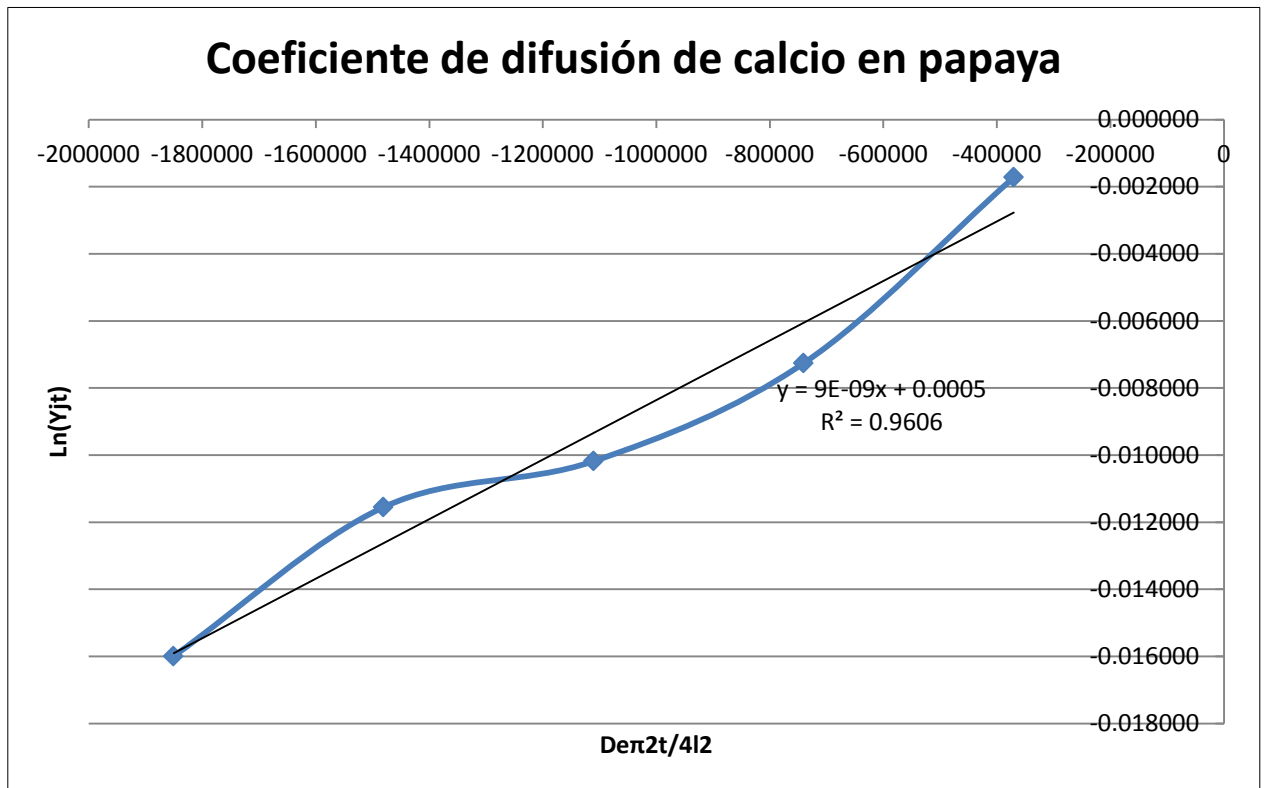


Gráfico 7. Coeficiente de difusión en impregnación al vacío de calcio en papaya (Carga papaya)

De la ecuación de la gráfica,

$$\ln(Y_t^j) = \ln(k) + D_e * \left(\frac{-\pi^2}{4l^2}\right) t \quad \text{Ec. (28)}$$

$$Y = 0.0005 + 0.0000000088724x$$

Se obtiene la pendiente, que es el coeficiente de difusión de calcio en papaya D_e , el cual es $8.87 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{seg}$.

El coeficiente de difusión obtenido experimentalmente representa la velocidad de transferencia de masa, es decir, la velocidad en la que el calcio presente en la solución se introduce dentro de la estructura porosa de la papaya. **Rodrigues et al. (2003)** reporta un coeficiente de difusión en papaya de $3.47 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{seg}$. Trabajando con una concentración saturada de sólidos solubles a temperatura ambiente (25°C). A esto, se le atribuye que el coeficiente de difusión determinado en nuestra investigación, sólo se realizó para el calcio impregnado, más no con otros sólidos, ya que la solución utilizada fue isotónica con respecto a la concentración de sólidos solubles de la fruta; además, el coeficiente de difusión experimental hallado, está ligado a la presión y tiempo de operación, velocidad de agitación y temperatura de trabajo.

Hay que tener en cuenta que existen muchas variables que afectan la transferencia de masa durante procesos de impregnación o deshidratación osmótica, esta son: la concentración y la temperatura de la disolución osmótica, el tiempo de inmersión, la estructura (porosidad) del material, la geometría (tamaño forma y área superficial), la composición de la disolución (peso molecular y naturaleza del soluto), la presión (vacío o atmosférica), el nivel de agitación, la relación disolución-producto y el pretratamiento del producto (**Sablani & Rahman, 2003; Rastogi & Raghavarao, 1996; van Nieuwenhuijzen et al., 2001; Rastogi & Raghavarao, 2002, citados por Ochoa & Ayala, 2005**).

4.7. Determinación del % de ganancia de peso y ganancia de sólidos

4.7.1. % Ganancia de peso.-

Se puede observar que la tendencia es el incremento de peso en las muestras tratadas con impregnación al vacío así como las muestras tratadas a presión atmosférica, sin embargo el más alto % de ganancia de peso se obtiene bajo el tratamiento de impregnación al vacío.

Cuadro 27. *Porcentaje de variación de peso para los procesos de impregnación a presión de vacío y presión atmosférica.*

Tiempo (seg.)	% Variación de peso en Papaya impregnada a Presión atmosférica	% Variación de peso en Papaya impregnada a presión de vacío
0	0.00%	0.00%
60	0.10%	0.16%
120	0.36%	0.68%
180	0.45%	0.94%
240	0.45%	1.04%
300	0.52%	1.41%

A medida que el tiempo de impregnación transcurre, el porcentaje de variación de peso va aumentando debido a la incorporación de solución en la estructura porosa de la fruta.

El porcentaje de variación de peso se utiliza como indicador de la eficiencia del proceso (**Grijalva & Cornejo, 2009**).

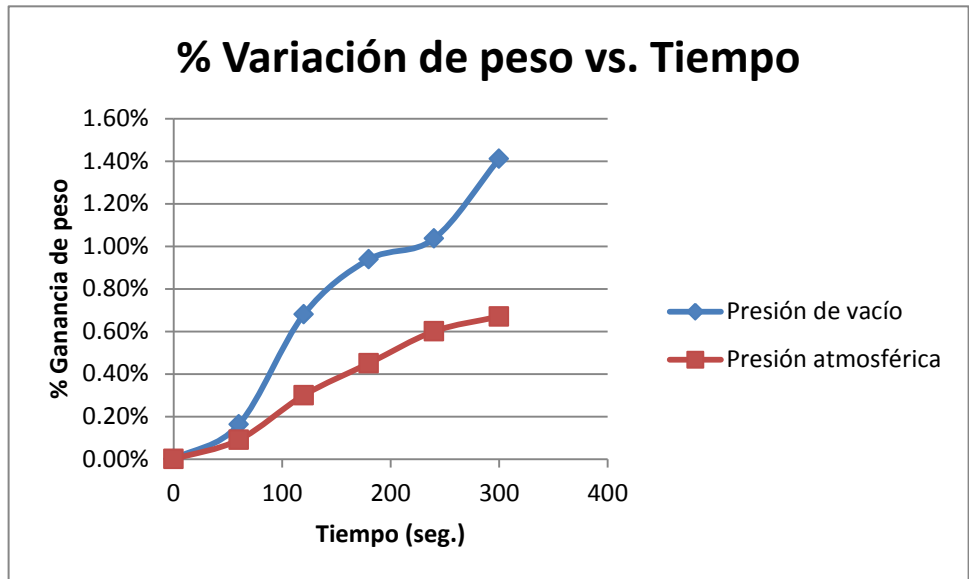


Gráfico 8. %Variación de peso de papaya en impregnación al vacío y atmosférica.

El incremento en la velocidad de transferencia de masa significa un ahorro de tiempo de proceso y un posible aumento de la eficiencia del mismo debido a que en cortos tiempos se obtiene un incremento del peso del producto ya sea por el ingreso de soluto o de solvente (**Grijalva & Cornejo, 2009**). Esto se refleja claramente al comparar el % variación de peso en papaya usando presión atmosférica o de vacío, siendo en esta última donde se obtiene mayor ganancia de peso, lo cual se traduce en el empleo de menor tiempo en todo proceso.

4.7.2. % Ganancia de sólidos.-

La variación del porcentaje de peso no permite determinar con certeza la eficiencia de la impregnación debido a que no se puede definir qué materia se transfiere. Por lo tanto, es importante determinar la ganancia de sólidos y agua como otros indicadores de eficiencia.

El valor inicial de la masa total de rodajas de papaya antes del tratamiento fue de $M_0^0 = 0.0309 \text{ Kg}$, y la fracción másica del calcio en el alimento al inicio fue de $x_0^j = 0.000412$.

Cuadro 28. Masa de fruta, fracción de calcio y ganancia de sólidos (Ca) durante el tiempo de impregnación.

TIEMPO (seg.)	Presión de vacío (-200mmHg)			Presión atmosférica		
	M_t^0	x_t^{Ca}	$GS_{(g.Ca/g.fruta)}$	M_t^0	x_t^{Ca}	$GS_{(g.Ca/g.fruta)}$
0	0.030900	0.00041	0.0001%	0.030860	0.00041	0.0001%
60	0.030950	0.00084	0.0430%	0.030890	0.00042	0.0008%
120	0.031110	0.00113	0.0730%	0.030970	0.00045	0.0040%
180	0.031190	0.00131	0.0909%	0.031000	0.00048	0.0070%
240	0.031220	0.00147	0.1072%	0.031000	0.00050	0.0090%
300	0.031336	0.00161	0.1220%	0.031020	0.00052	0.0111%

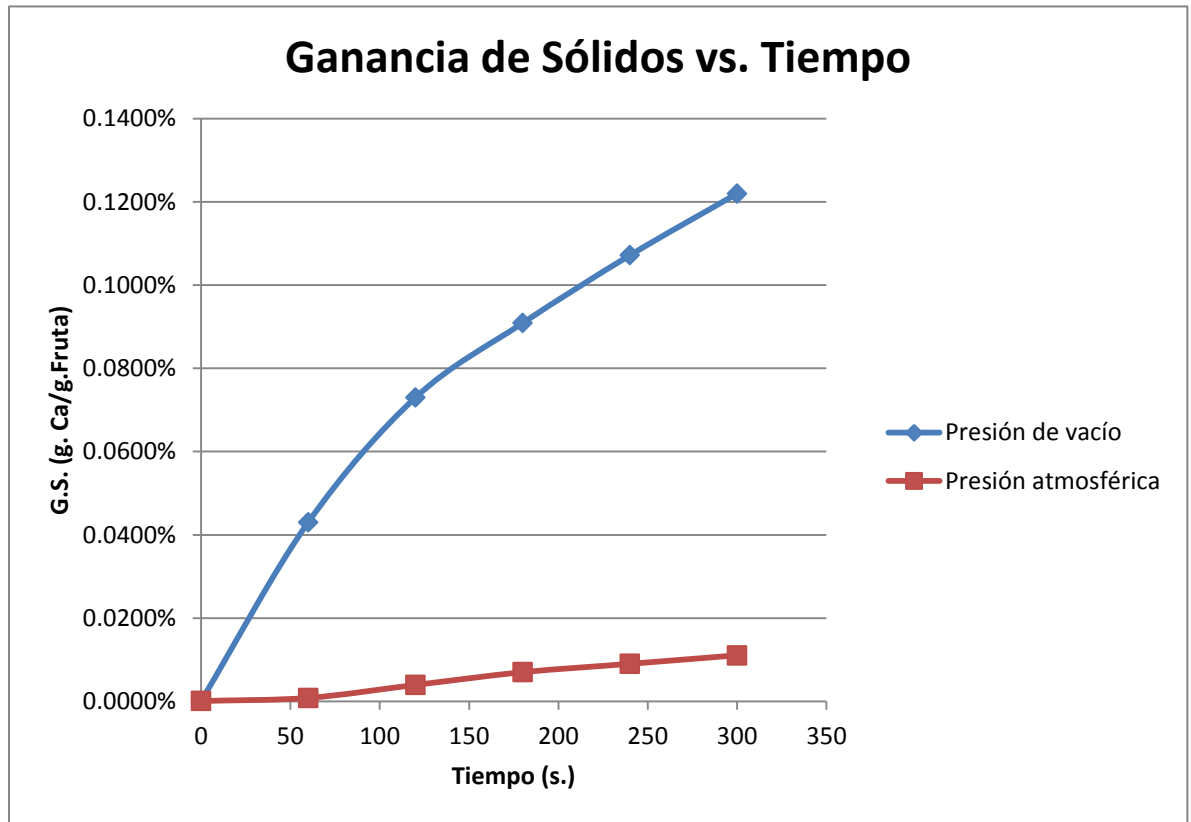


Gráfico 9. % Ganancia de sólidos (gr. Ca/ gr.fruta) en el tiempo de impregnación.

La ganancia de sólidos se determinó cuantificando el calcio impregnado en papaya en cada minuto del proceso; demostrándose así que se obtiene hasta tres veces mayor cantidad del calcio impregnado en papaya utilizando presiones de vacío ($P=-200\text{mmHg.}$).

Grijalva & Cornejo (2009) reportan que trabajando a una presión de $P=-150\text{mmHg.}$ Impregnando calcio en pimiento, se logra obtener mayor porcentaje de ganancia de peso que a presión atmosférica.

4.8. Evaluación Físicoquímica de papaya impregnada con calcio en almacenamiento

Durante los días de evaluación de papaya control y papaya impregnada con calcio (papaya con tratamiento), se pudo evidenciar que existieron diferencias tanto para el % pérdida de peso, % humedad, % sólidos solubles (°Brix), % acidez titulable, pH, color y firmeza (N); evidenciando que la papaya con tratamiento presentó mejores características de conservación a las condiciones de almacenamiento aplicado.

Los análisis se realizaron por 15 días, obteniendo 7 puntos en el tiempo.

La temperatura de refrigeración utilizada fue de 10°C. Según Adel (2001) recomienda almacenar:

- 13°C (55°F) para papayas verdes (maduras) a ¼ amarillas.
- 10°C (55°F) para papayas parcialmente maduras (¼ a ½ amarillas).
- 7°C (50°F) para papayas verdes (>½ amarillas)

4.8.1. %Pérdida de peso de papaya en almacenamiento.-

Durante el almacenamiento, la papaya control y papaya impregnada con calcio, mostraron una pérdida de peso durante todo el periodo de evaluación, como se muestra en el Cuadro 29.

Cuadro 29. % Pérdida de peso de papaya en almacenamiento refrigerado.

Día	% Pérdida de peso de papaya control	% Pérdida de peso de papaya impregnada con calcio
1	0,00	0,00
3	0,74	0,24
5	2,90	2,40
7	5,52	3,72
9	7,91	4,97
12	11,27	6,92
15	17,85	10,80

El % de pérdida de peso para ambos casos se graficó en el tiempo, evidenciando diferencias entre la variación en papaya control y papaya con tratamiento. **Barrera et al. (2012)** menciona que la pérdida de peso se debe a la eliminación de agua causada por los procesos de transpiración y respiración. (**Barrera et al., 2012**). En el gráfico 10., se muestra el porcentaje de pérdida de peso para la papaya control y para la papaya impregnada con calcio, mostrando que al tercer día de evaluación hay una separación de las líneas, ya que la papaya con tratamiento comienza a perder menor porcentaje de agua.

Es por ello que la pérdida de peso asciende hasta 17.85% en el caso de papaya control y 10.8% en el caso de papaya con tratamiento; observándose una menor disminución en esta última debido a que el calcio mejora la retención del agua en alimentos **(Grijalva & Cornejo, 2009)**.

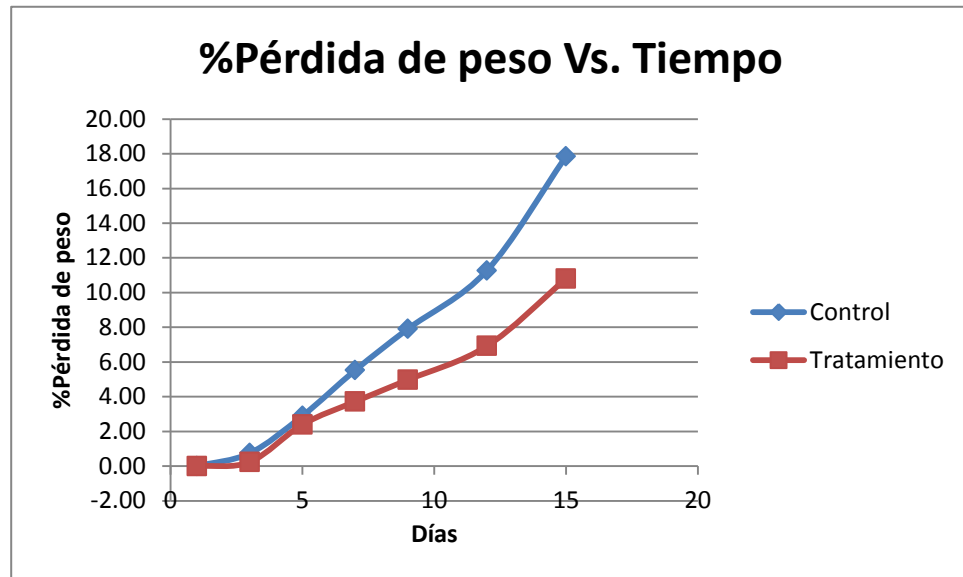


Gráfico 10. % Pérdida de peso vs. Tiempo.

Baldwin et al. (1995) menciona que los alimentos mínimamente procesados tienen una vida útil reducida cuando se comparan con las frutas y vegetales sin ningún tipo de tratamiento, en parte debido a los cambios fisiológicos que tienen lugar inducidos por las heridas producidas en los tejidos **(Baldwin et al., 1995)**.

Izumi et al. (1996) menciona que el corte de los tejidos vegetales provoca también la des-compartimentación celular, que permite la entrada en contacto de enzimas de localización citoplasmática con substratos de localización vacuolar. Igualmente se produce una fuerte pérdida de jugos celulares, incrementándose la actividad de agua y el área de superficie por unidad de volumen.

Todo esto puede acelerar la pérdida de agua y, además, el exudado constituye un medio muy favorable para el desarrollo de microorganismos **(Izumi et al., 1996)**.

Los daños al tejido por las simples operaciones de corte o pelado, estimulan la actividad respiratoria y la producción de etileno, lo que induce la biosíntesis de enzimas asociadas a un incremento en la velocidad de los procesos metabólicos y de otras reacciones bioquímicas responsables del cambio de color, aroma, textura y valor nutritivo que conducen a la senescencia de los tejidos vivos **(Cantwell, 2002)**.

La principal causa de deterioro de un producto es debida a la pérdida de agua. La mayoría de los productos frescos presentan contenidos de agua superiores al 85% y esta se pierde principalmente en estado de vapor y no en estado líquido, a través de rutas primarias, tales como heridas, estomas y cutículas, fenómeno conocido como la transpiración **(Wills et al., 1989)**.

4.8.2. Variación del % Humedad de papaya en almacenamiento.-

A medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, el porcentaje de humedad en ambos casos disminuye, sin embargo, en la papaya impregnada con calcio la disminución es menor, aun habiendo iniciado con una humedad mayor con respecto a la papaya control.

Cuadro 30. Variación del % Humedad de papaya en almacenamiento refrigerado.

Día	pH de papaya control	pH de Papaya impregnada con calcio
1	91.82%	91.92%
3	91.78%	93.10%
5	90.18%	92.50%
7	89.80%	92.42%
9	89.75%	91.78%
12	89.92%	91.84%
15	90.19%	92.70%

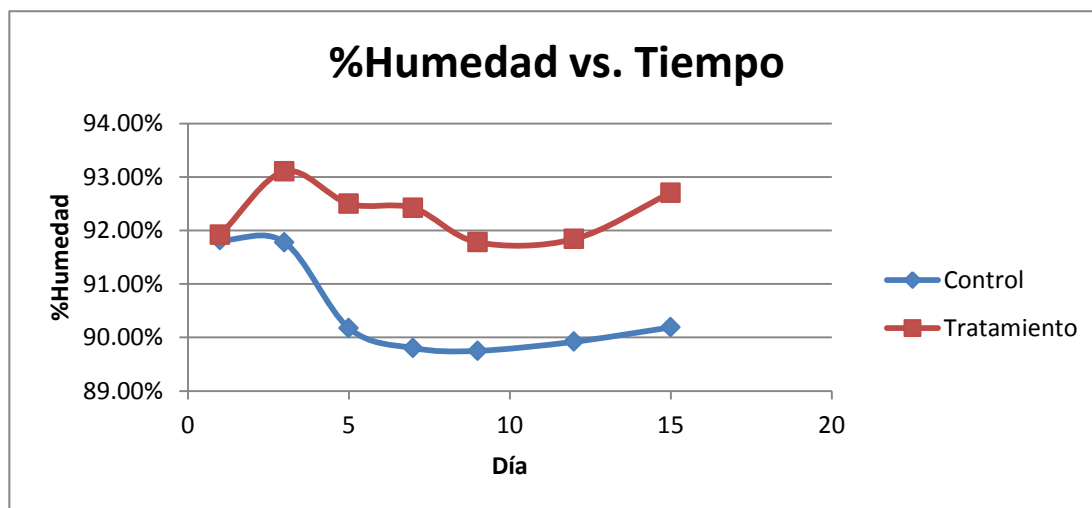


Gráfico 11. %Humedad vs. Tiempo.

La papaya, al igual que todas las frutas, más aun siendo climatérica, dentro de su etapa de maduración sufre procesos de transpiración, lo que hace que el porcentaje de humedad disminuya en el tiempo rápidamente. El % de humedad presenta una disminución a través del tiempo de almacenamiento para la muestra control y con tratamiento. La muestra control presentó un proceso de deshidratación más acelerado. **Brecht (1995)** menciona que los productos procesados en fresco son mucho más vulnerables a la pérdida de agua ya que no poseen ninguna barrera para protegerse frente a la deshidratación. La corteza o piel en muchos casos cerosa, ha sido eliminada y, evidentemente, convierte al producto procesado en altamente perecedero **(Brecht, 1995)**; sin embargo, las operaciones de cortado, picado o rayado, hacen que se incremente el área superficial de contacto al exterior y se exponen directamente los tejidos internos a la atmósfera, aumentando drásticamente la velocidad de evaporación del agua **(Garcia & Barrett, 2002)**.

El % de humedad en papaya impregnada con calcio fue mayor que la papaya control, y su disminución en el tiempo fue menor, ya que el cloruro de calcio mejora la retención del agua en los productos, lo cual hace que la expulsión del agua en el fruto sea menor **(Grijalva & Cornejo, 2009)**.

La frescura de un producto está relacionada con la turgencia y las pérdidas de agua pueden contribuir a aumentar el ablandamiento y disminuir la apariencia **(Day, 1996)**.

4.8.3. Variación de °Brix de papaya en almacenamiento.-

El contenido de sólidos solubles en la papaya control se incrementó gradualmente durante los siete primeros días de evaluación luego ocurrió un descenso hasta el día final de almacenamiento; sin embargo, en la papaya impregnada con calcio el incremento de sólidos solubles fue mínimo en los primeros siete días. Estos resultados se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro 31. Variación de °Brix de papaya en almacenamiento refrigerado.

Día	°Brix de papaya control	°Brix de papaya impregnada con calcio
1	7.1	7.0
3	8.5	7.3
5	9.3	7.4
7	10.4	7.4
9	10.3	7.1
12	9.8	7.1
15	9.3	6.9

Durante el proceso de maduración de papaya, hay producción de sacarosa, que da sabor dulce a la fruta, y degradación en glucosa y fructosa, para obtener energía (Asenjo et al., 2012).

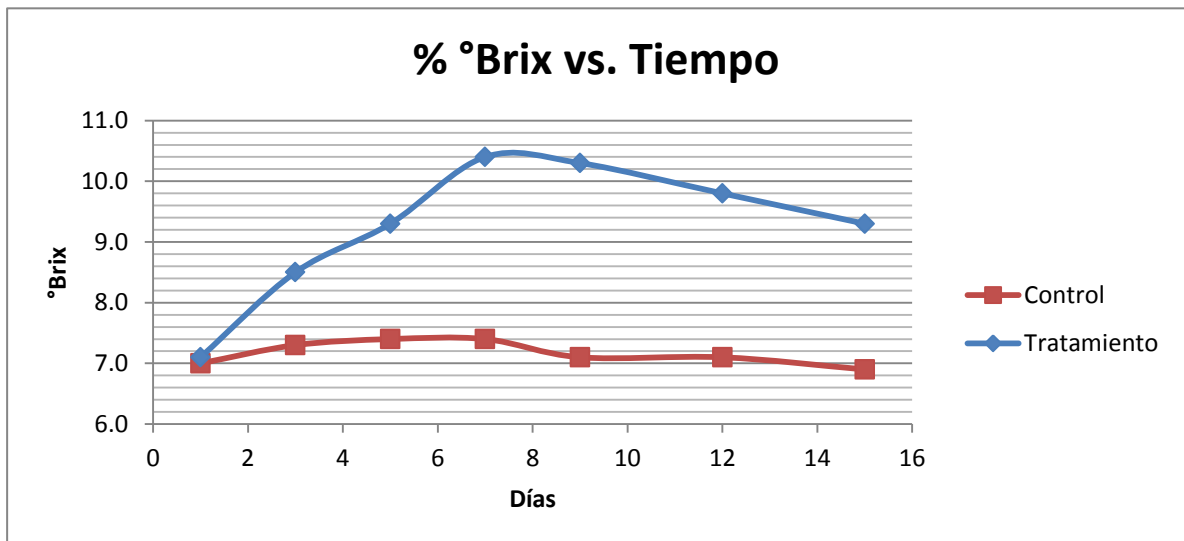


Gráfico 12. °Brix vs. Tiempo.

En el Gráfico 11, se observa un incremento de los sólidos solubles tanto para la muestra control (7.1°Brix hasta 10.4°Brix) como para la muestra con tratamiento (7.0°Brix hasta 7.4°Brix.) durante los siete primeros días de almacenamiento; pues, con la maduración el contenido de sólidos solubles totales (SST) tiende a aumentar (**Santamaría, et al., 2009**), esto debido a que la velocidad de formación de azúcares a partir de la dextrina presentes en la fruta fue mayor que la velocidad de degradación de los azúcares por efecto de la respiración (**Símpalo & Símpalo, 2006**). El incremento es menor en la muestra tratada con calcio, debido a que éste inhibe el normal desarrollo del proceso de maduración en la fruta (**Galvis & Hernández, 1994**).

Así mismo se puede observar un descenso a partir del día 7 hasta el día final del almacenamiento, tanto para la muestra control (10.4°Brix hasta 9.3°Brix) como para la muestra con tratamiento (7.4°Brix hasta 6.9°Brix.), lo cual se justifica por el consumo de sustratos en el metabolismo respiratorio de la fruta (**Fan, 1992**) y al aumento de la invertasa que hidroliza la sacarosa en glucosa y fructosa (**Asenjo et al., 2012**). Esto

coincide con **Rivera et al. (2005)**, quien observó una disminución en el contenido de sólidos solubles en papaya fresca cortada, almacenada a 20°C, 10°C y 5°C, siendo en estas dos últimas temperaturas donde se presentó menor pérdida. Esto lo atribuye al aumento de la actividad metabólica del fruto cortado, y al aumento de la velocidad de respiración; además, los azúcares son utilizados en los procesos de respiración y esta podría ser la causa principal en el comportamiento observado en el producto almacenado a las diferentes temperaturas. Así mismo, **García, Cury & Dussán (2014)** reportan un descenso de los sólidos solubles en guayaba almacenada en refrigeración durante los cuatro primeros días de almacenamiento, luego este parámetro se mantiene constante en los once días restantes.

En la muestra con tratamiento se observa un periodo invariable del contenido de sólidos solubles desde el día 9 al 12, debido al equilibrio entre los niveles de síntesis y degradación de sacarosa, lo cual hace que la cantidad de ésta se mantenga estable (**Asenjo et al., 2012**).

El incremento y descenso de sólidos solubles, coincide con los datos reportados por **Simpalo & Símpalo (2012)**, quienes concluyeron que el contenido de sólidos solubles en la papaya mínimamente procesada sumergida en una solución de cloruro de calcio al 1%, presentó una tendencia a incrementarse hasta el sexto día de almacenamiento en refrigeración y luego un descenso a lo largo de todo el periodo restante (12 días más). Este incremento varió desde $9.75 \pm 0.05^\circ \text{Brix}$ hasta $9,95 \pm 0.25^\circ \text{Brix}$. y el descenso desde $9,95 \pm 0.25^\circ \text{Brix}$. hasta $9.75 \pm 0.25^\circ \text{Brix}$.

4.8.4. Variación del pH de papaya en almacenamiento.-

Los cambios en el pH son un indicativo del grado de acidez de los frutos.

A medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, se observó una relación inversa entre estos dos parámetros.

Cuadro 32. *Variación del pH de papaya en almacenamiento refrigerado.*

Día	pH de papaya control	pH de Papaya impregnada con calcio
1	5.20	5.19
3	5.36	5.68
5	5.27	5.18
7	5.92	5.32
9	5.25	5.55
12	5.05	5.21
15	4.53	4.55

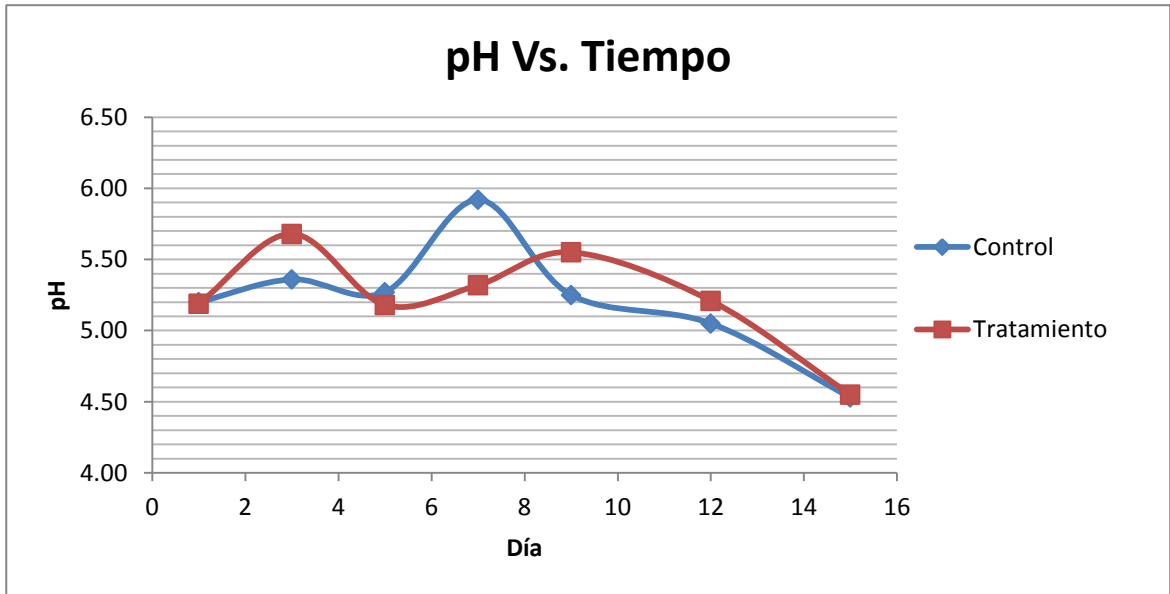


Gráfico 13. Gráfico 2. pH vs. Tiempo.

El proceso de maduración de una fruta, está asociado al incremento del pH. En la gráfica adjunta, observamos que hasta el séptimo día de almacenamiento hay un ligero incremento por parte de las dos muestras analizadas, control y tratamiento, siendo esta última donde se presentó el menor incremento, el cual puede ser atribuido a la menor degradación de los ácidos orgánicos del fruto durante su almacenamiento, utilizados como reservas de energía durante el metabolismo primario (**Leyva et al., 2011**).

Así mismo, a partir del día 9 de almacenamiento, observamos que el pH en ambos casos disminuye, esto se debe probablemente al aumento de los iones H⁺ por acción de los microorganismos en las frutas mínimamente procesadas, quienes encuentran oxígeno necesario para poder desarrollar y producir diferentes metabolitos como los ácidos orgánicos, haciendo que el pH disminuya **(Galvis et al.,1994)**, presentándose una menor disminución en la muestra con tratamiento.

Pinto et al. (2006). Explicaron que la razón del aumento de la acidez titulable simultáneamente con la disminución del pH puede ser debido a la mayor actividad metabólica en el pico climatérico característico de la papaya, lo que llevaría a la síntesis de ácidos orgánicos de la fruta y que mayores valores de pH se deben probablemente a la reducción de la actividad metabólica durante el climaterio.

4.8.5. Variación de la acidez de papaya en almacenamiento.-

A medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento el % de acidez en ambos casos disminuyó durante los primeros días, para luego aumentar considerablemente.

Cuadro 33. Variación de la acidez de papaya en almacenamiento refrigerado.

Día	Acidez de papaya control	Acidez de Papaya impregnada con calcio
1	0.099%	0.042%
3	0.095%	0.040%
5	0.092%	0.049%
7	0.097%	0.061%
9	0.075%	0.061%
12	0.125%	0.102%
15	0.214%	0.201%

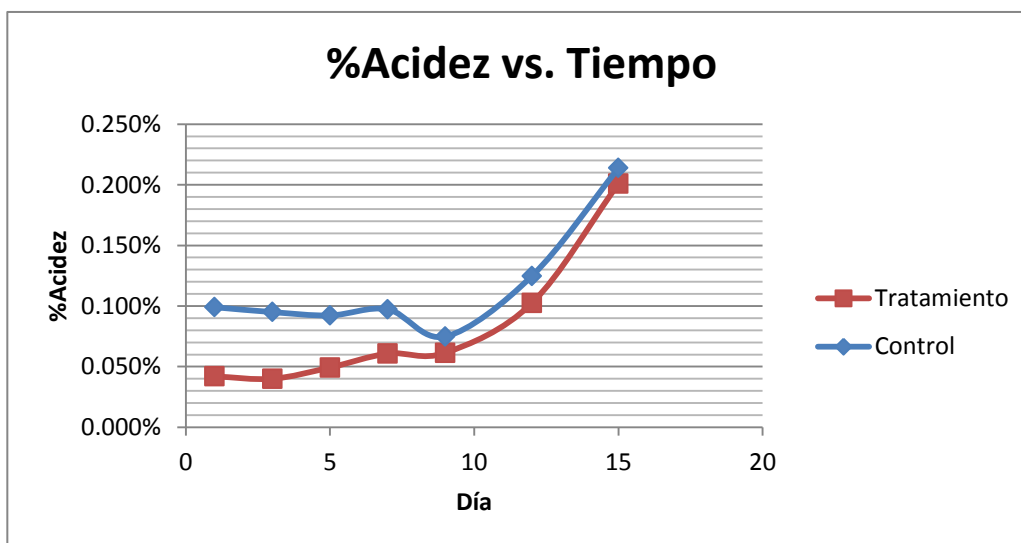


Gráfico 14. %Acidez de la papaya vs. Tiempo.

En el gráfico adjunto observamos que existe, en ambos casos, una leve disminución del %acidez titulable dentro de los tres primeros días de almacenamiento, debido a la reducción de la actividad metabólica durante el climaterio (**Pinto et al., 2006**). **Draetta et al. (1975)**, mencionan que el proceso de maduración de la papaya se debe al consumo de ácidos orgánicos, ya que la fruta no tiene reservas de almidón, además estos cambios pueden estar asociados con la evolución de la maduración del fruto y con los cambios fisiológicos al ser un producto climatérico.

En el primer día, el % de acidez titulable mostrado por la fruta con tratamiento fue menor que la muestra control. Estos resultados coinciden con **Leyva et al. (2011)**, quienes reportaron menor % acidez titulable en papaya (Var. Maradol) inmersas en cloruro de calcio al 1% (0.0891%) y 3% (0.0740%) comparadas con un testigo absoluto (0.1164). Esto se puede atribuir al transporte del ácido cítrico presente en la fruta hacia el exterior, debido a que la solución utilizada en la impregnación, solo fue isotónica con respecto a los sólidos solubles de la papaya, y al ser ésta sometida a presión de vacío, genera una disminución en su composición.

Por otro lado, se puede observar que a partir del día 4 de almacenamiento hay un incremento del % acidez titulable. Este aumento de la acidez se explica por la formación de ácido galacturónico en el proceso de degradación de la pared celular durante la maduración de la papaya (**da Costa & Balbino, 2002**).

Durante la maduración de los frutos la solubilización de los ácidos orgánicos puede influir en el aumento de la acidez de la

pulpa y consecuentemente disminución del pH (**Almeida et al., 2011**). **Castricini (2009)**, menciona que en el climaterio ocurren reacciones relacionadas con la maduración y la senescencia es acelerada, por lo tanto la liberación de ácidos orgánicos de estas reacciones pueden aumentar la acidez.

Así mismo, como se dijo en párrafos anteriores, los microorganismos encuentran oxígeno necesario para poder desarrollar y producir diferentes metabolitos como los ácidos orgánicos, haciendo que la composición de ácidos aumente (**Galvis et al., 1994**), lo cual se observa claramente en los resultados obtenidos, siendo menor el aumento de la acidez en la muestra con tratamiento que la muestra control.

Henrique & Evangelista (2006), observaron que después de cinco días de almacenamiento a 5 °C, zanahorias mínimamente procesadas y cubiertas con película biodegradable, se produjo una disminución de la acidez en los primeros días y un aumento al final del almacenamiento.

4.8.6. Variación del color de papaya en almacenamiento.-

La luminosidad de la papaya control y papaya impregnada con calcio disminuyó en el tiempo de evaluación. El mismo comportamiento se observó para los parámetros a^* y b^* .

Cuadro 34. Variación de luminosidad y parámetros a^* y b^* de papaya en almacenamiento refrigerado

Día	Papaya control			Papaya impregnada con calcio		
	L	a	b	L	a	b
1	65.97	7.49	54.63	63.89	6.54	52.24
3	53.82	6.08	43.94	63.78	3.37	45.18
5	53.51	4.04	38.49	57.86	4.23	40.25
7	50.61	4.07	32.66	56.16	5.81	45.01
9	49.20	4.00	31.20	55.32	4.32	43.23
12	49.10	3.82	32.01	53.10	3.45	39.03
15	49.07	3.79	33.31	52.58	2.86	36.72

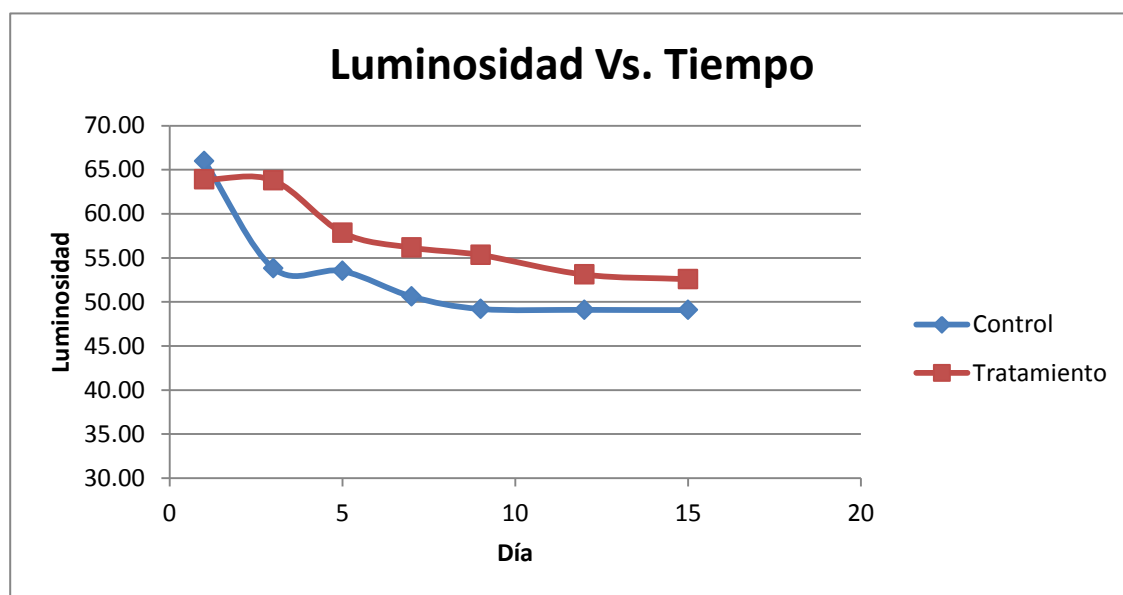


Gráfico 15. Luminosidad de papaya vs. Tiempo.

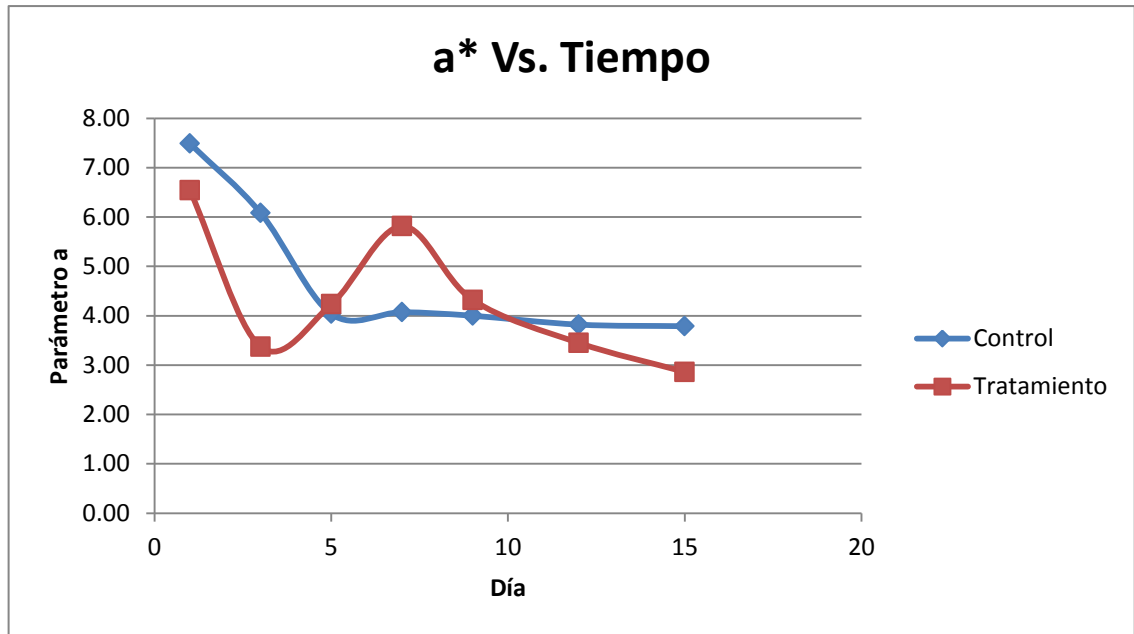


Gráfico 16. Parámetro a* en papaya vs. Tiempo.

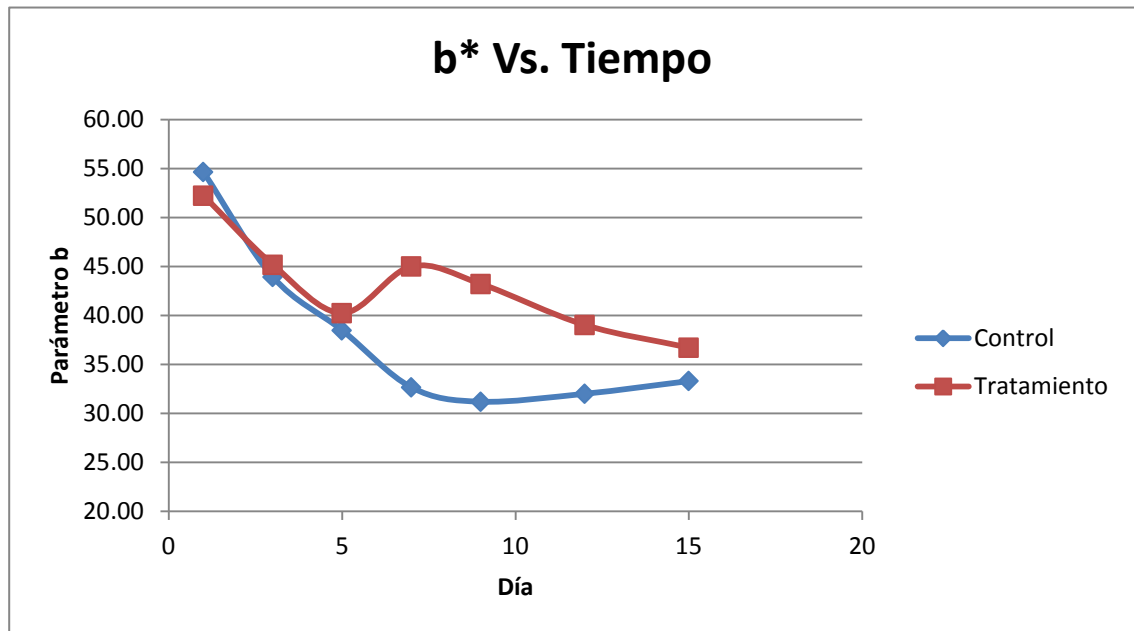
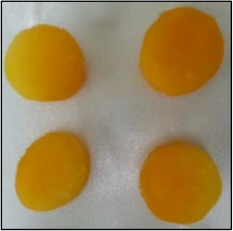



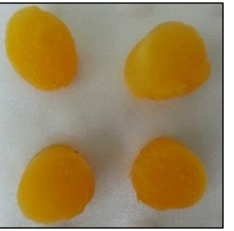
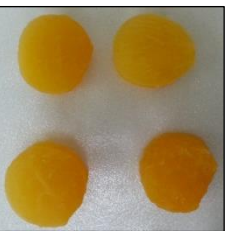
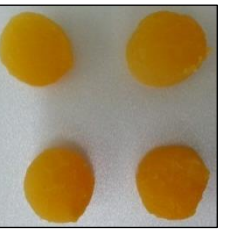

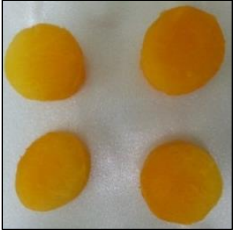

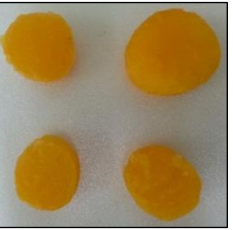
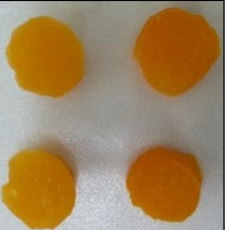




Gráfico 17. Parámetro b* en papaya vs. Tiempo.

Cuadro 35. Variación de color de papaya en almacenamiento refrigerado.

Papaya con tratamiento						
Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 9	Día 12	Día 15
						
Papaya Control						
Día 1	Día 3	Día 5	Día 7	Día 9	Día 12	Día 15
						

El color de frutas y legumbres se debe a los pigmentos localizados en los plastos, vacuolas y el líquido citoplasmático de las células, muchas veces limitado solo a las células epidérmicas. Los pigmentos más característicos pertenecen a tres grandes grupos: las clorofilas, verdes y liposolubles; los carotenoides, amarillos y naranja, también liposolubles (beta caroteno, precursor de la vitamina A, el licopeno de los tomates, las xantofilas del melocotón, etc) y las antocianinas son rojas o azules e hidrosolubles **(Cheftel & Cheftel, 1976)**. En papayas de pulpa amarillenta, los pigmentos más abundantes son el grupo de las criptoxantinas. La intensidad del color depende de la concentración del pigmento, la cual varía de una localidad a otra **(Arana & Quijano, 2012)**. Según **Ceballos (2005)** la composición de carotenoides responsables del color en papaya de color amarillo son: Beta-caroteno (4.8%), gamma-caroteno (24.8%), criptoxantina-monoepóxida (15.6%) y criptoxantina (39.9%) **(Ceballos, 2005)**.

En el primer día de análisis se observó diferencia entre los valores luminosidad, siendo menor la luminosidad en la papaya impregnada con calcio (63.89) que la papaya control (65.97), ya que el uso de presiones de vacío en impregnación, hacen que la luminosidad descienda **(Talens, 2002)**; así mismo, menciona que estos cambios se pueden atribuir principalmente al aumento de la translucidez de la muestra como resultado de la pérdida de gas interno, provocada por la aplicación de vacío y la penetración de la disolución, durante los tratamientos de impregnación **(Talens et al., 2003)**.

Datos similares fueron reportados por **Ostos et al. (2012)**, quien impregnó calcio usando presiones de vacío por 5 min, obteniendo variaciones en el color, tanto para mango fresco: L*

(67.48± 4.14), a^* (7.51±2.55) y b^* (54.22±3.93) y para mango impregnado: L^* (51.21±4.06), a^* (3.90±1.54) y b^* (40.86 ±3.96).; lo cual se traduce en que la aplicación de presiones de vacío genera disminución en la luminosidad del alimento, así como en sus parámetros a^* y b^* . (**Ostos et al. 2012**).

Durante el tiempo de evaluación, se observó la disminución de la luminosidad (L) para ambas muestras, siendo menor la disminución en papaya con tratamiento (desde 63.89 hasta 52.58) que la papaya control (desde 65.97 hasta 49.07); esto puede ser consecuencia de una reducción en la actividad enzimática por efecto del tratamiento a vacío, lo cual retarda las reacciones deteriorativas, pero que no es beneficiada por efecto del calcio (**Moreno et al., 2000**). Así mismo, debido a las operaciones de preparación de la muestra (pelado y corte), favorecieron la degradación oxidativa de los pigmentos con la consiguiente reacción de oscurecimiento del tejido (**Guerrero et al., 2005**); además, los carotenoides se oxidan fácilmente debido al gran número de dobles enlaces conjugados que contienen. Tales reacciones producen pérdida de color en los alimentos y son principalmente mecanismo de degradación (**Lobo, 1995**).

Por otro lado, los parámetros a^* y b^* de ambos tratamientos, tienden a disminuir en el almacenamiento. Para papaya control variaron a^* (desde 7.49 hasta 3.79); b^* (desde 54.63 hasta 33.31) y para la papaya con tratamiento a^* (desde 6.54 hasta 2.86); b^* (desde 52.24 hasta 36.72); siendo esto similar a lo encontrado por **Lopez et al. (2005)**, quien evaluó papaya en almacenamiento a 5°C y 10°C, observando que los valores de a^* y b^* disminuyeron en el transcurso de los 18 días de almacenamiento.

4.8.7. Variación de firmeza de papaya en almacenamiento.-

Se observaron comportamientos diferentes con respecto a la firmeza, tanto para la muestra control como para la muestra con tratamiento.

Cuadro 36. . Variación de la Firmeza de papaya en almacenamiento refrigerado

Días	Firmeza en papaya control (Kgf/cm2)	Firmeza en Papaya impregnada con calcio (Kgf/cm2)
1	15.40	23.08
3	13.75	18.61
5	10.53	16.58
7	9.34	19.30
9	9.20	22.08
12	8.74	18.61
15	3.40	7.03

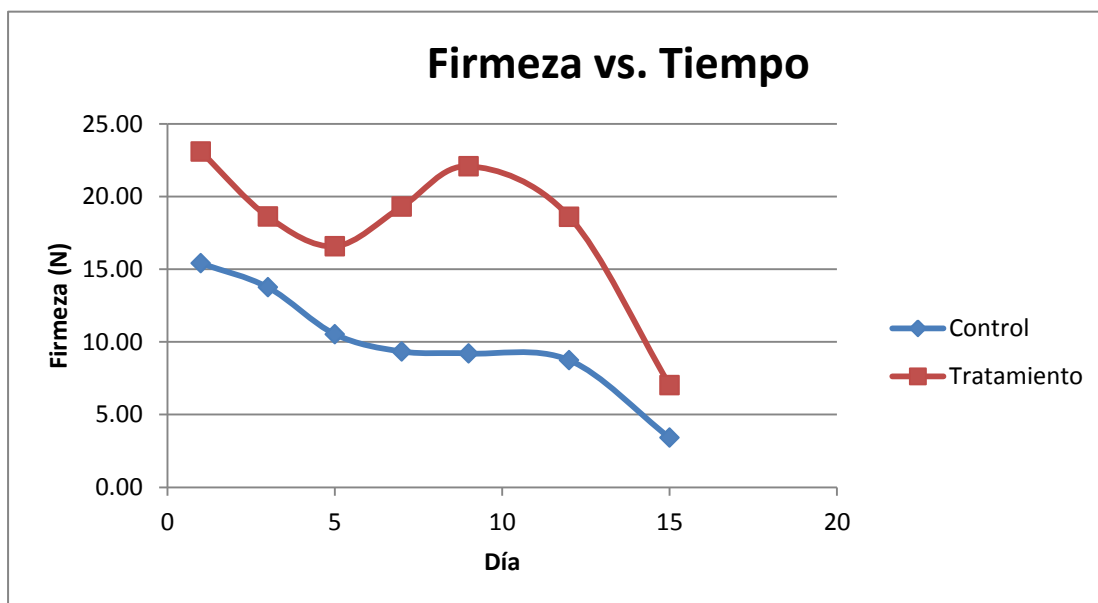


Gráfico 18. Firmeza vs. Tiempo.

Se puede observar que para el primer día de evaluación, la papaya impregnada con calcio (22,08N) presentó mayor firmeza que el control (15,40 N), debido a que en el proceso de impregnación, el calcio llega a las zonas más internas del tejido; esto ocasionado por la aplicación de presión de vacío. **Al Eryanj et al. (2008)** menciona que el efecto del calcio sobre la firmeza de los tejidos, puede ser explicado debido a los complejos que este ión forma con el ácido péctico en la pared celular generando pectato de calcio, un compuesto útil que ayuda a mantener la estructura de la fruta (**Al Eryani et al., 2008**).

El calcio y sus sales han sido empleados para prevenir o disminuir los procesos de ablandamiento en una gran variedad de frutas procesadas mínimamente. Esto sugiere que la acción reforzadora de la estructura inducida por el ión persiste durante el almacenamiento de las muestras (**Baker, 1993**).

En todo el tiempo de evaluación, se observa que la firmeza de la papaya control disminuye desde 15.40 N hasta 7.34 N. **Lia & Wells (1987)**, mencionan que el procesado de una fruta y hortaliza conlleva generalmente a una pérdida de firmeza debido a un aumento en la actividad pectinasa, celulasa, esterasa, polifenoloxidasas y peroxidasa, todas ellas inducidas por el etileno; así mismo, **Cano et al. (2003)** afirman que parte de las operaciones de pelado y troceado de los productos vegetales pueden provocar pérdidas muy significativas en la firmeza de los tejidos, ya que las enzimas pectinolíticas y proteolíticas que se difunden como consecuencia de la ruptura celular provocada en el troceado del producto, pueden difundirse en el interior del tejido y provocar el ablandamiento.

Por otro lado, se observa un comportamiento diferente en la papaya con tratamiento, en donde la pérdida de firmeza se da

hasta el día 5 desde 23.08 N hasta 16.58 N, luego hay un aumento de la firmeza hasta el día 9 (22.08 N) para luego disminuir hasta el último día de evaluación (15.43 N). Datos similares fueron reportados por **Layva et al. (2011)** quien evaluó papaya var. Maradol fresca cortada previamente inmersa en cloruro de calcio al 1% y 3%, concluyendo en ambos casos que la firmeza del fruto aumenta en los días almacenamiento (5°C durante 8 días) hasta en un 65%, siendo esto diferente con la papaya control donde sólo se observó la disminución de la firmeza de la fruta. **Cano et al. (2003)**. Atribuyen que el mantenimiento de la firmeza a que los iones de calcio interactúan con las cadenas de pectinas para formar puentes entre dichas cadenas poliméricas, lo que produce un aumento de la fuerza mecánica y da lugar a un retraso en la aparición del ablandamiento y a un control de los desórdenes fisiológicos que se producen con la llegada de senescencia del tejido (**Cano et al., 2003**).

Chantanawarangoon (2000) encontró que la firmeza de cubos de mango almacenados a 5°C y tratados con cloruro de calcio 1.0% fueron significativamente mayor a la de aquellos inmersos en cloruro de calcio 0.5%. Esto se traduce en que a mayor cantidad de cloruro de calcio utilizado en impregnación, mayor será la firmeza del fruto utilizado.

V. CONCLUSIONES

- La forma de cilindro y cubo tienen menor porosidad efectiva comparada con la forma moneda en papaya (*Carica papaya L.*); ya que ésta presenta mayor superficie de contacto con el medio de impregnación, haciendo que el soluto llegué más rápido al centro de la figura.
- La mayor cantidad de calcio en mg/100g fruta, se obtuvo bajo la presión de -200mmHg con un tiempo de expansión de 10min. y un tiempo de impregnación (compresión) de 5min, demostrando la efectividad del proceso de impregnación al vacío en estructuras porosas).
- Se logró impregnar de 319.7mg.Ca/200g.papaya, representando el 32% de la IDR (Ingesta Diaria Recomendada) para un adulto, reemplazando a productos lácteos que no son digeribles por muchos consumidores.
- El coeficiente de difusión obtenido experimentalmente, el cual fue de $8.87 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{seg.}$, representa la velocidad de transferencia de calcio que penetró la estructura porosa de la papaya desde la solución de impregnación.
- El análisis sensorial mostró que el tratamiento elegido fue aceptado por el público consumidor, presentando mejores características en firmeza y similares en 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.

VI. RECOMENDACIONES

- Determinar el efecto de la aplicación de presiones de vacío sobre el índice de respiración en papaya mínimamente procesada, evaluando en almacenamiento refrigerado.
- Evaluar el efecto de presión de vacío y tiempo, impregnando otro tipo de soluto en papaya o en otras frutas consumidas en la región.
- Determinar el efecto del almacenamiento, sobre las propiedades sensoriales y microbiológicas de rodajas de papaya impregnadas con calcio.
- Evaluar el efecto de otras variables como agitación y temperatura o concentración de cloruro de calcio, en el tratamiento de impregnación a vacío, tal que se logre un mejor resultado.

VII. BIBLIOGRAFIA

- **Adel K. (2001).** *Recomendaciones para mantener la calidad Post-Cosecha Departamento de Pomología.* Universidad de California, Estados Unidos.
- **Al Eryani, A., Mahmud, T., Syed, O., & Mohamed, Z. (2008).** Effects of calcium infiltration and chitosan coating on storage life and quality characteristics during storage of Papaya (*Carica papaya* L.). *International Journal of Agricultural Research*, 3(4), 296-306.
- **Alemán, M. (2011).** *Estudio de la obtención de mermeladas de papaya por deshidratación osmótica.* Recuperado de http://acceda.ulpgc.es/xmlui/bitstream/handle/10553/8269/0231633_00007_0003.pdf?sequence=1.
- **Alimentación sana. (2011).** *Los Alimentos más Saludables del Mundo.* Recuperado de <http://www.alimentacionsana.net/Papaya.html>.
- **Almeida, C., Reis, P., Santos, S., Vieira, O., & da Costa, O. (2011).** Estudio de la conservación de papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(1), 049-060.
- **Anzaldúa, A. (1994).** *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica.* España: Acribia S.A.
- **Arana, P., & Quijano, M. (2012).** *Extracción, Caracterización y Comparación de Látex Obtenido, en Secado por Aspersion, de tres Variedades de Papaya (Carica papaya L.).* Universidad politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador.
- **Aranceta, J. & Serra, L. (2003).** *Guía de Alimentos Funcionales.* España: Puleva Food.
- **ArgenBio. (2007).** *Alimentos fortificados y enriquecidos.* Recuperado de <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=91>.
- **Asenjo, V., Morales, L., Sainz, U., & Tapia, H. (2012).** *Producción de alcoholes volátiles durante maduración de los frutos.* Recuperado de

http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cvicente/seminarios/maduracion_frutos.pdf

- **Azuara, E., Beristain, C., & Gutiérrez, G. (2002).** Osmotic dehydration of apples by immersion in concentrated sucrose/maltodextrin solutions. *Journal of Food Processing Preservation*, 26(1), 295-306.
- **Baker, R. (1993).** Firmness of canes grapefruit sections improved with calcium lactate. *Journal of food science*, 58(1), 1107-1110.
- **Baldwin, E., Nisperos, M., Shaw, P., & Burns, J. (1995).** Effect of coatings and prolonged storage conditions on fresh orange flavor volatiles, degrees Brix, and ascorbic acid levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(5), 1321-1331.
- **Barat, J. (1998).** *Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica.* Universidad Politécnica de Valencia, España.
- **Barreiro, M. (1999).** *Papaya y maíz. Claridades agropecuarias.* Recuperado de <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/067/ca067.pdf#pages=27>
- **Barrera, E., Gil, M., García, C., Durango, D., & Gil, J. (2012).** Empleo de un recubrimiento formulado con propóleos para el manejo poscosecha de frutos de papaya (*Carica papaya* L. cv. Hawaiian) Fruits. *Universidad Nacional Agraria Medellín*, 65(1), 6497-6506
- **Benavides, J. (2011).** *Estudio de caso en bioseguridad: Papaya GM.* Instituto Nacional de Innovación Agraria, INIA La Molina. Recuperado de <http://www.lacbiosafety.org/wp-content/uploads/2011/12/Jorge-Benavides-Estudio-Caso-Bioseguridad-Papaya-GM.pdf>.
- **Brecht, J. (1995).** Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *Hortscience*, 30(1), 18-21.
- **Cano, P., Plaza, L., & De Ancos, B. (2003).** *Factores que intervienen en la pérdida de calidad y seguridad de los productos de la IV gama en: productos hortofrutícolas mínimamente procesados.* NCBI, Estados Unidos.

- **Cantwell, M. (2002).** *Postharvest handling system; minimally processed fruits and vegetables.* Recuperado de <http://vric.ucdavis.ed/selectnewtopic.minproc.htm>.
- **Casas, F., & Cáez, R. (2011).** Cambios morfométricos y de calidad por aplicación de tres fuentes de calcio bajo tratamiento térmico suave en melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química.* 10(3), 431-444.
- **Casim, S. (2011).** *Enriquecimiento de manzana con calcio: efecto en las propiedades físico-químicas y estructurales durante el secado en corriente de aire.* Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- **Castricini, A. (2009).** *Aplicação de revestimentos comestíveis para conservação de mamões (Carica papaya L.) 'Golden'.* Universidad Federal Rural do Rio de Janeiro, Brazil.
- **Catania, C. (2007).** *El análisis sensorial.* Instituto de Nutrición y Tecnología de alimentos INTA, Chile.
- **Cantwell, M. (2002).** *Postharvest handling system; minimally processed fruits and vegetables.* Recuperado de <http://vric.ucdavis.ed/selectnewtopic.minproc.htm>
- **Ceballos, G. (2005).** *Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica.* Universidad Politécnica de Valencia, España.
- **Chantanawarangoon, S. (2000).** *Quality maintenance of fresh-cut mango cubes.* University of California, USA.
- **Cheftel, J., & Cheftel, H. (1976).** *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos.* Paris: Technique et Documentation.
- **Da Costa, A., & Balbino, J. (2002).** *Características da fruta para exportação e normas de qualidade. In Mamão: póscolheita.* Embrapa Informação Tecnológica, Brazil.
- **Day, B. (1996).** High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce-Postharvest- News and information. *Elsevier*, 7(3), 31-34.
- **Díaz et al. (2006).** *Espectrometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas.* Universidad de Córdoba, España.

- **Draetta, I., Shimokami, M., Yokomizo, Y., Fujita, J., Menezes, H. & Bleinorith, E. (1975).** Transformações bioquímicas do mamão (*Carica papaya* L.) durante a maturação. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de alimentos*, 6(2), 395-408.
- **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>
- **Eugene, D.O. (1990).** *Métodos ópticos de análisis.* Barcelona, España: Reverte
- **Evans, E. & Ballen, F. (2012).** Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial. *University of Florida IFAS Extensión*, 917 (1), 1-6.
- **Fan, X. (1992).** *Maturity and storage of "Fuji" apples.* Washington State University, USA
- **Ferreira, V. (1981).** *Principios y aplicaciones de la colorimetría en alimentos.* Instituto de Tecnología de Alimentos (ITAL), Brasil.
- **Fisher, C., Scott, R. (2000).** *Flavores de los Alimentos.* Mexico : Acribia.
- **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.
- **Frutas casas. (2012).** *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano, fruta fresca papaya (erlenm papaya).* Recuperado de <http://www.frutascasas.com/papaya-maradol/>
- **Galvis, V., & Hernández, G. (1994).** Influencia del cloruro de calcio en la conservación del mango (*Mangifera indica* L.) variedad tommy atkins. *Agronomía colombiana*, 11(1), 68-72.
- **Garcia, E. & Barrett, D. (2002).** *Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables.* University of California, Estados Unidos
- **García, M., & Praderas, D. (2010).** Influencia del cloruro de calcio y de un tipo de empaque sobre las propiedades fisicoquímicas y la textura de la

fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) durante el almacenamiento. Revista Facultad Nacional de Agronomía, *Medellín*, 63(1), 5417-5427.

- **García, M., Cury, R., & Dussán, S. (2011).** *Comportamiento poscosecha y evaluación de calidad de fruta fresca de guayaba en diferentes condiciones de almacenamiento.* Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- **Giraldo, G. (2010).** El efecto del tratamiento de impregnación a vacío en la respiración de frutas (manzana, fresa, melocotón y sandía) mínimamente procesadas. *Vitae*, 13(2), 21-25.
- **Gómez, R. (2013).** Evaluación sensorial de láminas de mango (*Mangifera indica* L. cv. Leitt) fortificadas con cloruro de calcio mediante deshidratación osmótica con pulsos de vacío. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4(2), 157-169.
- **Grijalva, O., & Cornejo, F. (2009).** *Análisis del efecto de la impregnación de cloruro de calcio en deshidratación osmótica por vacío en rebanadas de pimientos para conservas.* Escuela superior Politécnica del Litoral ESPOL, Guayaquil, Ecuador.
- **Guerrero, J., Swanson, B. & Barbosa, G. (2005).** Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. *LWT. Food Science and Technology*, 38(6), 625-630.
- **Guillermo, A. (2002).** *Desarrollo de un alimento funcional a partir de hierro hémico y evaluación de su biodisponibilidad, para la prevención y corrección de la deficiencia de hierro.* Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- **Henrique, C., & Evangelista, R. (2006).** Processamento mínimo de cenouras orgânicas com uso de películas biodegradáveis. *Ciências Agrárias e Engenharia*, 12(3), 7-14.
- **Ida, N. (2010).** *Estudio sobre tendencias de consumo de alimentos.* Minsa. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/2603.pdf>.
- **Infoagro, (2014).** *El cultivo de la papaya.* Recuperado de http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/papaya.htm

- **Instituto Nacional de Salud NIH – Centro Nacional de información sobre osteoporosis y las enfermedades óseas (2012).** *El calcio y la vitamina D: Importantes a toda edad.* Recuperado de http://www.niams.nih.gov/health_info/bone/espanol/Salud_hueso/salud_de_los_huesos.pdf
- **Izumi, H., Watada, A., & Douglas, W. (1996).** Controlled atmospheres storage of carrot slice, sticks y shreds. *Postharvest Biology Technology*, 9(1), 165-172.
- **Jiménez, D. (2002).** *Manual práctico para el cultivo de la papaya hawaiana.* Costa Rica: EARTH.
- **León, J. (2015).** *Perú produciría 480 mil toneladas de papaya este año.* *Agraria.pe.* Recuperado de <http://agraria.pe/noticias/peru-produciria-480-mil-toneladas-de-papaya-este-ano-8048>
- **Leyva, L., Heredia, J., Contreras A., Muy, R., Campos, S., González, L. (2011).** Sales de calcio mejoran vida en anaquel y aceptabilidad general de papaya (*Carica papaya L. var. Maradol*) fresca cortada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(1), 001-015.
- **Lia, C. & Wells, J. (1987).** Diversity of Pectoly. Fluorescent pseudomonas causing soft rot of French vegetables at produce markets. *Phytopatology*, 77(1), 633-677.
- **Lobo, M. (1995).** *Caracterización bioquímica de frutos de papaya (corma papaya, cv. Sunáse), hembra y hermafrodita, en relación con su aptitud al procesado por congelación.* Universidad Complutense, Madrid.
- **Londoño, D. (2013).** *Validación del método de determinación de calcio y magnesio por espectroscopia de absorción atómica de llama para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad tecnológica de Pereira.* Universidad tecnológica de Pereira, Colombia.
- **Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., Serra, J. (2000).** Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33(7), 609-616.

- **Mújica, P., Valdez, F., López, M., Palou, E., & Welte, C. (2003).** Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. *Journal of Food Engineering*, 56(1), 307-314.
- **Occidental Chemical OXY. (2014).** *Manual de cloruro de calcio*. Recuperado de http://www.oxychile.cl/opensite_20075.aspx?glb__url_nodo=opensite_det_20080124164651%2Easpx.
- **Ochoa, C., & Ayala, A. (2005).** Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(005), 330-342.
- **Ostos, S., Díaz, A., & Suarez, H. (2012).** Evaluación de diferentes condiciones e proceso en la fortificación de mango (Tommy atkins) con calcio mediante impregnación a vacío. *Revista chilena de nutrición*, 39(2), 181-190.
- **Parjoko, K., Rahman, M, Buckle, K. & Perera, C. (1996).** Osmotic Dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology*, 29(1), 452-459.
- **Parzanese, M. (2012).** *Vegetales mínimamente procesados. Alimentos Argentinos*. Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/55/productos/R55_vegetales.pdf.
- **Pérez, M., Rojas, C., & Del Rio, M. (2002).** Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropyl methylcellulose – lipid composited coating used to protect postharvest quality of mandarins cv. Fortune. *Journal of Food Science*, 67(8), 2903-2910.
- **Pérez, R. (2012).** *Materiales de Ingeniería*. Recuperado de <https://materialesdeingenieriacecar.wordpress.com/2012/02/20/ensayos-de-espectrofotometria-de-absorcion-atomica/>.
- **Pinto, L., Martins, M., de Resende, E., de Almeida, R., & Vitorazi, L. (2006).** Influência da atmosfera modificada por filmes plásticos sobre a

qualidade do mamão armazenado sob refrigeração. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(4), 744-748.

- **Resende, J., Coelho, A., De Castro, E., Saggin, O., & Benedito, C. (2004).** Modificações sensoriais em cenoura minimamente processada e armazenada sob refrigeração. *Horticultura Brasileira*, 22(1), 147-150.
- **Rivera, L., Vásquez, O., Ayala, Z., & González, A. (2005).** Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada (Carica papaya L. cv. "maradol"). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 6(2), 83-94.
- **Rocha, E. (2000).** *Principios Básicos De Espectroscopia*. México: UACH.
- **Rodrigues, A., Cunha, R., & Hubinger, M. (2003).** Rheological properties and color evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*, 59(1), 129-135.
- **Romero, G., Saucedo, V., Sánchez, G., Rodríguez, A., González, H., Rodríguez, M., Báez, S. (2006).** Aplicación foliar de Ca(NO₃)₂: Fisiología y calidad de frutos de mango Haden. *TERRA Latinoamericana*, 24(4), 521-527.
- **Rovirosa, A & Zapata, M. (2010).** *Fortificación de alimentos*. Recuperado de <http://files.cloudpier.net/cesni/biblioteca/Fortificacion-de-alimentos.pdf>.
- **Rueda, M. (1999).** *Manejo post-cosecha y comercialización de la papaya*. Centro Agroindustrial del SENA, Colombia.
- **Sanjinez, A., Branco, G., Takito, S. & Corbari, J. (2010).** Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kivi mínimamente procesados. *Ciencia e Tecnología de Alimentos (Brasil)*, 30(1), 205-209.
- **Santacruz, Y. (2004).** *Impregnación de Lactobacillus en productos de manzana*, Universidad de las Américas Puebla. Mayo, México.
- **Santamaría, B., Díaz, P., Sauri, Duch, E., Espadas, F., Santamaría, F., & Larqué, S. (2009).** Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo. *Agricultura Técnica en México*, 35(3), 347-353.

- **Sanzana, S. (2010).** *Viabilidad del desarrollo de alimentos funcionales frescos por incorporación de aloe vera a la matriz estructural de endibia (Cichorium intybus L. var. Foliosum), brócoli (Brassica oleracea var. Itálica), coliflor (Brassica oleracea var. Botrytis) y zanahoria (Daucus carota L.) mediante la técnica de impregnación a vacío*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- **Shi, J., & Le Maguer, M. (2002).** Osmotic dehydration of foods: mass transfer and modeling aspects. *Food Reviews International*, 18(4), 305-335.
- **Símpalo, W. & Símpalo, W. (2006).** *Efecto del cloruro de calcio en la vida útil de la papaya (Carica papaya L.) mínimamente procesada, almacenada en refrigeración bajo atmósfera modificada*. Universidad Nacional del Santa, Perú.
- **Skoog, Holler & Nieman. (1998).** *Principios De Análisis Instrumental*, Madrid: McGraw-Hill.
- **Talens, P. (2002).** *Tratamientos Osmóticos en la Crioprotección de Fresa y Kiwi. Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- **Talens, P., Escriche, I., Martínez, N., & Chiralt, A. (2003).** Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. *Food Research International*, 36(2), 635–642.
- **Teixeira, G., Durigan, J., Mattiuz, B., & Rossi, O. (2001).** *Ciencia y Tecnología de Alimentos “Procesamiento mínimo de la Papaya”*. Universidad nacional de campinas. Brasil.
- **Teles, M. (2006).** *Estudio del comportamiento postcosecha de la ciruela ‘reina Claudia verde’*. Universidad de Extremadura, Badajoz, España.
- **Torres, J. (2007).** *Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango (Mangifera indica L.)*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- **Torres, J. (2007).** *Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango (Mangifera indica L.)*. Universidad Politécnica de Valencia, España.

- **Treybal, R.E. (1998).** *Operaciones de transferencia de masa.* Estados Unidos de América: McGRAW-HILL.
- **United States Department of Agriculture. (2000).** *Hawaii papayas.* Recuperado de <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>.
- **Vásquez, 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.
- **Wills, R., McGlasson, W., Graham, D., Lee, T., & Hall, E. (1989).** *Postharvest an introduction to the Physiology and Handling of fruit and vegetables.* Nostrand Reinhold, Estados unidos.
- **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.
- **Zuluaga, J., Cortés, R., & Sandoval, E. (2010).** Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)*, 25(4),127-135.

ANEXOS

ANEXO 1

PESO INICIAL Y FINAL DE PIEZAS DE PAPAYA POR TRIPLICADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD EFECTIVA.

Cuadro A.1. Peso inicial y final de piezas de papaya por triplicado.

Presión	Cubo		Moneda		Cilindro	
	Mi (g.)	Mf (g.)	Mi (g.)	Mf (g.)	Mi (g.)	Mf (g.)
-100 mmHg	2.9011	3.0166	4.9011	4.9571	3.5533	3.6325
	2.9208	3.0563	4.9160	4.9723	3.5320	3.6280
	2.9274	3.0540	4.9188	4.9691	3.5403	3.6361
-200 mmHg	2.9915	3.1183	4.9055	4.9785	3.5464	3.6623
	2.9107	3.0545	4.8992	5.0144	3.5738	3.6987
	2.8950	3.0217	4.9149	5.0867	3.5952	3.7105
-300 mmHg	2.976	3.1093	4.8909	5.0428	3.5512	3.6893
	2.9674	3.1052	4.9183	5.0802	3.5452	3.6823
	2.9058	3.0823	4.9092	5.0909	3.5675	3.7051

ANEXO 2

PROMEDIO DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE LÍQUIDO (X) QUE HA PENETRADO EN LA ESTRUCTURA POROSA DE LA PAPAYA

Cuadro A.2. *Promedio de la fracción volumétrica de líquido (X) que ha penetrado en la estructura porosa de la papaya.*

P = -100 mmHg		
Cubo	Moneda	Cilindro
0.1130	0.0174	0.0493
0.1325	0.0175	0.0598
0.1238	0.0157	0.0596
0.1231	0.0169	0.0562
P = -200 mmHg		
Cubo	Moneda	Cilindro
0.1240	0.0227	0.0722
0.1406	0.0359	0.0778
0.1239	0.0535	0.0718
0.1295	0.0374	0.0739
P = -300 mmHg		
Cubo	Moneda	Cilindro
0.1304	0.0473	0.0860
0.1348	0.0504	0.0854
0.1726	0.0566	0.0857
0.1459	0.0514	0.0857

ANEXO 3

FORMATO DE EVALUACION DEL ANALISIS SENSORIAL

PRUEBA DE ANALISIS SENSORIAL PARA DETERMINAR LA ACEPTABILIDAD DE PAPAYA IMPREGNADA CON CALCIO AL VACÍO

Nombre:..... Edad:.....

Evalúe las diferentes muestras de papaya impregnada con calcio en sus atributos de olor, color, sabor y textura. Coloque el puntaje a cada atributo según su juicio.

Puntaje	Escala
1	Extremadamente desagradable
2	Muy desagradable
3	Desagradable
4	Me disgusta un poco
5	Ni me gusta ni me disgusta
6	Me gusta un poco
7	Agradable
8	Muy agradable
9	Extremadamente agradable

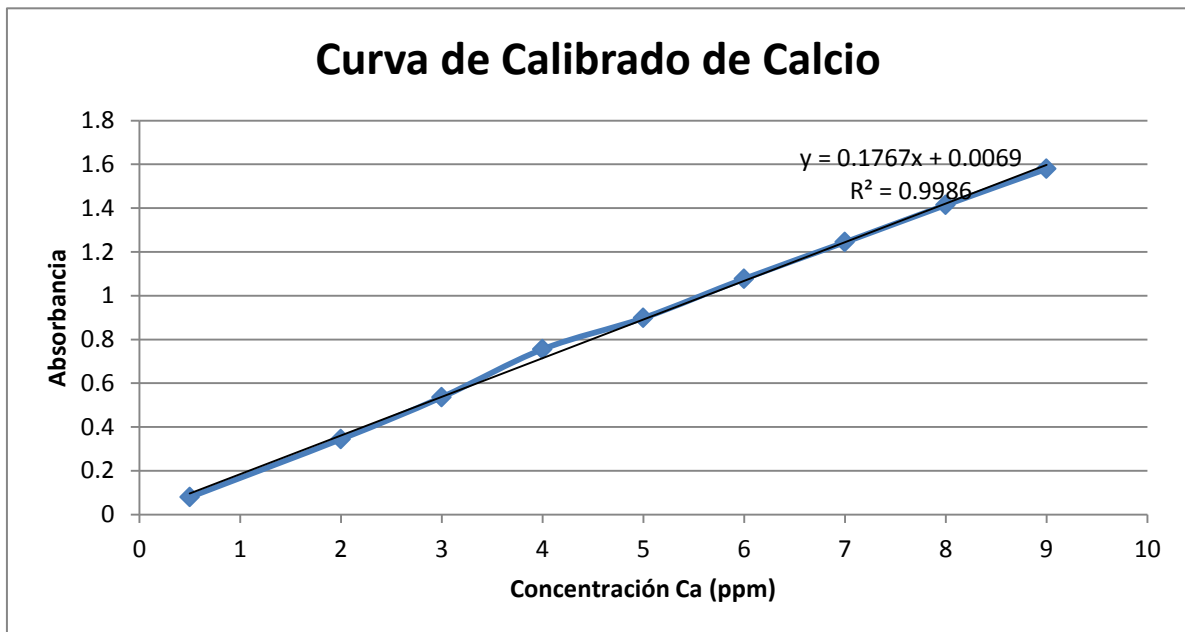
EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS

CÓDIGO DE MUESTRA	PUNTAJE PARA LOS SIGUIENTES ATRIBUTOS			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
T 1				
T 2				
T 3				
T 4				
T 5				
T 6				
T 7				
T 8				
T 9				
T 10				

ANEXO 4
CURVA DE CALIBRADO PARA CALCIO

Cuadro A.4. *Curva de calibrado para calcio.*

Concentración	Absorbancia
0.5	0.079
2	0.344
3	0.536
4	0.755
5	0.898
6	1.077
7	1.244
8	1.414
9	1.579



$$y = 0.1767x + 0.0069$$

$$r^2 = 0.9986$$

ANEXO 5

CANTIDAD DE CALCIO MG/100GR PAPAYA POR TRIPLICADO

Cuadro A.5.1. *Cantidad de calcio mg/100gr papaya por triplicado.*

REPETICIONES	P= -100mmHg			P= -200mmHg			P= -300mmHg		
	t=5min.	t=10min.	t=15min.	t=5min.	t=10min.	t=15min.	t=5min.	t=10min.	t=15min.
1	92.13	101.4	116.73	156.4	91.35	87.87	101.47	145.57	102.22
2	90.87	100.09	108.01	159.8	86.92	81.59	108.07	142.07	107.38
3	87.71	95.59	99.67	163.4	87.051	83.77	105.01	145.39	115.58
Promedio	90.24	99.03	108.14	159.87	88.44	84.41	104.85	144.34	108.39

ANEXO 6

PUNTAJE OBTENIDO DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL.

Cuadro A.6.1. Puntaje obtenido para la textura de papaya.

PANELISTA	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10
1	7	7	7	5	7	7	7	7	7	8
2	6	7	6	6	7	7	8	7	7	6
3	7	7	7	3	5	6	5	6	6	7
4	8	7	8	9	7	6	6	7	4	6
5	9	6	6	5	6	6	7	6	4	6
6	8	6	7	5	7	6	7	8	8	7
7	8	7	7	5	5	8	7	7	7	8
8	6	7	8	7	8	7	9	8	7	8
9	8	7	7	7	7	8	7	8	7	7
10	7	5	5	4	4	9	3	4	4	5
11	7	6	7	3	7	8	6	7	3	6
12	8	8	4	8	6	8	3	6	4	8
13	9	6	6	7	7	6	5	6	5	6
14	8	7	7	7	7	7	7	8	7	7
15	7	8	9	8	8	8	9	8	7	8
16	7	9	8	8	7	8	7	8	7	7
17	7	8	8	9	8	8	9	8	7	7
18	8	9	8	9	8	9	6	8	9	8
19	7	8	9	8	9	8	7	7	8	7
20	7	9	9	8	7	9	9	8	9	7

Cuadro A.6.2. Puntaje obtenido para el sabor de papaya.

PANELISTA	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10
1	6	7	8	7	8	5	8	8	6	5
2	7	5	5	7	6	6	6	6	6	7
3	6	6	4	8	6	8	8	6	4	8
4	6	7	7	3	7	3	7	7	3	7
5	7	6	5	3	3	5	4	5	4	4
6	7	7	8	8	6	8	5	9	4	7
7	7	5	5	7	5	8	9	7	6	9
8	6	8	7	6	5	7	7	7	8	8
9	4	6	7	5	6	7	8	7	8	7
10	7	6	5	5	6	6	7	5	4	6
11	7	7	3	3	2	4	4	7	6	6
12	6	5	6	5	6	6	6	7	6	5
13	7	6	6	7	8	8	8	7	7	8
14	5	6	6	3	7	7	8	6	6	7
15	7	6	7	7	6	8	6	5	5	7
16	6	8	8	8	5	8	7	8	6	7
17	7	6	7	6	5	7	4	6	7	5
18	6	7	6	8	5	8	7	8	6	6
19	8	7	8	5	6	7	8	7	7	7
20	8	7	7	6	7	7	7	6	6	6

Cuadro A.6.3. Puntaje obtenido para el color de papaya.

PANELISTA	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10
1	7	4	6	4	8	6	8	6	6	7
2	8	8	6	6	7	7	8	7	6	7
3	6	5	5	5	4	4	7	6	6	7
4	6	6	7	7	7	6	8	6	7	6
5	7	6	7	6	7	7	7	6	6	6
6	6	5	7	6	7	7	7	8	7	7
7	6	7	8	6	5	7	6	6	7	9
8	7	7	7	8	8	8	9	7	8	9
9	7	7	7	7	7	7	7	8	8	7
10	6	5	6	4	5	5	4	4	5	5
11	6	7	5	3	6	6	3	6	3	7
12	7	7	5	8	7	5	7	7	5	7
13	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8
14	7	7	8	7	8	7	7	8	7	7
15	7	6	6	7	8	6	7	8	7	5
16	6	5	5	4	7	8	5	6	6	9
17	6	5	8	6	9	6	4	4	5	6
18	8	7	9	7	4	7	7	9	8	7
19	8	5	7	9	6	8	7	8	7	8
20	7	8	9	8	7	5	5	9	7	7

Cuadro A.6.4. *Puntaje obtenido para el olor de papaya.*

PANELISTA	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10
1	6	7	6	7	8	7	7	8	7	7
2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
3	5	7	5	5	5	6	7	6	5	7
4	7	5	5	3	5	5	6	6	3	6
5	6	6	5	5	5	4	4	5	5	4
6	7	7	7	7	7	7	8	7	7	7
7	8	7	7	8	7	7	9	8	8	9
8	6	7	7	6	6	7	6	7	6	8
9	7	6	7	7	5	7	6	8	8	7
10	7	8	8	6	7	7	7	7	6	7
11	7	6	6	3	2	5	5	5	3	6
12	3	6	7	4	5	5	6	6	7	6
13	8	7	7	7	7	7	8	7	6	7
14	7	7	7	5	8	6	7	7	7	7
15	8	7	8	8	7	7	8	7	7	6
16	6	7	8	7	7	6	8	7	6	6
17	7	7	7	7	7	7	7	5	7	7
18	7	6	8	7	6	8	7	6	8	7
19	7	8	7	8	8	8	8	7	9	9
20	7	8	7	9	8	8	7	8	9	8

ANEXO 7

DATOS PARA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN

Cuadro 7.1. Masa, volumen, densidad y fracciones máxicas iniciales.

DATOS INICIALES			
Parámetro	Valor	Unid.	Especificación
M_0^0	0.0309	Kg.	Masa total al inicio
V_0	0.0000157	m^3	Volumen inicial
ρ_{os}	1020.25	$Kg./m^3$	Densidad de la disolución isotónica
l	0.02	m.	Longitud característica (semiespesor)
x_0^W	0.9	$\frac{Kg_{Componente}}{Kg_{Totales}}$	Fracción máxica del agua en el alimento al inicio
x_0^J	0.000412	$\frac{Kg_{Componente}}{Kg_{Totales}}$	Fracción máxica del calcio en el alimento al inicio
y_J	0.005394016	$\frac{Kg_{Componente}}{Kg_{Totales}}$	Fracción máxica del calcio en la disolución isotónica.
x_0^{SS}	0.06542	$\frac{Kg_{Componente}}{Kg_{Totales}}$	Fracción máxica de sólidos solubles en el alimento al inicio

Cuadro 7.2. Volumen, masa y fracciones para cada tiempo t .

TIEMPO (seg.)	Volumen (m^3)	Masa (Kg.)	γ	X	Z_t^j	Y_t^j	$Ln(Y_t^j)$	$\left(\frac{-\pi^2}{4l^2}\right)t$
0	0.000015708	0.03090	0.00000	0.00000	0.00043	-	-	0
60	0.000016120	0.03095	0.02623	0.00312	0.00044	0.99828	-0.001719	-370088
120	0.000016251	0.03111	0.03457	0.01310	0.00046	0.99277	-0.007257	-740177
180	0.000016532	0.03119	0.05246	0.01810	0.00048	0.98987	-0.010179	-1110265
240	0.000017010	0.03122	0.08289	0.01997	0.00048	0.98852	-0.011549	-1480353
300	0.000017328	0.03134	0.10316	0.02720	0.00051	0.98414	-0.015990	-1850442