

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Análisis del efecto de la Impregnación de cloruro de calcio con
deshidratación osmótica por vacío en rebanadas de pimiento para
conservas”

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención Del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentada por:

Omar Stalin Grijalva Gómez

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2009

AGRADECIMIENTO

A mi familia por todo su apoyo y comprensión y todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a la MSc. Fabiola Cornejo Directora de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A DIOS

MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

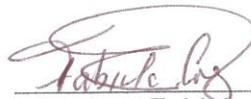
A MI HERMANO

A MIS MAESTROS

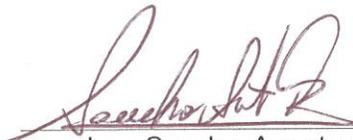
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DE TESIS



Ing. Sandra Acosta D.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



CIB - ESPOL

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Omar S. Grijalva Gómez", is written over a horizontal line.

Omar S. Grijalva Gómez.

RESUMEN

En este trabajo se ha realizado el estudio del efecto de la presión de vacío en la impregnación de cloruro de calcio en el pimiento. Todo esto con el objetivo de disminuir los daños provocados por su industrialización, específicamente brindarle mayor turgencia para que este sea más resistente a los tratamientos térmicos, obteniendo así un producto de mejor calidad.

La variedad de pimiento seleccionado para el estudio fue el pimiento verde *Capsicum Annuum* cultivado en el Ecuador, el cual fue sometido a los procesos de impregnación a presión atmosférica o tradicional y al proceso de impregnación a presión de vacío. En ambos procesos se analizó, la variación de peso, la pérdida de agua, la ganancia de sólidos y los cambios físicos producidos durante los experimentos.

Las impregnaciones se realizaron a temperatura ambiente de 27 ± 3 °C y la concentración de cloruro de calcio para la salmuera fue al 1%.

Los experimentos a presión de vacío se realizaron a la presión absoluta de 610 mmHg y se aplicó durante 15 minutos. Para los experimentos de impregnación tradicional se determinó un tiempo de proceso de 60 minutos.

En ambos procesos se analizó los efectos de la presión en la transferencia de masa y los efectos de la adición de una sal de calcio, específicamente cloruro de calcio, en la textura.

Se comparó los procesos entre sí y se determinó las ventajas que existen para cada tratamiento. Lo referente a la textura ambos procesos se compararon con una muestra en blanco sin procesar y se determinó de entre ellas cual presentaba mayor turgencia después de ser sometidos a al tratamiento térmico.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1 Materia Prima.....	3
1.1.1 Usos del pimiento en el mercado.....	6
1.2 Turgencia en vegetales.....	7
1.2.1 ¿Qué es la turgencia?.....	7
1.2.2 ¿Cómo se puede perder la turgencia?.....	7
1.2.3 Efecto del calcio en la turgencia.....	8
1.2.4 Efecto del calor en la turgencia.....	9
1.3 Impregnación al vacío.....	10

1.3.1 Mecanismo Hidrodinámico.....	10
1.3.2 Transferencia de Masa.....	14

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
2.1 Características de la Materia Prima.....	19
2.2 Tipos de sales de calcio.....	21
2.3 Estudio de la transferencia de masa en impregnación al vacío de cloruro de calcio.....	21
2.4 Proceso Térmico.....	27
2.5 Análisis físico – químico.....	30
2.5.1 Penetrómetro.....	30
2.5.2 Porosidad del Pimiento.....	31
2.6 Análisis sensoriales.....	34

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
3.1 Análisis de la transferencia de masa en la impregnación de Cloruro de calcio.....	36
3.2 Estudio del mecanismo hidrodinámico de Penetración.....	40
3.3 Determinación de los valores D y Z.....	41
3.4 Efecto de la presión en la porosidad del pimiento.....	46

3.5 Análisis Físico..... 48

3.6 Análisis Sensorial..... 52

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 54

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA

Abreviaturas

A	Área de la superficie
c	Concentraciones
cm	centímetros
D	Coefficiente de difusividad o difusión
DOV	Deshidratación osmótica por vacío
gr	gramos
HDM	Mecanismo Hidrodinámico
K	Coefficiente de transferencia de masa
kg	Kilogramos
m	Metros
mm	milímetros
mmHg	milímetros de mercurio
kmol	Kilomoles
s	Segundos
t	tiempo
x	Distancia

SIMBOLOGIA

A	área
A_w	actividad de agua
D	Tiempo de Reducción decimal
ε_e	Porosidad Efectiva
K	resistencia
N	Tasa de transferencia de masa o molar
ΔM	Porcentaje de variación de peso
ΔM_s	Ganancia de sólidos
ΔM_h	Variación de humedad
P₁	Presión Absoluta de trabajo
P₂	Presión atmosférica
t₀	Presión de Textura
Z	Termo resistencia

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 2.1 Diagrama de impregnación de cloruro de calcio por medio vacío en rebanadas de pimiento.....	24
FIGURA 2.2 Diagrama del estudio comparativo parte 1.....	29
FIGURA 2.3 Diagrama del estudio comparativo parte 2.....	29
FIGURA 3.1 Porcentaje de variación de peso para los proceso de impregnación al vacío y tradicional.....	37
FIGURA 3.2 Ganancia de sólidos VS tiempo en los procesos de impregnación al vacío y tradicional.....	39
FIGURA 3.3 Variación de humedad VS tiempo en los procesos de impregnación al vacío y tradicional.....	40
FIGURA 3.4 Presión de textura VS tiempo de tratamiento térmico para pimientos impregnados al vacío.....	42
FIGURA 3.5 Presión de textura VS tiempo de tratamiento térmico para para pimientos impregnados tradicionalmente.....	42
FIGURA 3.6 Presión de textura VS tiempo de tratamiento térmico para pimientos frescos sin procesar.....	43
FIGURA 3.7 Valores de pendientes de la presión de textura VS tiempo de proceso térmico para los distintos tratamientos.....	45
FIGURA 3.8 Gráfico de X VS $1-1/R$ para los experimentos realizados a a diferentes presiones en pimientos.....	47
FIGURA 3.9 Coeficientes de porosidad para el pimiento verde cultivado en el Ecuador a distintas presiones.....	48
FIGURA 3.10 Presiones de turgencia del pimiento para los diferentes experimentos a 70°C.....	49
FIGURA 3.11 Presiones de turgencia del pimiento para los diferentes experimentos a 80°C.....	50
FIGURA 3.12 Presiones de turgencia del pimiento para los diferentes experimentos a 90°C.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Valor nutricional del Pimiento.....	5
Tabla 2	Producción de pimiento en el Ecuador.....	6
Tabla 3	Características del pimiento utilizado en los experimentos.	20
Tabla 4	Codificación de muestras.....	35
Tabla 5	Valores D para el pimiento en los diferentes experimentos y a diferentes temperaturas.....	43
Tabla 6	Valores Z del pimiento en los diferentes experimentos....	44
Tabla 7	Valores D para el pimiento en los diferentes experimentos Tratados térmicamente después de una semana a diferentes temperaturas.....	44
Tabla 8	Valores Z del pimiento en los diferentes experimentos tratados térmicamente después de una semana.....	45

INTRODUCCION

En el Ecuador y en el mundo el pimiento es utilizado para la elaboración de muchos y muy variados productos alimenticios, incluyendo el mundo de la repostería. Desafortunadamente este producto como la mayoría de los vegetales es susceptible a los tratamientos térmicos, perdiendo en gran parte sus cualidades y características organolépticas.

En estos últimos años se han venido desarrollando técnicas de impregnación de sales en los alimentos para alargar su vida útil y mejorar sus características organolépticas. El proceso de impregnación no es otra cosa que la adición de un compuesto a la composición natural del alimento por medio de diferentes técnicas, en donde la más comúnmente utilizada es la impregnación a presión atmosférica, que consiste en la inmersión del alimento en una solución concentrada con el compuesto a impregnar.

Últimos estudios en frutas como el durazno han demostrado que la inclusión de un sistema de vacío en el proceso de impregnación ha maximizado los beneficios que generan la adición de dichos compuestos a los alimentos. El objetivo de esta tesis se enfocará en estudiar el efecto de la impregnación de una sal de calcio combinado con presiones de vacío en un vegetal como es

el pimiento verde y también se determinará sus ventajas para contar con un producto más apto para la industrialización.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Materia Prima

El pimiento es originario de América Tropical (probablemente la parte norte de Latinoamérica). En México se domesticó su cultivo y es donde se encuentra su centro de diversidad. Se cultiva en muchos de los climas tropicales y templados de todo el mundo (5).

De manera general se puede decir que el fruto del pimiento es una baya, de color verde y a medida que va madurando se vuelve amarillo, anaranjado o rojo, dulce o picante, brillante, carnoso y hueca en su interior, de formas variadas, generalmente cónicos y alargados. La pared del fruto puede ser gruesa, mediana o delgada. Se caracteriza por su pungencia o astringencia, debido a un alcaloide denominado capsaicina o capsicina ($C_{18}H_{27}O_3$). En algunos tipos es abundante y en otros escasa (5).

Existen dos grandes tipos de pimiento que son los dulces y los picantes. Los pimientos dulces pueden ser rojos, amarillos o verdes, de formas y tamaños diferentes. Dentro de este grupo se encuentran el pimiento morrón y el dulce italiano (5).

El principal componente del pimiento es el agua, seguido de los hidratos de carbono, lo que hace que sea una hortaliza con bajo aporte calórico. Es una buena fuente de fibra y, al igual que el resto de las verduras, su contenido proteico es muy bajo y apenas aporta grasas. En cuanto a su contenido en vitaminas, los pimientos son muy ricos en vitamina C, sobre todo los de color rojo. De hecho, llegan a contener más del doble de la que se encuentra en frutas como las naranjas o las fresas. Son buena fuente de carotenos, entre los que se encuentra la capsantina, pigmento con propiedades antioxidantes que aporta el característico color rojo a algunos pimientos. También es destacable su contenido de vitamina E y provitamina A (Beta caroteno y criptoxantina) que el organismo transforma en vitamina A conforme lo necesita. En menor cantidad están presentes otras vitaminas del grupo B como la B6, B3, B2 y B1. Su contenido en las citadas vitaminas C y E, junto con los carotenos, convierten al pimiento en una importante fuente de antioxidantes, sustancias que

cuidan de nuestra salud (16). La Tabla 1 muestra el valor nutricional del pimiento

TABLA 1
VALOR NUTRICIONAL DEL PIMIENTO

COMPUESTO	CANTIDAD	
	Picante	Dulce
Agua	87.74 g	92.19 g
Calorías	40	27
Carbohidratos	9.46 g	6.43 g
Grasas	0.20 g	0.19 g
Proteínas	2 g	0.89 g
Fibra	1.5 g	2.0 g
Cenizas	0.6 g	0.3 g
Calcio	18 mg	9 mg
Potasio	340 mg	177 mg
Fósforo	46 mg	19 mg
Hierro	1.2 mg	0.46 mg
Vitamina A	10750 U.I.	5700 U.I.
Tiamina	0.09 mg	0.066 mg
Riboflavina	0.09 mg	0.030 mg
Niacina	0.95 mg	0.509 mg
Ácido ascórbico	242.5	190 mg

Fuente: USDA http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl?pepper

Producción de Pimiento en el Ecuador

Los volúmenes de producción del pimiento en el Ecuador obtenidos en el ministerio de agricultura se muestran en la tabla

2.

1.1.1. Usos del Pimiento en el Mercado

Pimiento Dulce:

Fruto fresco: se consume como hortaliza cruda, cocida o asada, se utiliza para preparar ensaladas, salsas y guisos, también se utiliza como condimento.

Fruto Procesado: encurtidos, envasado al natural, deshidratados y salsas (7).

Pimiento Picante:

Fruto fresco: se consume como fruto fresco.

Fruto Procesado: encurtidos, envasado al natural, deshidratados y molidos, se le atribuyen propiedades medicinales (7).

TABLA 2

PRODUCCIÓN DE PIMIENTO EN EL ECUADOR

		AÑO			
	REGION	2003	2004	2005	2006
PRODUCCION (T.M)	SIERRA	718,7	615,4	550,7	501,7
	COSTA Y ORIENTE	967,4	847	139	139,2

Fuente: www.sica.gov.ec/agro/docs/sup_prod.htm

1.2. Turgencia en Vegetales

1.2.1. Turgencia

En biología, turgencia o presión de turgencia determina el estado de rigidez de una célula, un vaso conductor o un capilar, el cual resulta de la presión que ejerce el contenido de la célula contra la membrana o la pared celular (17).

Las plantas dependen de la presión de turgencia para la elongación de sus células y por lo tanto para su crecimiento (17).

1.2.2. ¿Cómo se puede perder la turgencia?

La textura de los alimentos está relacionada con propiedades físicas y químicas, percibidas por vía ocular antes del consumo, por el sentido del tacto al manejar el alimento, por distintos receptores sensoriales de la boca durante el consumo y por el sentido del oído. De este modo el consumidor se da cuenta de todo un conjunto de características texturales que se derivan de distintas propiedades fisicoquímicas del alimento tales como tamaño y forma generales, tamaño de partícula, contenido de grasa, estructura y propiedades mecánicas (10). Por lo tanto

una variación de estas propiedades afectaría directamente la turgencia de los alimentos.

Estudios han demostrado que el ión cloruro es un regulador de la presión osmótica y produce el balance de los cationes en la sabia celular de las células vegetales. Una de las funciones del ión cloruro es la de actuar como unión durante los flujos rápidos del ión potasio, contribuyendo así a mantener la turgencia. La pérdida de la turgencia celular es un síntoma de la deficiencia de ión cloruro (3).

1.2.3. Efecto del Calcio en la Turgencia

El calcio tiene la función de impedir daños a la membrana celular, evitando el escape de sustancias intracelulares, cumpliendo un papel estructural al mantener la integridad de la membrana (3). Cuando la enzima Pectinesterasa se activa intencionalmente provoca la formación de un mayor grupo de carboxilos libres, capaces de reaccionar con iones divalentes, como el calcio y el magnesio, presentes en el vegetal y se crean estructuras tridimensionales más rígidas que aumenta la firmeza del vegetal. Esta activación ocurre durante el escaldado a baja temperatura y largos tiempos. Una técnica común para

obtener vegetales con textura firme es la adición de sales de calcio, durante su procesamiento (4), especialmente cuando se aplica calor (1).

1.2.4. Efecto del calor en la Turgencia

La turgencia, característica responsable de la firmeza y succulencia de los vegetales, depende del agua que, retenida por ósmosis en las células, puede constituir hasta el 96% del peso del tejido. La ósmosis es el resultado de altas concentraciones de compuestos de bajo peso molecular en el líquido intracelular. Sin embargo, la retención de la misma está limitada por la resistencia mecánica de la pared celular. La permeabilidad de las membranas celulares y por consiguiente, la textura, se modifica durante el procesamiento de vegetales. Durante el procesamiento, cuando se aplica calor húmedo, se altera la textura de las frutas y verduras, principalmente por el efecto que este ejerce sobre la pared celular. Esta estructura organizada se rompe provocando cambios en la permeabilidad y aumenta la flexibilidad de los tejidos (4).

1.3. Impregnación al Vacío

La impregnación utilizando vacío es una técnica que consiste en el intercambio interno de gases ocluidos en la matriz de un producto por un líquido o solución escogida, en este proceso se aplica un sistema de vacío que promueve la impregnación de los capilares de los tejidos y cuando la presión atmosférica es restablecida los poros son extensamente inoculados con la solución externa y dependiendo del radio de compresión aplicado. Esto trae como consecuencia la disminución de la actividad de agua (A_w) del alimento, ya que si se utiliza una solución concentrada de soluto (solución osmótica), se obtiene un producto de humedad intermedia (11,15).

1.3.1. Mecanismo Hidrodinámico

Cuando se hace vacío durante todo el proceso de deshidratación osmótica (VOD) o pulsos de vacío (PVOD) ocurre el llamado mecanismo hidrodinámico de penetración (HDM) que consiste en que el gas presente en los poros se expande y sale gradualmente. Una vez restaurada la presión del sistema, el gradiente de presión actúa como fuerza impulsora provocando la compresión del gas remanente y permitiendo que la disolución exterior ocupe dicho espacio (14). En efecto, se aumenta el área de contacto interfacial, causando

un incremento en la transferencia de masa y por lo tanto una cinética más rápida (12). La entrada masiva de disolución osmótica provoca cambios en la composición y en el peso de la muestra, favoreciendo los procesos difusionales en la fase líquida a través de los poros donde se ha sustituido el gas por el líquido (2).

Modelo Matemático del Mecanismo Hidrodinámico

Este modelo se emplea en el proceso de deshidratación osmótica con aplicación de presiones de vacío. La cinética del proceso de deshidratación osmótica se modela en forma diferente a la del proceso de deshidratación osmótica con pulso de vacío. Con deshidratación osmótica se utiliza básicamente la ley de Fick, ya que el fenómeno está gobernado principalmente por el mecanismo pseudodifusional (PD) mientras que con deshidratación osmótica con pulso de vacío debe tenerse en cuenta, además, el mecanismo hidrodinámico (HDM) (13).

El modelo combina los mecanismos difusional e hidrodinámico, asumiendo que el hidrodinámico 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) como (13):

$$Y_t^W = \frac{Z_t^W - Y^W}{Z_0^W - Y^W} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde:

Y = Fuerza impulsora reducida

Z = Fracción másica del componente W en la fase líquida del alimento

W = agua

t = tiempo

El mecanismo hidrodinámico esta relacionado con la estructura de los tejidos ya que ésta es discontinua y porosa y posee espacios ocupados por gas. Por lo tanto, en procesos de deshidratación osmótica por pulsos de vacío 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 (13).

La porosidad efectiva (ε_e) de la muestra se calcula como (13):

$$\varepsilon_e = \frac{(X - \gamma)r + \gamma_1}{r - 1} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Donde:

X = fracción de volumen ocupada por la solución osmótica

r = razón de compresión

γ = nivel de deformación

con

$$r \approx \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{Ec. 1.3})$$

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

Asumiendo la deformación despreciable, la ecuación 1.3 queda

$$X = \varepsilon_e \left(1 - \frac{1}{r}\right) \quad (\text{Ec. 1.4})$$

representando gráficamente la ecuación 1.4 se determina ε_e en un rango de presiones definido y puede compararse con la porosidad real (ε_r),

$$\varepsilon_r = \frac{\rho_r - \rho_b}{\rho_r} \quad (\text{Ec. 1.5})$$

Donde:

P_r = densidad real del producto

P_b = densidad aparente del producto

El modelo del mecanismo hidrodinámico es un modelo semi empírico que tiene en cuenta el tamaño y la forma de la muestra. Aunque es fácil de utilizar, requiere de algunos parámetros y propiedades del producto que no siempre están disponibles en la literatura por lo que está limitado a los datos experimentales para los que se obtienen los parámetros (13).

1.3.2. Transferencia de Masa

Los procesos de transferencia de masa son en esencia procesos de velocidad en los que la tasa de transferencia de masa está fluida por una fuerza directora y una resistencia, de forma análoga a los procesos de transferencia térmica. La fuerza directora se debe principalmente a gradientes de concentración o de presión parcial del material que está siendo transferido, y la resistencia se debe al medio a través del cual el material se transfiere, así como cualquier tipo de interacción entre el medio y el material, así pues, la ecuación general es la siguiente (10):

$$\text{tasa de transferencia de masa} = \frac{\text{fuerza directora}}{\text{resistencia}} \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Esta ecuación será desarrollada para distintas situaciones de transferencia de masa. Cuando se considera la transferencia de vapores o gases, las fuerzas directoras se miden en términos de diferencia de presiones, pero cuando se trata con sólidos en disolución se miden en términos de diferencia de concentración. La ecuación es generalmente ampliada para tener en cuenta el área de la superficie (10):

$$\text{tasa de transferencia de masa} = KA\Delta c \quad (\text{Ec. 1.7})$$

En la mayoría de las operaciones de transferencia de masa el alimento está sometido a algún tipo de proceso de reducción de tamaño para hacer aumentar la relación superficie – volumen y la tasa global de transferencia de masa. La resistencia K tendrá en cuenta las propiedades del material que se va a transferir y también las de la matriz a través de la cual va a ser transferido y todo tipo de interacciones entre ellos (10).

Difusión

Difusión es la dispersión de un material en sus alrededores. Los dos tipos principales que pueden encontrarse son la difusión molecular y la difusión en remolino. La difusión molecular puede definirse como el transporte de materia a escala molecular a través de un flujo inmóvil, o bien, si el fluido posee flujo laminar en una dirección perpendicular al flujo principal. En contraste, la difusividad en remolino se refiere a los procesos de transferencia de masa que implican movimiento global del fluido (10).

Ley de Fick

Siempre que existe un gradiente de concentración para un componente determinado en una sola dirección, su difusión puede ser caracterizada por la primera ley de Fick, que dispone lo siguiente (10):

$$N = -D \frac{dc}{dx} \quad (\text{Ec. 1.8})$$

Donde:

N = tasa de transferencia de masa o molar (kg s^{-1} o kmol s^{-1})

c = concentración en masa o molar (kg m^{-3} o kmol m^{-3})

x = distancia (m)

D = coeficiente de difusión o difusividad.

En esta ecuación la difusividad es una medida de la resistencia a la transferencia de materia (10).

Difusión de Sólidos

La difusión en una matriz sólida es más compleja que la difusión en un líquido o un gas, debido a que, si bien el producto puede parecer que difunde en el interior de la matriz sólida, puede en realidad estar difundiendo a través del líquido contenido dentro de esa matriz o a través de la fase gaseosa en un sólido poroso (10). Por lo que existen dos tipos conocidos de difusión:

Difusión independiente de la estructura: el soluto se disuelve formando una solución sólida compleja, teniendo lugar en este caso la difusión a través de gradientes de concentración dentro de la solución (10).

Difusión dependiente de la estructura: esto hace referencia a la difusión en sólidos granulares o porosos que permiten el flujo de un líquido o gas a través del volumen excluido o los capilares de

los sólidos. Pueden estar involucrados distintos mecanismos, tales como difusión en el propio sólido, difusión en los poros llenos de gas, flujo capilar como resultado de gradientes de presión de la superficie, y flujo convectivo resultante de diferencias en la presión total (10).

CAPITULO 2

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Características de la Materia Prima

Por la marcada diferencia de formas y tamaños que existe entre pimientos de una misma variedad se procedió a determinar, para los experimentos, las características básicas necesarias para la materia prima, las cuales se detallan en la tabla 3.

Además de las características mencionadas en la tabla 3, los pimientos utilizados en los experimentos debieron cumplir con las siguientes normas:

- Sanos, libres de ataque de insectos y enfermedades.
- Limpios, exentos de suciedad y de malos olores.
- Frescos, enteros y de consistencia firme.

TABLA 3
CARACTERÍSTICAS DEL PIMIENTO UTILIZADO EN LOS
EXPERIMENTOS

Características	
Variedad	Capsicum Annuum
Origen	Ecuador
Color	Verde Oscuro
Humedad	90 – 95 %
Tamaño (cm)	10 ± 1

Elaborado por Omar Grijalva

Solución

La utilización de sales de calcio en soluciones osmóticas aumenta ligeramente la pérdida de agua en el alimento y disminuye la ganancia de soluto. Este efecto se atribuye a una asociación de calcio (que penetra en los alimentos) con pectinas de las paredes celulares, con lo que se fortalece la textura de la fruta y se crea un enlace tipo “unión cruzada”, lo cual aumenta la tortuosidad del vegetal (6).

En la elaboración de las soluciones osmóticas se utilizó cloruro de calcio diluido al 1% en agua potable a temperatura ambiente.

2.2. Tipos de sales de calcio

Las sales de calcio utilizadas fueron de solución acuosa en una dilución al 80 % de cloruro de calcio lista para su utilización y fueron adquiridas de los laboratorios REFARC. Se seleccionó esta presentación debido a que el cloruro de calcio es altamente hidrófilo, por lo que capta la humedad del ambiente hasta convertirse de una partícula sólida a un medio líquido, dificultando la determinación real su concentración si se utiliza la presentación sólida. Por otra parte se forma una solución que es resistente a la evaporación.

2.3. Estudio de la transferencia de masa en impregnación al vacío

En los procesos de impregnación el estudio de la transferencia de masa cobra una importancia relevante debido a que, como se había mencionado anteriormente, la variación de la composición del alimento influirá directamente en las propiedades físico – químicas del mismo, lo cual determinará el resultado final de un producto procesado.

Descripción del proceso de impregnación Tradicional

El pimiento se lavó y corto en rebanadas de 10 ± 0.5 cm de largo, 0.5 ± 0.1 cm de ancho y 0.5 ± 0.1 cm de espesor. Luego se procedió a preparar la solución osmótica con una concentración de cloruro de

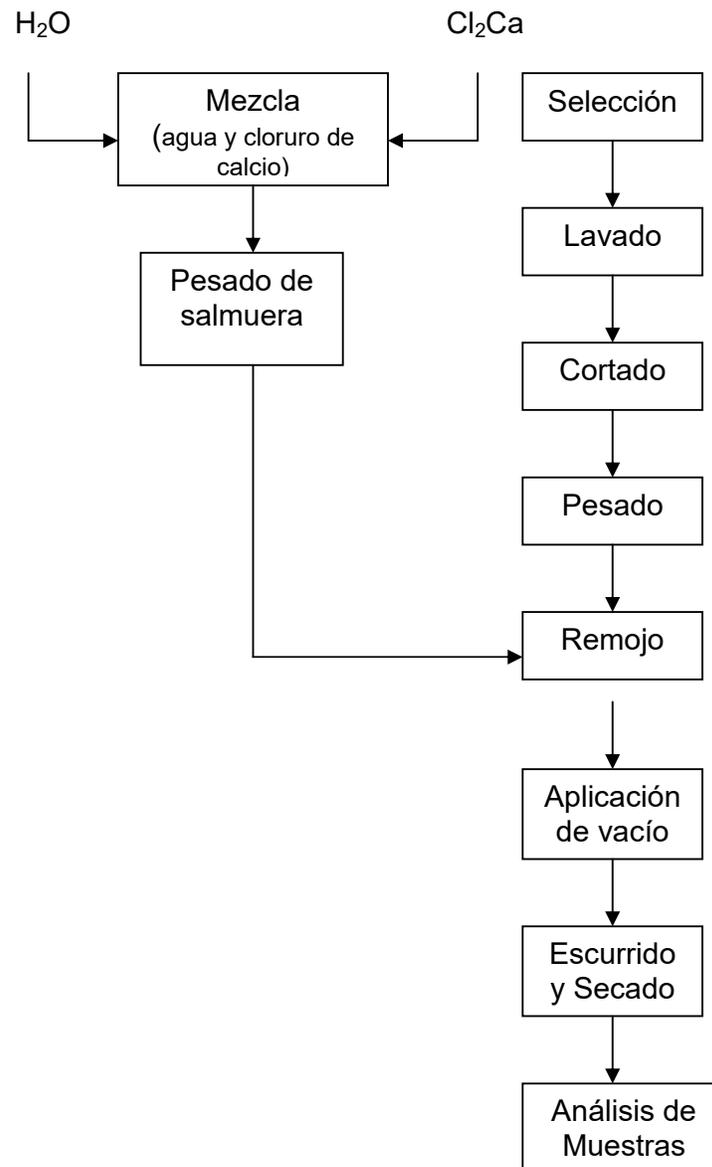
calcio (Cl_2Na) de 1%. Posteriormente se pesaron 50 gr. de vegetal y se sumergieron en 500 gr. de solución osmótica durante un tiempo de 2 horas.

Para realizar un mejor estudio del proceso se tomaron muestras cada 15 minutos durante la primera hora, y cada 30 minutos la siguiente. Finalmente las muestras se escurrieron y secaron con papel toalla y se le realizaron los análisis correspondientes.

Descripción del proceso de impregnación al vacío de cloruro de calcio en rebanadas de pimiento

Para obtener un mejor estudio comparativo entre ambos procesos, se determinó realizar un procedimiento similar al tradicional para la impregnación al vacío, por lo que, el pimiento se lavó y cortó en rebanadas de 10 ± 0.5 cm de largo, 0.5 ± 0.1 cm de ancho y 0.5 ± 0.1 cm de espesor. Luego se procedió a preparar la solución osmótica con una concentración de cloruro de calcio (Cl_2Na) de 1%. Posteriormente se pesaron 50 gr. de vegetal y se sumergieron en 500 gr. de solución osmótica.

El recipiente con la solución y el vegetal sumergido fue colocado entonces dentro del tanque y verificando cuidadosamente que no existan fugas en el sistema, se procedió a ajustar la tapa en el tanque y se aplicó la presión de vacío durante 30 minutos, de acuerdo al experimento programado. Se tomaron muestras cada 5 minutos y posteriormente el pimiento se escurrió y secó con papel toalla y se le realizaron los respectivos análisis.



**FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE IMPREGNACIÓN DE CLORURO DE CALCIO
POR MEDIO DE VACÍO EN REBANADAS DE PIMIENTO**

Métodos de Evaluación

Para el estudio de la transferencia de masa en impregnación al vacío se evaluaron los siguientes parámetros:

- Variación de peso
- Ganancia de sólidos
- Humedad

Durante los experimentos se consideraron los siguientes parámetros constantes:

- Temperatura de proceso: 27 ± 3 °C (ambiente)
- Relación peso fruta – peso solución osmótica: 1:10 peso/peso
- Concentración de la solución osmótica: 1% de Cl_2Ca
- Presión absoluta: 610 mmHg.

Porcentaje de Variación de Peso

Para el cálculo del porcentaje de variación de peso se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta M = \frac{M_f - M_o}{M_o} * 100 \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

ΔM = Porcentaje de variación de peso

M_f = Masa de la muestra después de ser sometida a impregnación (gr.)

M_o = Masa inicial de la muestra (gr.)

Ganancia de sólidos

La ganancia de sólidos se determinó mediante secado en estufa. Se tomaron muestras por duplicado del experimento a diferentes intervalos de tiempos y se procedieron a secar durante un día a una temperatura de 60 °C. Los sólidos se calcularon con la ecuación:

$$\Delta M_s = \frac{M_f(X_{sf}) - M_o(X_{so})}{M_o} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

ΔM_s = Ganancia de sólidos (gr. de sólidos/ gr. de muestra)

M_f = Masa de la muestra impregnada después de un tiempo t (gr.).

X_{sf} = Sólidos solubles en la muestra impregnada después de un tiempo t (gr. de sólidos/ gr. de muestra húmeda).

M_o = Masa inicial de la muestra (gr.).

X_{so} = Sólidos solubles iniciales en el vegetal (gr. de sólidos/ gr. de muestra húmeda).

Humedad

De igual modo se determinó la variación de humedad mediante el secado en la estufa, utilizando la ecuación:

$$\Delta Mh = \frac{Mo(Xho) - Mf(Xhf)}{Mo} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

ΔMh = Variación de humedad (gr. de H₂O/ gr. de muestra)

Mf = Masa de la muestra impregnada después de un tiempo t (gr.).

Xhf = Humedad en la muestra impregnada después de un tiempo t (gr. de H₂O / gr. de muestra húmeda).

Mo = Masa inicial de la muestra (gr.).

Xho = Humedad inicial en el vegetal (gr. de H₂O/ gr. de muestra húmeda).

2.4. Proceso Térmico

Para realizar el estudio térmico se determinaron los siguientes pasos:

1. Se preparó una salmuera con una concentración de 1% de cloruro de calcio.
2. Luego se sumergió el pimiento en la salmuera con una relación 1:10 peso/peso de pimiento – salmuera durante un tiempo t

determinado (15 minutos para la impregnación al vacío y 60 minutos para la impregnación tradicional).

3. Posteriormente se aplicó calor por medio de una hornilla a la solución con el pimiento durante un tiempo (t) y a una temperatura determinada. Este experimento se remitió a tres diferentes temperaturas (70, 80, 90 °C) y a tres intervalos de tiempo (5, 10, 15 minutos).
4. Se determinó la textura con un penetrómetro (9).
5. Finalmente se calcularon los valores D (Tiempo de reducción decimal), determinando el logaritmo en base 10 de la pendiente del gráfico de Presión de textura versus Tiempo de tratamiento a una temperatura determinada, y Z (Termo – resistencia), determinando el logaritmo en base 10 de la pendiente del gráfico de pendientes de presión de textura VS Temperatura de proceso.

Esquema Comparativo

Para la realización de un mejor estudio comparativo se dividió en dos partes el análisis del tratamiento térmico:

Parte 1: estudio comparativo entre muestras tomadas de los procesos de impregnación Tradicional y DOV sometidas inmediatamente a tratamiento térmico junto con muestras frescas sin procesar.

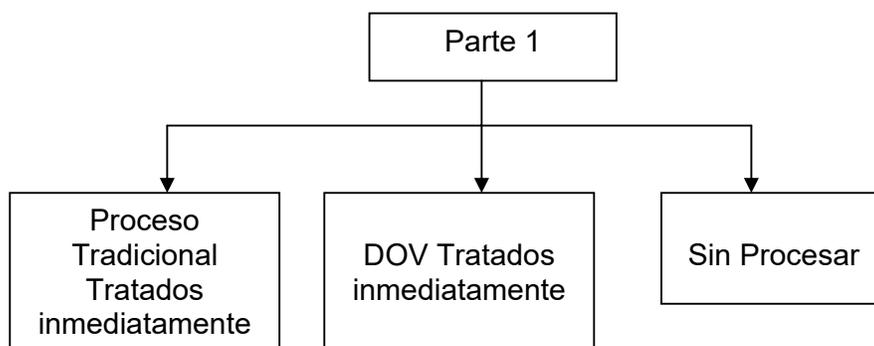


FIGURA 2.2 DIAGRAMA DEL ESTUDIO COMPARATIVO PARTE 1

Parte 2: estudio comparativo de muestras tomadas de los procesos de impregnación Tradicional y DOV sometidas a tratamiento térmico después de una semana de ser procesadas junto con muestras frescas sin procesar.

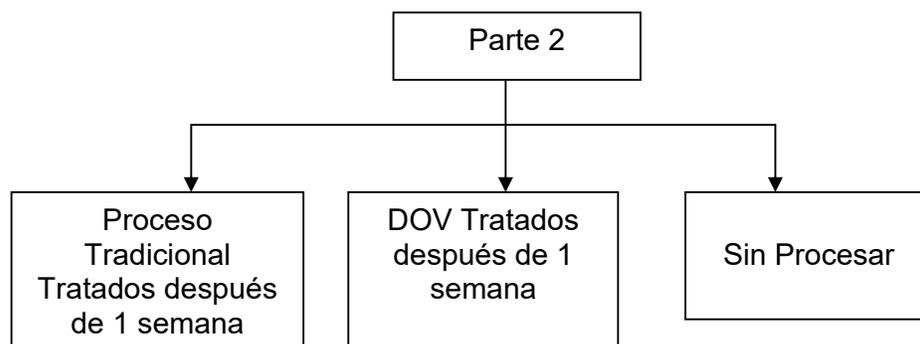


FIGURA 2.3 DIAGRAMA DEL ESTUDIO COMPARATIVO PARTE 2

2.5. Análisis Físico – Químico

2.5.1. Penetrómetro

Debido a la carencia de un penetrómetro específico en la universidad, se utilizó una adaptación de un penetrómetro que consiste de los siguientes materiales (9):

- Medidor de deformación con indicador de carátula John Bull, desv. = 0.01 mm.
- Soporte de aluminio.
- Varilla de aluminio con punta en forma de cono.

Para la medición de la textura se siguió la siguiente técnica (9):

1. La punta en forma de cono es colocada sobre la superficie del vegetal.
2. Se coloca en cero el medidor de deformación.
3. Se descarga el cono dentro del alimento en un tiempo de 5 segundos.
4. Se determina la profundidad de deformación con el medidor de deformación.
5. Se calcula la presión con la ecuación que se presenta a continuación:

$$t_o = \frac{gm}{P^2 \tan^2(1/2\alpha_c)} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

P = es la Profundidad de penetración después de 5 segundos
(m)

g = Gravedad (m/s^2).

m = Masa del cono (Kg).

α_c = ángulo del cono.

2.5.2. Porosidad del Pimiento

Para el estudio de la porosidad efectiva del pimiento se tomó en consideración el procedimiento realizado por Pedro Fito, el cual se detalla a continuación (8):

1. El pimiento se lavó y corto en pedazos de forma rectangular de $1.0\text{ cm} \pm 0.05\text{ cm} \times 1.0\text{ cm} \pm 0.05\text{ cm}$ de base y $1.0\text{ cm} \pm 0.05\text{ cm}$ de espesor.
2. Se preparó una solución isotónica de acuerdo a la actividad de agua del pimiento fresco.
3. Para mantener la relación peso fruta – solución osmótica (1:10), se pesaron 25 gr de cubos de pimiento y 250 gr de solución isotónica.

4. Luego se colocó la solución isotónica en un recipiente y se sumergieron en la misma los trozos de pimiento.
5. El recipiente es colocado dentro del tanque de vacío para luego aplicar presión de vacío durante 2 minutos. Posteriormente se restaura la presión atmosférica y se retiran los trozos de pimiento.
6. A los trozos de pimiento se les toma el peso final y se realizan los cálculos correspondientes.

Este experimento se remitió a 5 presiones diferentes (510, 560, 610, 660, 710 mmHg.) para construir una curva de porosidad vs presión absoluta.

Luego se determina la fracción volumétrica total del alimento ocupado por la solución (X) mediante la siguiente ecuación:

$$X_v = \frac{M_f - M_o}{\rho V_o} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

M_o = Masa inicial de la muestra (gr).

M_f = Masa de la fruta después de un tiempo t de ser sometido a un proceso de deshidratación osmótica en condiciones de vacío (gr).

ρ = densidad de la solución de azúcar (gr/cm^3).

V_o = volumen inicial de la fruta (cm^3).

Asumiendo la deformación volumétrica despreciable se determina la porosidad efectiva con las ecuaciones 1.3 y 1.4:

$$r \approx \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$X = \varepsilon_e \left(1 - \frac{1}{r}\right) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

p_2 = Presión absoluta de trabajo (mmHg).

p_1 = Presión atmosférica (760 mmHg.).

Se graficó la fracción volumétrica total del alimento ocupado por la solución (X) versus el término $(1-1/r)$, y se determinó la pendiente, hallando de esta manera la porosidad efectiva del mango.

2.6. Análisis Sensorial

El método sensorial seleccionado fue la prueba de intervalos. Este método es un método cuantitativo que tiene como objetivo calificar, de acuerdo a una escala predeterminada, la percepción de la intensidad de una característica sensorial específica. En el análisis de esta prueba además de señalarse las diferencias, también se señala la magnitud de las diferencias. Es relativamente fácil de comprender y aplicar.

La característica extrínseca que se evaluó fue la consistencia de la textura del pimiento *Capsicum Annuum*. El análisis sensorial se lo realizó mediante el sistema de Escala Estructurada, en donde se define de forma continua cada punto que comprende los cambios por los que se puede esperar se presente la variación de la característica sensorial. La escala se estableció de un criterio del 0 al 10; donde el 0 indicaba un nivel de intensidad PÉSIMO y el 10 un nivel de intensidad de MUY BUENO, como se muestra en el cuestionario adjunto en el Apéndice C.

En la evaluación se presentaron cinco jueces con entrenamiento medio, cuyo principal objetivo era el de elegir de entre las muestras el pimiento que presente o indique mejor consistencia de la textura para

de esta manera poder determinar el grado de intensidad de las muestras.

Los resultados se evaluaron mediante un análisis de varianza, utilizando la tabla de distribución F, la cual nos permitirá determinar si existe o no diferencia significativa entre las diferentes muestras. Las muestras fueron codificadas de acuerdo a la siguiente Tabla 4.

TABLA 4
CODIFICACIÓN DE MUESTRAS

M1 (Vacío 1 Semana)	M2 (Tradicional)	M3 (Vacío)	M4 (Tradicional 1 semana)	M5 (Sin tratamiento)
A20	B39	C12	D51	E01

Elaborado por Omar Grijalva

Análisis de Varianza

El análisis de varianza es una técnica estadística que, con base al principio de t de Student, permite estudiar si existe diferencia significativa entre la media de las calificaciones asignadas a más de dos muestras. La metodología a seguir para el análisis de varianza se lo detalla de forma más sencilla en el Apéndice A.

CAPITULO 3

3. ANALISIS DE RESULTADOS

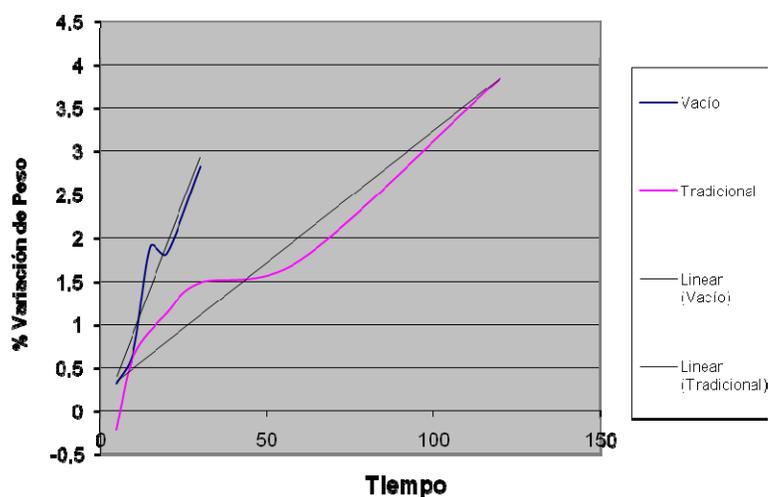
3.1. Análisis de la Transferencia de masa en la impregnación de cloruro de calcio

Porcentaje de Variación de Peso

El porcentaje de variación de peso se utiliza como un indicador de la eficiencia del proceso, para lo cual aplico la ecuación 2.1. En la figura 3.1 se observa el comportamiento de la variación de peso en las muestras tratadas. Se puede observar que la tendencia es el incremento de peso en las muestras tratadas tanto con impregnación tradicional como, con impregnación al vacío. Sin embargo la impregnación al vacío muestra una mayor pendiente indicándonos que existe una mayor velocidad de transferencia de masa en dicho proceso.

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.

FIGURA 3.1
PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE PESO PARA LOS PROCESOS
DE IMPREGNACIÓN AL VACÍO Y TRADICIONAL



Elaborado por Omar Grijalva

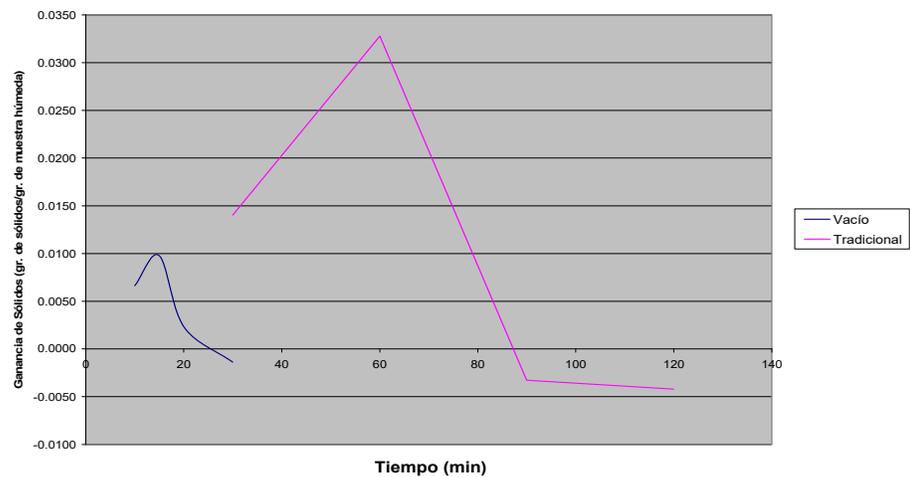
Por otro lado, comparando ambas curvas se puede observar que la impregnación al vacío tuvo una mayor pendiente de ganancia de peso, evidenciando que este proceso resulta ser relativamente más eficiente que el tradicional.

Ganancia de Sólidos y Humedad

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.

En la figura 3.2 se observa que en el proceso de impregnación al vacío la más alta velocidad de ganancia de sólidos se registra a los 15 minutos; mientras que en el proceso tradicional se obtuvo una velocidad máxima de ganancia de sólidos a los 60 minutos. También se puede observar que después de estos picos la velocidad de ganancia de sólidos disminuye, este fenómeno podría deberse a que el proceso llega a un equilibrio osmótico produciendo una disminución de la velocidad de ganancia de sólidos.

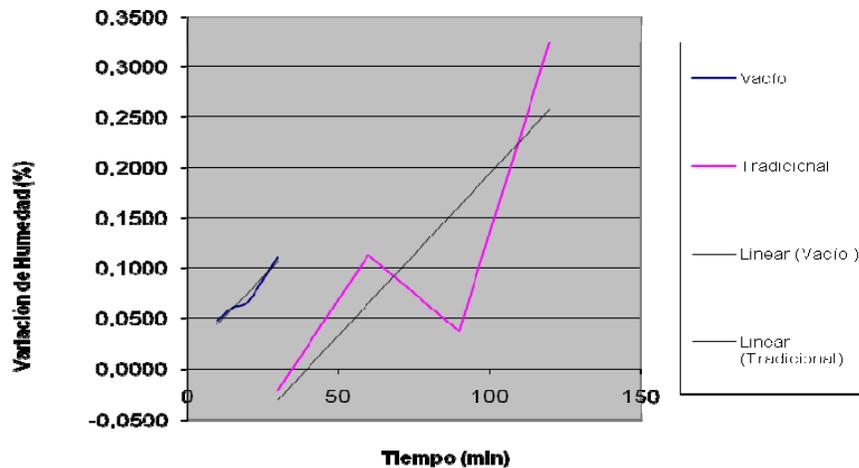
FIGURA 3.2
GANANCIA DE SÓLIDOS VS TIEMPO EN LOS PROCESOS DE
IMPREGNACIÓN AL VACÍO Y TRADICIONAL



Elaborado por Omar Grijalva

Por otro lado en la figura 3.3 se puede observar la ganancia de agua en ambos procesos. Se observa que en ambos procesos existe un incremento en las humedades; indicando que existe una mejora relativa en las características del pimiento dado que el agua ayuda a mejorar la turgencia de los alimentos y que el cloruro de calcio mejora a la retención del agua en los productos.

FIGURA 3.3
VARIACIÓN DE HUMEDAD VS TIEMPO EN LOS PROCESOS DE
IMPREGNACIÓN AL VACÍO Y TRADICIONAL



Elaborado por Omar Grijalva

3.2. Estudio del Mecanismo Hidrodinámico de Penetración

El estudio del mecanismo hidrodinámico permite tener una idea más clara de los resultados obtenidos en la transferencia de masa. Se puede observar que las muestras tratadas con impregnación al vacío alcanzan una mayor velocidad de ganancia de sólidos en menor tiempo que las muestras tratadas tradicionalmente. Esto se debe a que el tratamiento con vacío produce mayores cambios estructurales debido a que existe una mayor penetración del soluto hacia el alimento ya que el gas que se encuentra en el poro es extraído rápidamente por el cambio de presión, lo que permite al soluto ligarse más fuerte a la estructura del alimento. Por otro lado, en la

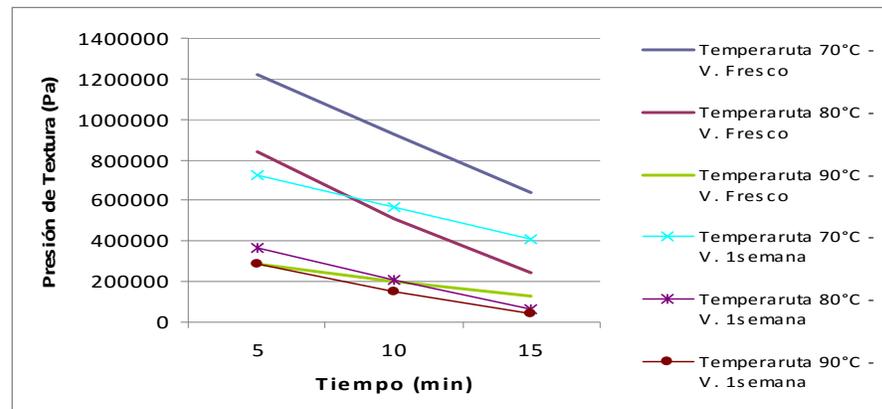
impregnación tradicional el gas se desaloja lentamente del poro, lo que ocasiona que el soluto llene las capas superficiales del alimento y sea fácilmente eliminado por cualquier mecanismo.

3.3. Determinación de los Valores D y Z

Los valores D y Z permiten analizar la resistencia térmica de un aspecto de calidad específico.

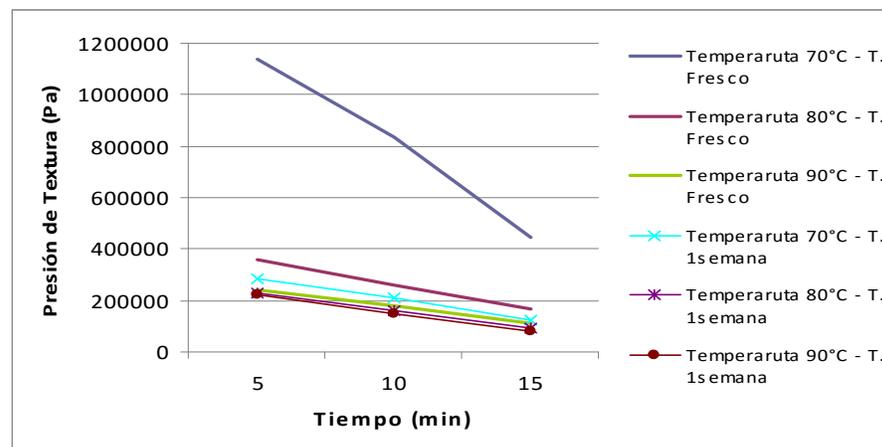
De las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 se obtuvieron las tablas 5 y 7, las cuales muestran los valores de reducción decimal a diferentes temperaturas, y de la figura 3.7 se determinaron las tablas 6 y 8, las cuales muestran la termo resistencia, producto de los diferente procesos. Los resultados indican que las muestras que fueron procesadas con impregnación al vacío tuvieron los mayores tiempos de reducción decimal (valor D) y termo resistencia (valor Z) en comparación con las procesadas tradicionalmente y las muestras en blanco sin procesar. Como resultado se demuestra que el vegetal adquiere mayor resistencia al tratamiento térmico con la utilización de vacío durante la impregnación. Además, se puede observar que la impregnación de cloruro de calcio mejora significativamente la turgencia del pimiento, obteniendo un incremento considerable de los valores Z con respecto a una muestra en blanco.

FIGURA 3.4
PRESIÓN DE TEXTURA VS TIEMPO DE TRATAMIENTO TERMICO
PARA PIMIENTOS IMPREGNADOS AL VACÍO



Elaborado por Omar Grijalva

FIGURA 3.5
PRESIÓN DE TEXTURA VS TIEMPO DE TRATAMIENTO TERMICO
PARA PIMIENTOS IMPREGNADOS TRADICIONALMENTE



Elaborado por Omar Grijalva

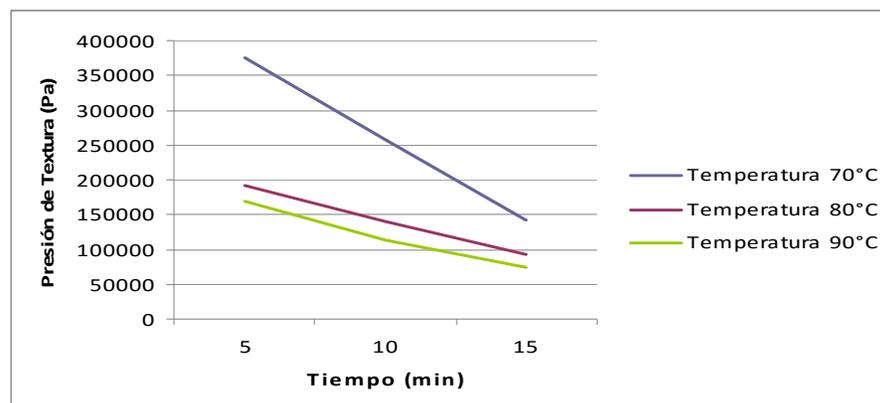
TABLA 5
VALORES D PARA EL PIMIENTO EN LOS DIFERENTES
EXPERIMENTOS A DIFERENTES TEMPERATURAS

Proceso	Temperatura (°C)		
	70	80	90
Vacío	5.38	4.77	4.20
Tradicional	4.84	4.47	4.11
Sin Proceso	4.37	4.13	3.86

Elaborado por Omar Grijalva

Las tablas 7 y 8 muestran los resultados obtenidos de muestras que fueron analizadas luego de una semana de ser almacenadas en refrigeración.

FIGURA 3.6
PRESIÓN DE TEXTURA VS TIEMPO DE TRATAMIENTO TERMICO
PARA PIMIENTOS FRESCO SIN PROCESAR



Elaborado por Omar Grijalva

TABLA 6
VALORES Z DEL PIMIENTO EN LOS DIFERENTES
EXPERIMENTOS

Tratamiento	Valor Z
Vacío	3.66
Tradicional	3.45
Sin procesar	2.84

Elaborado por Omar Grijalva

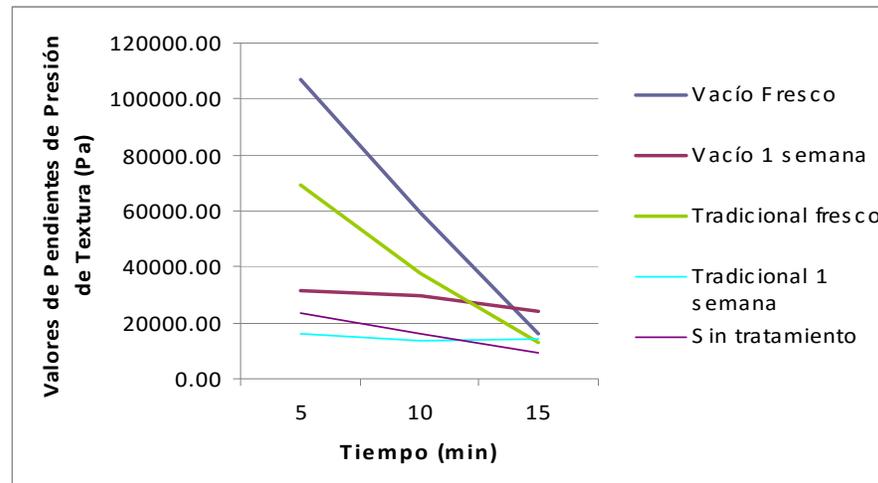
Los resultados indican que los pimientos que fueron sometidos a impregnación tradicional con cloruro de calcio y procesados térmicamente después de una semana mostraron valores D y Z menores a los que fueron impregnados por vacío, lo que demuestra que la adición de sales por medio de vacío ayuda a la retención de agua manteniendo la turgencia del vegetal alargando su vida útil, incluso después de una semana con una simple refrigeración

TABLA 7
VALORES D PARA EL PIMIENTO EN LOS DIFERENTES
EXPERIMENTOS TRATADOS TÉRMICAMENTE DESPUÉS DE
UNA SEMANA A DIFERENTES TEMPERATURAS

Proceso	Temperatura (°C)		
	70	80	90
Vacío 1 semana	4.50	4.47	4.38
Tradicional 1 semana	4.20	4.14	4.00
Sin Proceso	4.37	4.13	3.86

Elaborado por Omar Grijalva

FIGURA 3.7
VALORES DE PENDIENTES DE LA PRESIÓN DE TEXTURA VS
TIEMPO DE PROCESO TERMICO PARA LOS DISTINTOS
TRATAMIENTOS



Elaborado por Omar Grijalva

TABLA 8
VALORES Z DEL PIMIENTO EN LOS DIFERENTES
EXPERIMENTOS TRATADOS TÉRMICAMENTE DESPUÉS DE
UNA SEMANA

Tratamiento	Valor Z
Vacío, 1semana	2.57
Tradicional , 1semana	1.90
Sin procesar	2.84

Elaborado por Omar Grijalva

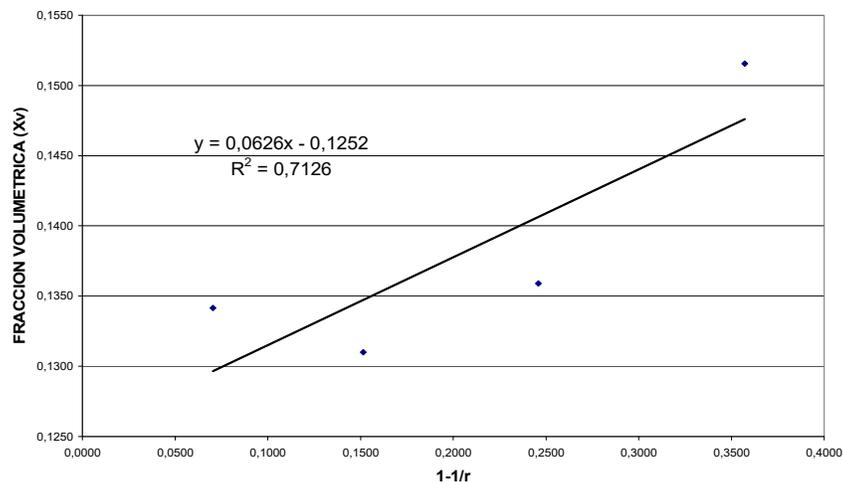
3.4. Efecto de la Presión en la porosidad del pimiento

El mecanismo hidrodinámico está relacionado con la estructura de los tejidos, ya que ésta es discontinua, porosa y posee espacios ocupados por gas. Por lo tanto, en procesos de impregnación por pulsos de vacío es importante conocer el comportamiento de la porosidad del producto cuando se somete a vacío para determinar el volumen que puede ocupar el líquido externo.

La porosidad efectiva (E_e), está definida como la fracción de volumen total de gas en los tejidos de la fruta en comparación con el volumen total de la fruta (9).

En la figura 3.8 se puede observar la representación gráfica entre la fracción volumétrica total del pimiento ocupado por una solución isotónica (X_v) (Ec. 2.5) versus el término $1-1/r$, donde r es la relación entre la presión atmosférica y la presión de vacío aplicada (Ec. 1.3). Obteniendo la pendiente se determina la porosidad efectiva del alimento.

FIGURA 3.8
GRAFICO DE X VS 1-1/R PARA LOS EXPERIMENTOS
REALIZADOS A DIFERENTES PRESIONES EN PIMIENTOS

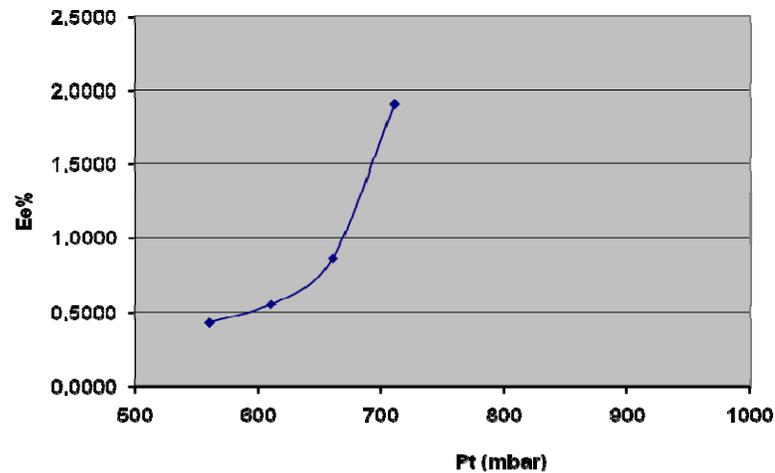


Elaborado por Omar Grijalva

Por lo tanto, el pimiento *Capsicum Annuum* que produce el Ecuador, posee una porosidad efectiva de un 6%.

En la figura 3.9 se puede observar que a medida que decrece la presión la porosidad efectiva disminuye. Este resultado indicaría que sería conveniente utilizar presiones de vacío cercanas a la atmosférica debido a que al disminuir la porosidad del alimento se dificulta la transferencia de masa disminuyendo la eficiencia del proceso.

FIGURA 3.9
COEFICIENTES DE POROSIDAD PARA EL PIMIENTO VERDE
CULTIVADO EN EL ECUADOR A DISTINTAS PRESIONES

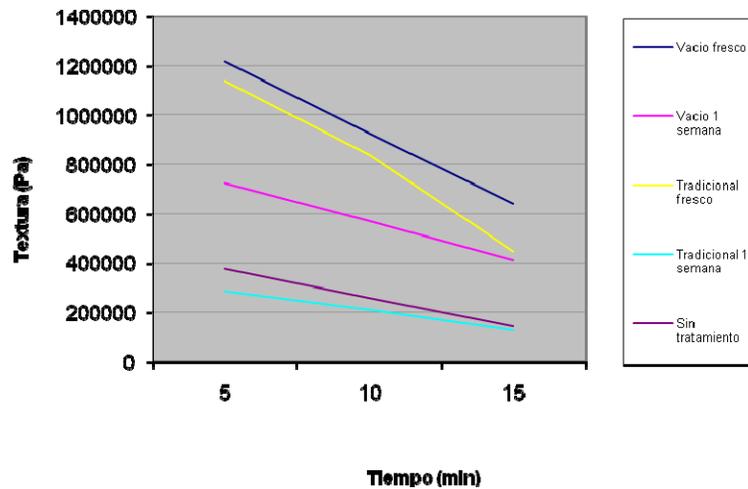


Elaborado por Omar Grijalva

3.5. Análisis Físico

El análisis físico que se determinó en los pimientos fue la textura. En las figuras 3.10 y 3.11 se puede observar que las mayores presiones de turgencia las tienen las muestras procesados por medio de vacío, notándose una gran diferencia en la figura 3.11 que muestra los valores de presión de textura de los pimientos sometidos a tratamiento térmico a 80 °C, en donde las presiones de las diferentes muestras tienden a equipararse exceptuando las que fueron impregnadas por vacío y tratadas térmicamente de inmediato.

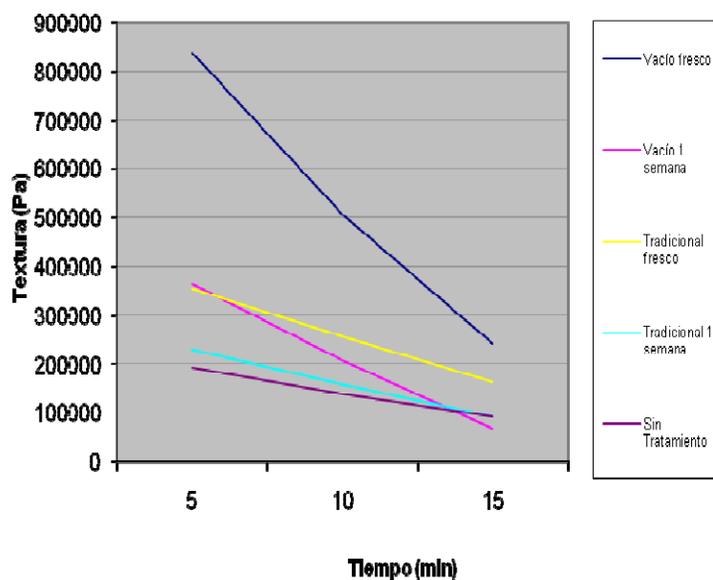
FIGURA 3.10
PRESIONES DE TURGENCIA DEL PIMIENTO PARA LOS
DIFERENTES EXPERIMENTOS A 70 °C



Elaborado por Omar Grijalva

A diferencia de los anteriores resultados los pimientos impregnados tradicionalmente y tratados térmicamente después de una semana tienen una disminución de la turgencia inicial, pero muestra mayor resistencia al incremento de temperatura y tiempo de tratamiento con respecto a la muestra sin procesar. Este comportamiento concuerda con la asunción de que las sales mejoran o incrementa la resistencia de la textura del pimiento a los tratamientos térmicos.

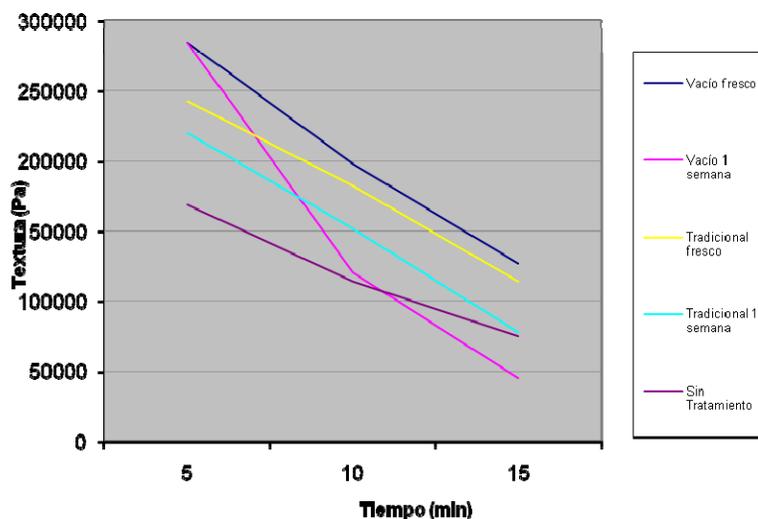
FIGURA 3.11
PRESIONES DE TURGENCIA DEL PIMIENTO PARA LOS
DIFERENTES EXPERIMENTOS A 80 °C



Elaborado por Omar Grijalva

Por otro lado se observa que los pimientos impregnados por vacío y tratados térmicamente después de una semana, no muestran la pérdida de turgencia inicial, con lo cual podemos confirmar de cierta manera que con la utilización de vacío se obtiene un cambio estructural más profundo y una mayor fijación del agua en los tejidos, lo cual mantiene la turgencia.

FIGURA 3.12
PRESIONES DE TURGENCIA DEL PIMIENTO PARA LOS
DIFERENTES EXPERIMENTOS A 90 °C



Elaborado por Omar Grijalva

La figura 3.12 muestra que a los 90 °C no existe una marcada diferencia entre las presiones de turgencia de las diferentes muestras pimiento. Lo que nos indica que a 90 °C de temperatura los daños en los tejidos son bastante graves produciendo la pérdida masiva de agua y disminuyendo considerablemente la turgencia del vegetal. Adicionalmente se puede observar que a medida que se incrementa la temperatura y el tiempo la pendiente aumenta.

3.6. Análisis Sensorial

En el análisis sensorial las calificaciones obtenidas por los jueces presentan una intensidad mucho mayor, en cuanto al atributo de consistencia en la textura, para las muestras impregnadas al vacío y tradicionalmente, ambas procesadas térmicamente de inmediato; como se muestra en la Apéndice D.

Las muestras con impregnación tradicional y al vacío tratadas térmicamente después de una semana tuvieron una intensidad menor en cuanto a la consistencia de la textura al igual que la muestra en blanco. Las pruebas fueron tratadas con un análisis de varianza, en el cual se determinó que sí existe diferencia significativa entre las muestras evaluadas en un nivel de confianza de 0.01 (1%), lo cual se lo evaluó mediante varios resultados obtenidos de los cálculos que se realizaron con la información detallada en los Apéndices A y B.

Del Apéndice E se obtuvieron los valores de la relación de variación (F), los cuales fueron comparados con los valores obtenidos de las tablas Valores Críticos para F que se encuentran en los Apéndices A e I.

El análisis de varianza indica que sí existe diferencia significativa entre las muestra a un nivel de significancia de 1% como lo indica el Apéndice F.

Mediante el Apéndice G se puede determinar que existe diferencia significativa entre las muestras impregnadas al vacío y tradicionalmente, ambas procesadas térmicamente de inmediato.

Por otro lado se observa que entre las muestra impregnadas por ambos métodos y procesados térmicamente después de una semana no existe diferencia alguna. La muestra en blanco se diferencia significativamente de todas las demás muestras realizadas en este estudio.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La impregnación de una sal de calcio aplicando vacío es una técnica que brinda mejores resultados en cuanto a resistencia térmica en comparación al método tradicional de impregnación, a pesar de que los análisis demuestran que al disminuir la presión disminuye la porosidad.
2. La impregnación por vacío produjo un ahorro de tiempo de proceso y del aditivo. Por otro lado, la utilización de una bomba de vacío no influye significativamente en los costos debido a que se utilizan presiones cercanas a la atmosférica.

3. La utilización de cloruro de calcio no sólo incremento la turgencia del pimiento, sino que también alargó la vida útil del producto hasta una semana con una simple refrigeración a 10 °C.
4. Las muestras evaluadas mediante el análisis de varianza a un nivel de significancia del 1% demostraron diferencia significativa entre sí, a excepción de las muestras impregnadas por ambos métodos y tratadas térmicamente después de una semana que no presentaron diferencia significativa. Pero se puede concluir que las muestras impregnadas al vacío son mucho más consistentes en la textura, luego en menor intensidad le siguen las muestras impregnadas tradicionalmente.
5. Se recomienda un estudio más amplio y profundo sobre la influencia del cloruro de calcio en las características químicas de los alimentos para adquirir mayor conocimiento sobre nuevas técnicas de utilización de sales a fin de mejorar las propiedades de los alimentos.

APENDICES

APENDICE A

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACIÓN	Grados de Libertad (gl)	Suma de los Cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	F
Muestras (m)	$k - 1$	SC (m)	$SC (m) / k - 1$	$CM(m)/CM(E)$
Jueces (J)	$n - 1$	SC (J)	$SC (J) / n - 1$	$CM(J)/CM(E)$
Error (E)	$(kn-1)-(n-1)-(k-1)$	SCT- SC (J)- SC (m)	$[SCT- SC (J)- SC (m)] / [(kn-1)-(n-1)-(k-1)]$	
Total (T)	$kn-1$	SCT		

Elaborado por Omar Grijalva

APENDICE B

FORMULAS PARA ANALISIS DE VARIANZA

$$SCT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{kn} \cdot T^2 \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$$SC(m) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k T_i^2 - \frac{1}{kn} \cdot T^2 \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$$SC(J) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{J=1}^n T_J^2 - \frac{1}{kn} \cdot T^2 \quad (\text{Ec. 2.10})$$

$$FC = \frac{1}{kn} \cdot T^2 \quad (\text{Ec. 2.11})$$

$$DMS = t \frac{\sqrt{2CME}}{n} \cdot T^2 \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde:

t = valor t de student de tabla al 1% para dos colas (Anexo)

APENDICE C
HOJA DE RESPUESTAS

Escala Estructurada.-

Nombre: _____ **Fecha:** _____ **Serie:** _____

Pruebe las muestras de izquierda a derecha e indique su intensidad de consistencia en la textura de acuerdo con el número en la escala siguiente:



Muestras: A20 B34 C12 D51 E01

Intensidad: _____ _____ _____ _____ _____

APENDICE D

CUADRO DE RESULTADOS SENSORIALES

CONSISTENCIA DE LA TEXTURA						
MUESTRAS						
JUECES	m1	m2	m3	m4	m5	TOTAL
1	7	8	9	6	5	35
2	6	7	8	6	5	32
3	5	7	9	6	5	32
4	5	7	10	5	4	31
5	6	8	9	6	5	34
TOTAL	29	37	45	29	24	164

ELABORADO POR OMAR GRIJALVA

APENDICE E

RESULTADOS DE ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACIÓN	Grados de Libertad (gl)	Suma de los Cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	F
Muestras (m)	4	54,56	13,64	40,12**
Jueces (J)	4	2,16	0,54	1,59
Error (E)	16	5,44	0,34	
Total (T)	24	62,16		

Elaborado por Omar Grijalva

APENDICE F

RESULTADOS PARA ESTABLECER DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

<i>Nivel de Significancia</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Tabla F</i>	<i>Comparativo</i>	<i>Valor F calculado</i>	<i>Diferencia Significativa</i>
0,01	**	3,01	Menor	40,12	Sí

Elaborado por Omar Grijalva

APENDICE G

DIFERENCIA ENTRE MEDIAS CON EL VALOR DMS

$$m_3 - m_1 = 3.2 > 0.48$$

$$m_3 - m_2 = 1.6 > 0.48$$

$$m_3 - m_4 = 3.2 > 0.48$$

$$m_3 - m_5 = 4.2 > 0.48$$

La muestra m3 es de manera significativa, “más consistente en la textura” que la muestra m1, m2, m4 y m5.

$$m_2 - m_1 = 1.6 > 0.48$$

$$m_2 - m_4 = 1.6 > 0.48$$

$$m_2 - m_5 = 2.6 > 0.48$$

La muestra m3 es de manera significativa, “más consistente en la textura” que la muestra m1, m4 y m5.

$$m_1 - m_4 = 0 < 0.48$$

$$m_1 - m_5 = 1 > 0.48$$

La muestra m1 es de manera significativa, “más consistente en la textura” que la muestra m5, más no respecto a la muestra m4.

$$m_4 - m_5 = 1 > 0.48$$

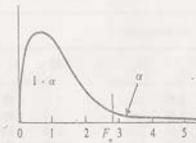
APENDICE H

VALORES CRITICOS PARA F

TABLA C. Continuación
Nivel de significancia (α):

g.l. del denominador	Una Cola									
	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005	
	Dos Colas									
	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001	
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767	
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745	
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725	
26	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707	
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690	
28	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674	
29	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659	
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646	
40	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.031	2.423	2.704	3.551	
60	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.009	2.390	2.660	3.460	
120	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.990	2.358	2.617	3.373	
∞	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.969	2.326	2.576	3.291	

TABLA D. Valores críticos para F



Nivel 1%

g.l. del denominador	g.l. del numerador										
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞	
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	238.9	243.9	249.0	254.3	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.37	19.41	19.45	19.50	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.84	8.74	8.64	8.53	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.04	5.91	5.77	5.63	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.82	4.68	4.53	4.36	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.15	4.00	3.84	3.67	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.73	3.57	3.41	3.23	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.28	3.12	2.93	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.23	3.07	2.90	2.71	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.07	2.91	2.74	2.54	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	2.95	2.79	2.61	2.40	
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.85	2.69	2.50	2.30	
13	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.77	2.60	2.42	2.21	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.70	2.53	2.35	2.13	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.64	2.48	2.29	2.07	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.59	2.42	2.24	2.01	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.55	2.38	2.19	1.96	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.51	2.34	2.15	1.92	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.48	2.31	2.11	1.88	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.45	2.28	2.08	1.84	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.42	2.25	2.05	1.81	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.40	2.23	2.03	1.78	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.38	2.20	2.00	1.76	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.36	2.18	1.98	1.73	
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.34	2.16	1.96	1.71	
26	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.32	2.15	1.95	1.69	

Continúa

APENDICE I

VALORES CRITICOS PARA F

TABLA D. Continuación
Nivel 1%

g.l. del denominador	g.l. del numerador									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.30	2.13	1.93	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.29	2.12	1.91	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.28	2.10	1.90	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.27	2.09	1.89	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.18	2.00	1.79	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.10	1.92	1.70	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.02	1.83	1.61	1.25
∞	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.10	1.94	1.75	1.52	1.00
Nivel 5%										
1	4032	4999	5401	5625	5764	5859	5982	6106	6234	6366
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.37	99.42	99.46	99.50
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.49	27.05	26.60	26.12
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.80	14.37	13.93	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.29	9.89	9.47	9.02
6	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.10	7.72	7.31	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.84	6.47	6.07	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.03	5.67	5.28	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.05	5.80	5.47	5.11	4.73	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.06	4.71	4.33	3.91
11	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.74	4.40	4.02	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.50	4.16	3.78	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.30	3.96	3.59	3.16
14	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.14	3.80	3.43	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.00	3.67	3.29	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	3.89	3.55	3.18	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.79	3.45	3.08	2.65
18	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.71	3.37	3.00	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.63	3.30	2.92	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.56	3.23	2.86	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.51	3.17	2.80	2.36
22	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.45	3.12	2.75	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.41	3.07	2.70	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.36	3.03	2.66	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.32	2.99	2.62	2.17
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.28	2.96	2.58	2.13

Continúa

TABLA D. Continuación
Nivel 5%

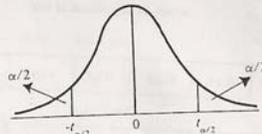
g.l. del denominador	g.l. de numerador									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.26	2.93	2.55	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.23	2.90	2.52	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.20	2.87	2.49	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.17	2.84	2.47	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	2.99	2.66	2.29	1.80
60	7.08	4.96	4.13	3.65	3.34	3.12	2.82	2.50	2.12	1.60
120	6.95	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.66	2.34	1.95	1.38
∞	6.64	4.60	3.78	3.32	3.02	2.80	2.51	2.18	1.79	1.00

Fuente: M. Merrington y C.M. Thompson (1941). "Tables of 1 percentage points of the inverted beta (F) distribution." *Biometrika* 31, 17-99. Reimpreso con autorización de *Biometrika Trustee*.

APENDICE J

VALORES CRITICOS PARA t DE STUDENT

TABLA C. Valores criticos para t de Student*



Nivel de significancia (α):

0.005
1.001
5.997
3.268
9.728
1.179
2.620
4.052
5.476
6.893
8.302
9.703

g.l.	Una cola									
	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005	
	Dos colas									
	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001	
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619	
2	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598	
3	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924	
4	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610	
5	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869	
6	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959	
7	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408	
8	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041	
9	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781	
10	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587	
11	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437	
12	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318	
13	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221	
14	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140	
15	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073	
16	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015	
17	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965	
18	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922	
19	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883	
20	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850	
21	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819	
22	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792	

Continúa

* Tabla generada utilizando un programa SAS escrito por R.W. Washam II, Armour Research Center, Scottsdale, Arizona.

BIBLIOGRAFIA

1. Badui S., Química de Alimentos, Editorial Alambra Mexicana S.A., Mexico D.F., 1996
2. Barat, J.M., Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
3. Bioline
<http://www.bioline.org.br/request?cg06016>
4. Buescher R.W.; Hudson J.M.; Adams J.R., Lebensmitt Wiss V Technol, 1981. Pags. 14, 65.
5. Comarca de la Avera
<http://www.comarcadelavera.com/Pimenton/default.htm>
6. Espinoza, Aurora. Efecto del cloruro de calcio sobre la deshidratación Osmótica a vacío en mitades de duraznos (Prunus Persica) en soluciones de Sacarosa. Universidad de Oriente, Venezuela. 2006.
7. FAO
<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/PIMIENTO.HTM#B1#B1>

8. Fito, P.; Chiralt, A.; Shi Q, Influence of Vacuum treatment on mass transfer during osmotic of fruits, Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos, Valencia – España. 1995. pags. 445 – 454.
9. Huayamave, Elizabeth Cristina, Estudio del Efecto de la Presión sobre la Deshidratación Osmótica del mango. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador. 2005
10. Lewis M.J. Propiedades Físicas de los alimentos y de los sistemas de Procesado, Editorial Aribia S.A., Zaragoza – España, 1993, pag. 136.
11. Raoult-Wack A., Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in food Science and technology 5, 1994, Pags. 255 – 260
12. Rastogi, N.; Raghavarao, K. Kinetics of osmotic dehydration under vacuum lebensmittel – wissenschaft technology. 1996, pag. 669 – 672.
13. Reynosa – Ochoa, Martínez/A. Ayala, Modelos Matemáticos de transferencia de Masa en deshidratación Osmótica, Ciencia y Tecnología Alimentaria; Sociedad Mexicana de Nutrición y tecnología de alimentos, México. 2005, pag. 332 – 338.
14. Salvatori, D.; Andres, A.; Chiralt, A.; Fito, P., Osmotic dehydration progression in apple tissue: spatial distribution of solutes and moisture content. Journal of food Engineering. 1999, pag. 42, 125 – 132.
15. Schwartz M., Principios y aplicaciones de métodos de factores combinados en la transformación de frutas, II Congreso Venezolano

de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1999, Pag. 120.

16. Verduras Consumer

<http://verduras.consumer.es/documentos/hortalizas/piminto/intro.php>

17. Wikipedia

<http://es.wikipedia.org/wiki/Turgencia>