UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

PATROCINANTE
Sr. Eduardo Castro Montero

DIRECTORES

Eduardo Castro Montero
Ingeniero Civil Químico
Magíster en Ciencia de los Alimentos

Verónica Dueik González
Ingeniero en Alimentos
Magíster en Ciencia de los Alimentos
Candidata a Doctora en Ciencias de la Ingeniería

Estudio de la impregnación a vacío de miel y su efecto en atributos de calidad de hojuelas de manzana (*var.* Granny Smith) deshidratadas

MEMORIA PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD DE CHILE
PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

PRISCILA ANDREA FERNÁNDEZ AEDO

Santiago – Chile
Diciembre 2007

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Verónica Dueik por su incondicional apoyo y compromiso en el desarrollo de esta memoria y al Profesor Eduardo Castro, por su presencia, colaboración y formación académica.

Al Señor Manuel Alejandro Martínez por acercarme al conocimiento integral de la producción de miel y por su incondicional ayuda en el área de tipificación y control de calidad de productos apícolas; colocando a mi disposición sus instalaciones para la realización de estos análisis.

Al Señor Manuel Briceño, muy estimado por mi persona, por su apoyo en el conocimiento de producción de manzana chilena.

Al departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos de la Pontificia Universidad Católica de Chile por facilitarme sus instalaciones para la realización de las pruebas de análisis de imágenes.

A todos los profesores que me entregaron las herramientas para desarrollarme como persona y profesionalmente, en especial a la profesora Vilma Quitral por su disposición y confianza entregada hacia mi persona.

Agradezco a mis queridos amigos de siempre de Curicó, y los que hice en la Facultad; por su compañía y amistad.

Agradezco a la Profesora Nalda Romero y a Arturo Fernández por su ayuda en la determinación de polifenoles totales.

A Carlos Zamora, Manuel Fonseca y Marta Argomedo del laboratorio de Procesos de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile, por su cálida atención dispensada.

A todas la personas que estuvieron conmigo y me entregaron su cariño, en especial a mi hermano Brian por su compañía y protección en todos estos años de estudio.

...A mis padres Hugo y Alicia por el cariño de siempre y apoyo constante.

...A mis hermanos Carla, Brian y Hugo; por toda la alegría que ponen en mi vida.

...A Andrés, por todo lo que me ha entregado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

RESUMEN xi

SUMMARY xii

1. INTRODUCCION 1

1.1 MARCO TEÓRICO 2

1.1.1 MANZANA 2

1.1.1.1 ESTACIONALIDAD 3

1.1.2 LA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS 4

1.1.2.1 IMPORTANCIA ECONÓMICA 5

1.1.2.2 EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN 6

1.1.2.3 ATRIBUTOS DE CALIDAD DE FRUTAS DESHIDRATADAS 7

1.1.3 REACCIÓN DE PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO 7

1.1.4 LA IMPREGNACIÓN A VACÍO 8

1.1.4.1 PRINCIPIOS DE LA IMPREGNACIÓN A VACÍO 8

1.1.4.2 APLICACIONES DE LA IMPREGNACIÓN A VACÍO 10

1.1.5 PROPIEDADES DE LA MIEL PARA USO TECNOLÓGICO 11

2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESIS 12

2.2 OBJETIVOS 12

2.2.1 OBJETIVO GENERAL 12

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIA PRIMA 13

3.1.1 MANZANA 13

3.1.2 MIEL 13

3.2 MÉTODOS 13

3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA 13

3.2.1a Sólidos Solubles 14
3.2.1b Firmeza 14
3.2.1c Prueba de Almidón 14
3.2.1d Humedad 14
3.2.1e Sólidos totales 14
3.2.1f Acidez titulable 14
3.2.1g pH 14
3.2.1h Relación sólidos solubles/acidez 14
3.2.2 TIPIFICACIÓN DE VARIEDADES DE MIEL 15
3.2.2a Color 15
3.2.2b Humedad 15
3.2.2c Conductividad eléctrica 15
3.2.3d pH 15
3.2.3 ANÁLISIS ESPECÍFICOS EN MIELES 15
3.2.3a Capacidad antioxidante total 15
3.2.3b Polifenoles totales 15
3.2.3c Cenizas 16
3.2.4 PROCEDIMIENTO: PROCESO PRODUCTIVO 16
3.2.5 OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL 19
3.2.6 ANÁLISIS 19
3.2.6a Ensayo de color 19
3.2.6b Determinación instrumental de textura 20
3.2.6c Polifenoles totales 20
3.2.6d Actividad de agua 20

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA 21
4.2 TIPIFICACIÓN DE LAS VARIEDADES DE MIEL 23
4.3 ANÁLISIS ESPECÍFICOS EN MIELES 25
4.4 ESTUDIO DEL PROCESO PRODUCTIVO 27
4.4.1 Estudio de la impregnación a vacío como pre tratamiento para elaborar hojuelas de manzana deshidratadas por aire forzado 27

4.4.1.1 Efecto de la concentración de la solución de impregnación sobre el color 27
4.4.1.2 Efecto del tiempo de vacío (t1) sobre el color 28
4.4.1.3 Efecto de la presión vacuométrica (p1) aplicada en la VI sobre el color 30
4.4.1.4 Efecto del tiempo de restauración de la presión (t2) sobre el color 31
4.4.1.5 Efecto de la variedad de la miel utilizada en la impregnación sobre el color 34
4.5 OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL 35
4.5.1 Diseños Experimentales 38
4.5.1.1 Diseño experimental 2^3 sobre manzana deshidratada por aire forzado 39
4.5.1.2 Diseño experimental 2^3 sobre manzana deshidratada por infrarrojo y aire forzado 43
4.6 ANÁLISIS DEL PRODUCTO ÓPTIMO 46
4.6.1 Color 46
4.6.2 Textura 47
4.6.3 Polifenoles totales 48
4.6.4 Actividad de agua 49

5. CONCLUSIONES 50

REFERENCIAS 51
ANEXOS 57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos de manzana variedad Granny Smith. 3
Tabla 2 Resultados de análisis de caracterización de manzana. 21
Tabla 3 Resultados de análisis de tipificación de variedades de miel. 23
Tabla 4 Resultados de análisis de capacidad antioxidante, polifenoles totales y cenizas en mieles 25
Tabla 5 Valores de diferencia total de color (∆E) y fuerza máxima de rodajas de manzana impregnada/deshidratada por aire forzado para la optimización. 39
Tabla 6 Valores de diferencia total de color (∆E) y fuerza máxima de rodajas de manzana impregnada/deshidratada por infrarrojo y aire forzado para la optimización. 43
Tabla 7 Resultados de polifenoles totales para el producto óptimo y control 49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción nacional de manzana deshidratada por mes..... 4
Figura 2 Mercado mundial de deshidratados 5
Figura 3 Esquema general de producción de manzana deshidratada 7
Figura 4 Mecanismo hidrodinámico (HDM) durante tratamientos de vacío en sólidos porosos 9
Figura 5 Diagrama de bloques para la etapa de estudio preliminar del proceso 16
Figura 6 Proceso de impregnación a vacío de rodajas de manzana en soluciones de miel 17
Figura 7 Sistema diseñado para deshidratación infrarroja 18
Figura 8 Efecto de la concentración de la solución de impregnación sobre el color (L*) de hojuelas de manzana deshidratada por aire forzado..... 27
Figura 9 Efecto del tiempo de vacío (t1) sobre el color (L*) de manzana deshidratada por aire forzado 29
Figura 10 Efecto de la presión vacuométrica (p1) sobre el color (L*) de manzana deshidratada por aire forzado 30
Figura 11 Efecto del tiempo de restauración de la presión (t2) sobre el color (L*) de manzana deshidratada por aire forzado..... 31
Figura 12 Variación de la presión vacuométrica durante el tiempo de restauración de la presión (t2) 32
Figura 13 Efecto de la variedad de miel utilizada en la impregnación sobre el color (∆E) de manzana deshidratada por aire forzado..... 34
Figura 14 Efecto de la intensidad de la radiación infrarroja y la distancia de la luz a la superficie sobre el color (L*) de manzana impregnada/deshidratada por infrarrojo 36
Figura 15 Efecto del tiempo de exposición bajo luz infrarroja sobre el color (L*) de manzana impregnada/pre deshidratada por radiación infrarroja..... 37
Figura 16 Carta de Pareto y superficie de respuesta estimada para las variables de proceso relevantes sobre la diferencia total de color (∆E) para manzana deshidratada por aire 40

Figura 17 Carta de Pareto y superficie de respuesta estimada para las variables de proceso relevantes sobre la fuerza máxima de cizalla (N) para manzana deshidratada por aire 41
Figura 18 Carta de Pareto y superficie de respuesta estimada para las variables de proceso relevantes sobre la diferencia total de color (∆E) para manzana deshidratada por infrarrojo y aire 44
Figura 19 Carta de Pareto y superficie de respuesta estimada para la variable de proceso relevante sobre la fuerza máxima de cizalla (N) para manzana deshidratada por infrarrojo y aire 45
Figura 20 Fotografía producto óptimo y control..... 46
Figura 21 Curva de fuerza-deformación para el producto óptimo y control..... 48

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Tabla para la obtención del valor de la prueba de almidón 57
ANEXO 2 Fotografías de variedades de miel utilizadas 58
ANEXO 3 Variación del color de manzana fresca sometida a impregnación por simple inmersión e impregnación a vacío 59
ANEXO 4 Variación del color de manzana fresca impregnada con miel de frambuesa (monofloral) y multifloral a vacío..... 60
ANEXO 5 Resultados del diseño experimental sobre manzana deshidratada por aire forzado 61
ANEXO 6 Resultados del diseño experimental sobre manzana deshidratada por infrarrojo y aire forzado 62
ANEXO 7 Curva Fuerza-Deformación típica de hojuelas altamente impregnadas (gráfica punto central del diseño para secado por aire forzado) 63
ANEXO 8 Gráfica del efecto de la actividad de agua sobre la velocidad de reacciones típicas de deterioro en alimentos 64

RESUMEN

La conservación de los parámetros de calidad de frutas deshidratadas es de amplio interés, siendo el color uno de los más importantes. Este estudio, tuvo por finalidad evaluar la aplicación de la impregnación a vacío (VI), como pre-tratamiento en rodajas de manzana (*Malus sylvestris*) destinadas a deshidratación.

Se aplicó la técnica de impregnación a vacío de rodajas de manzana, previamente caracterizadas fisicoquímicamente; usando soluciones isotónicas de mieles de distinto origen: Hierba azul, Quillay y Bosque; las que fueron tipificadas por color, humedad, conductividad eléctrica y pH; y sometidas a análisis de contenido de cenizas, capacidad antioxidante (mediante el método FRAP) y polifenoles totales.

Se evaluó el efecto de la capacidad antioxidante (A) de la miel, presión de vacío (p1) y tiempo de restauración de la presión (t2) sobre el color y la textura de hojuelas de manzana obtenidas por una combinación de VI y secado por aire forzado; y VI y secado por infrarrojo-aire. Mediante pruebas preliminares se fijó la concentración del medio de impregnación, tiempo de impregnación (t1) y condiciones de secado para obtener un producto con un 9% de humedad (b.h.).

En cada diseño se evaluó el efecto de p1 entre 20 y 27 “Hg vac., variedad de miel utilizada referida a su capacidad antioxidante entre 1,39 y 2,31 µmoles Eq Fe^{2+}/gr y t2 entre 1 y 4 minutos; usando un diseño factorial 2^3. Como variables de respuesta se evaluó el cambio de color de la superficie de la hojuela (ΔE), utilizando un producto sin impregnar como control, y la fuerza máxima de ruptura.

La superficie de respuesta estimada sobre el producto deshidratado sólo por aire forzado para ΔE (R^2=85,05) y fuerza máxima (R^2=92,7%) arrojó el óptimo; a una presión de 20”Hg de vacío, 1 minuto de t2 y 2,31 µmoles Eq Fe^{2+}/gr de capacidad antioxidante de miel; obteniéndose un ΔE experimental y teórico de 21,39 y 22,9; respectivamente, y de fuerza máxima (crocancia) de 16,42 y 14,1 N; respectivamente. Un análisis de polifenoles totales para el producto óptimo y control (P=0,018); llevó a concluir que la VI de miel tiene un efecto protector antioxidativo en la superficie de hojuelas de manzana; por lo que puede ser potencialmente aplicada como pre-tratamiento, con el fin de obtener un producto funcional y sensorialmente mejorado.

SUMMARY

Studying the vacuum impregnation of honey and its effects on the quality attributes apples chips (var. Granny Smith)

The preservation of the quality parameters of dehydrated fruits is of great concern, being color one of the most important. The aim of this work was to study the application of honey vacuum impregnation (VI), as a pretreatment in slices of apple (*Malus sylvestris*) for dehydration.

Vacuum impregnation was applied to slices of apples, previously physicochemically characterized, using honey isotonic solutions from three different floral sources: *Azul*, *Quillay* and *Bosque*; characterized by color, moisture, pH and electrical conductivity; and then was determined their ash content, antioxidant capacity (assessed by the method FRAP) and total polyphenols content.

The effect of antioxidant capacity of honey (A), vacuum pressure (p1) and pressure restoration time (t2) was evaluated on the color and texture of apple chips obtained by a combination of VI and air drying; and VI and infrared-air drying. Preliminary studies were carried out to determine the impregnation medium concentration, impregnation time (t1) and drying conditions to obtain a product with 9% humidity (b.d.).

In each design the effect of p1 was evaluated between 20 and 27”Hg of vacuum, honey antioxidant capacity between 1.39 y 2.31 µmoles Eq Fe^{2+}/gr and t2 between 1 to 4 minutes; using a 2^3 factorial design. As response variables was evaluated the change of color of the surface of the chips (ΔE), using a product without impregnating as control, and maximum breaking force.

The estimated surface response for apple dehydrated only by forced air, for ΔE (R^2=85.05) and maximum break force (R^2=92.7%) gave an optimum product, obtained at a vacuum pressure of 20"Hg, 1 minute of t2 and 2.31 µmol Eq Fe^{2+}/g of antioxidant capacity of honey, thereby obtaining an ΔE experimental and theoretical of 21.39 and 22.9, respectively; and an experimental and theoretical value of maximum force (crispiness) of 16.42 and 14.1 N, respectively. Total polyphenols content of the optimum and control products (P=0.018) led to conclude that VI of honey has a protective antioxidant effect on the surface of apple chips, so it can be potentially applied as a pre-treatment, in order to obtain a functional and sensory improved product.

1. INTRODUCCION

El consumo de frutas y vegetales ha ido en aumento en el mundo, especialmente en la mayoría de los países desarrollados; debido a su conveniencia, beneficios en la salud y frescura (Lin y col., 2006). En los últimos años, numerosas investigaciones establecen que las personas que consumen una dieta rica en frutas y vegetales, ricos en vitaminas y antioxidantes, tienen un menor riesgo de desarrollar enfermedades crónicas (Panagiotakos y col., 2006).

Por ello, se han estudiado distintos procedimientos para conservar los productos hortofrutícolas. Estos apuntan principalmente a retardar el crecimiento microbiano mediante la combinación de factores inhibitorios, tales como aplicación de temperatura, disminución del pH, actividad de agua e incorporación de agentes anti-microbianos (Monsalve-González y col., 1993).

La deshidratación es una de las técnicas más ampliamente utilizada para la conservación de alimentos. Consiste en la reducción de la actividad de agua mediante la disminución del contenido de humedad. Los objetivos de la deshidratación de frutas son varios, siendo el más importante aquel que posibilita el aumento de la vida útil (Sharma y col., 2005). Existen numerosos métodos para llevar a cabo esta técnica, tales como secado solar, aire caliente, microondas, infrarrojos, liofilización, atomización, deshidratación osmótica, entre otros; y la combinación de ellos (Vega y col., 2006).

La mantención de las características sensoriales del producto es un factor determinante durante la deshidratación de alimentos, puesto que durante el proceso se modifican sustancialmente algunas propiedades físicas del fruto. El manejo de la operación de secado y la aplicación de tratamientos previos al proceso, es fundamental para evitar el deterioro del producto y mantener color, aromas y textura (FAO, 1993).

El pardeamiento enzimático es una de las principales causas de deterioro en frutas frescas cortadas. El pardeamiento enzimático es causado por la oxidación enzimática de fenoles a quinonas por la acción de enzimas, generalmente polifenoloxidasas, en la presencia de oxígeno. Las quinonas, así generadas, se encuentran sujetas a futuras reacciones, conduciendo a la formación de pigmentos oscuros (Jeon y Zhao, 2005).

Para optimizar la calidad de este tipo de productos se pueden seleccionar pre-tratamientos que apunten a inhibir los principales cambios químicos que conducen al deterioro (Vega y col., 2006). Tradicionalmente, para preservar la calidad de productos deshidratados se han desarrollado operaciones tales como el escaldado y la aplicación de compuestos químicos, entre los que se destacan el ácido ascórbico, ácido cítrico y sulfitos. Sin embargo, su aplicación está siendo limitada debido a su función a corto plazo, alto costo o preocupaciones potenciales para la salud (Jeon y Zhao, 2005). Esta situación impulsa a la agroindustria a aplicar nuevas técnicas y buscar nuevos agentes antipardeamiento (Espinoza y col., 2006).

Publicaciones recientes establecen que los alimentos que exhiben una microestructura altamente porosa, como frutas y vegetales, pueden ser impregnados con solutos, por medio de inmersión en soluciones isotónicas. En adición a lo anterior, la introducción de estos solutos deseados se puede llevar a cabo por una nueva técnica conocida como “Impregnación a vacío”. Por medio de la remoción de aire de los poros de frutas y la introducción de solutos específicos, la impregnación a vacío puede ayudar a prevenir el pardeamiento (Jeon y Zhao, 2005).

La miel ha sido investigada por su actividad antioxidante y aplicaciones potenciales como un agente antipardeamiento natural en alimentos. Chen y col. (2000) encontraron que la miel reduce el negativo efecto de la polifenoloxidasa en el pardeamiento de frutas y vegetales. Estudios realizados en distintos tipos de miel, atribuyen este efecto a su contenido de antioxidantes, el que varía dependiendo de la fuente vegetal y esta directamente relacionado con el color (Chen y col., 2000).

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 MANZANA

La manzana corresponde al grupo de frutas acuosas que se caracterizan por poseer entre un 80 y 90% de agua. El resto de los componentes de este tipo de frutas son principalmente glúcidos: azúcar invertido, sacarosa, almidón, pentosanos, celulosa, hemicelulosa, y pectina; una pequeña cantidad de materia nitrogenada: albúminas, globulinas y aminoácidos libres; y el extracto etéreo que comprende principalmente la

capa de cera que cubre la epidermis que evita la evaporación excesiva de agua por la superficie del fruto. Además de estos componentes hay ácidos orgánicos: cítrico, málico, tartárico, y sus sales; y compuestos polifenólicos como el ácido clorogénico, taninos y sorbital. La importancia nutritiva de estas frutas reside en su contenido de vitaminas, minerales y sustancias aromáticas (Maffei, 1986).

Para la elaboración de los distintos productos industriales de la manzana se requieren, en general, características particulares de la materia prima en lo que refiere a estado sanitario, forma, tamaño y composición química (Maffei, 1986).

La Tabla 1 muestra los parámetros fisicoquímicos típicos de manzana variedad Granny Smith.

	Granny Smith
Sólidos Totales	12 – 14
Humedad	84 – 86
Acidez	0,5 – 0,6
Grados Brix	11 – 12
Relación SS/acidez	22 – 23
Firmeza (lb/pulg^2)	12 – 13

Tabla 1: Parámetros fisicoquímicos de manzana variedad Granny Smith. Análisis efectuados después de dos meses de mantenerse la fruta en frigorífico. Fuente: Maffei, 1986.

1.1.1.1 ESTACIONALIDAD

Las principales variedades de manzanas utilizadas en la industria deshidratadora nacional son Granny Smith, Fuji y Red Delicious (Briceño, 2007).

La disponibilidad de manzana para la industria deshidratadora se da en un amplio período a lo largo del año, debido a su almacenamiento en cámaras frigoríficas. En este sentido, la manzana variedad Granny Smith ha mostrado ser la más estable, debido a que puede ser almacenada en frigorífico por más tiempo que las otras variedades. La siguiente Figura muestra el período de disponibilidad de variedades

típicas de manzana para deshidratación; en que la variedad Granny Smith es utilizada en mayo hasta finales de noviembre, en un año normal (Briceño, 2007).

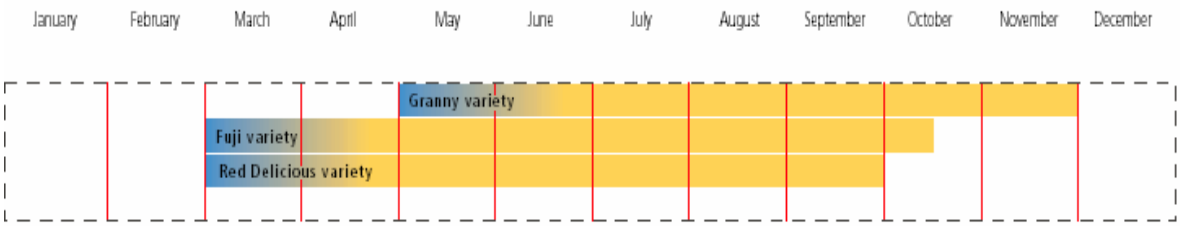


Figura 1: Producción nacional de manzana deshidratada por mes. Fuente: SURFRUT, 2007.

1.1.2 LA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS

Un alimento deshidratado, es aquel al que se le extrae parcial o totalmente el agua que contiene. Para conseguir esto, se produce un fenómeno de transferencia de masa y de calor. La transferencia de calor debe ser tal que se alcance el calor latente de evaporación, logrando que el vapor de agua atraviese el alimento y lo abandone (Vega y col., 2006).

La deshidratación de sólidos ocurre debido al mecanismo de difusión. En ausencia de reacción química, la ley de Fick describe adecuadamente el comportamiento de sólidos deshidratados en estado no estacionario. El comportamiento particular del sólido durante la deshidratación depende de muchos factores, tales como la superficie expuesta, la densidad de carga y la porosidad, entre otros (Vega y col., 2007).

El secado o deshidratación de alimentos se usa principalmente como técnica de preservación, ya que inhibe el desarrollo de microorganismos que provocan descomposición, además es un método de inactivación enzimática. El éxito de este procedimiento radica en que, además de proporcionar estabilidad microbiológica, debido a la reducción de la actividad de agua, y fisicoquímica; aporta ventajas en la industria tales como la reducción de peso y volumen; lo que facilita el transporte, manipulación y reduce los costos por concepto de almacenamiento del producto. Otro efecto importante, es la posibilidad de trabajar con alimentos que naturalmente son perecibles, sin necesidad de refrigeración (Vega y col., 2006).

El método que se utilice para secar, dependerá de la naturaleza del alimento y del producto que se quiere obtener. Los métodos más conocidos son: secado al sol, secado spray, secado convencional en bandejas, deshidratación a vacío, liofilización y deshidratación osmótica (Vega y col., 2007). En la actualidad, la deshidratación convencional sigue siendo una de las formas de conservación de alimentos más utilizada a nivel industrial (Vega y col., 2006).

Recientemente se ha desarrollado una nueva técnica de secado en productos agrícolas, llamada deshidratación infrarroja. La radiación infrarroja está siendo utilizada satisfactoriamente en la industria del secado de papel, tejidos y pinturas; sin embargo, su aplicación a la deshidratación de alimentos es todavía limitada. Se trata de una tecnología con un gran potencial debido a las grandes ventajas que ofrece por sobre el secado tradicional, como la reducción de los tiempos de proceso y su influencia en la calidad del producto (Iguaz, 2001). Esta tecnología ofrece beneficios para la industria procesadora, principalmente en relación a la eficiencia energética (Gabel y col., 2006).

1.1.2.1 IMPORTANCIA ECONÓMICA

El mercado mundial de alimentos deshidratados ha mostrado un crecimiento continuo, a pesar del surgimiento y desarrollo de nuevos productos con tecnologías emergentes no tradicionales, generalmente ligados a la innovación y a su mayor valor agregado (Vega y col., 2006). El mercado de los productos deshidratados es muy importante en Europa, Asia y Estados Unidos, donde los volúmenes de producción son muy elevados (Figura 2).

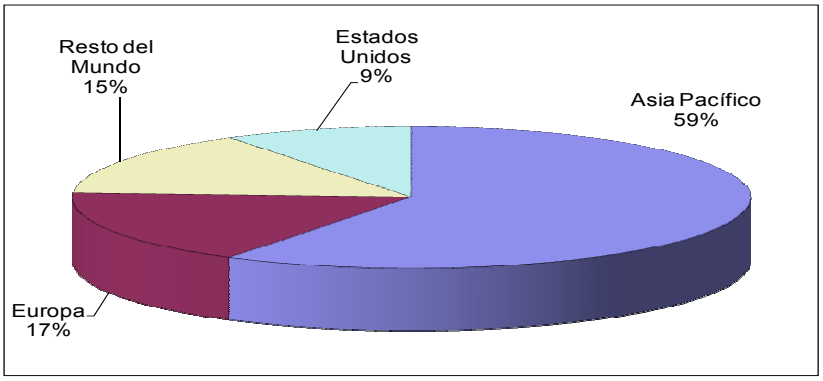


Figura 2: Mercado mundial de deshidratados. Fuente: Vega y col., 2006.

Para la economía chilena, el sector de los alimentos deshidratados es muy importante, ya que según el estudio de síntesis de exportaciones de Chilealimentos, los productos deshidratados presentan una variación positiva bastante significativa (62%) entre los años 2003-2005; pasando de un total de US$ 196.839 millones en 2003 a US$ 319.091 millones en 2005. Por otra parte, con la apertura de nuevos tratados de libre comercio, la exportación de productos deshidratados tiene una ventaja comparativa considerable al tener una desgravación arancelaria, siendo el producto estrella el pimentón rojo deshidratado (Vega y col., 2006). En las exportaciones de frutas deshidratadas lideran las pasas y ciruelas secas, con montos en 2005 de US$ 81,2 y US$ 79,6 millones, respectivamente. Las siguen las manzanas deshidratadas, con US$ 20,7 millones, y la rosa mosqueta, que en sus diversos estados (secas, cascarillas, molidas) acumula US$ 16,5 millones (ODEPA, 2006).

1.1.2.2 EL PROCESO DE DESHIDRATACION

Dentro del proceso productivo de manzana deshidratada a nivel industrial, se distinguen etapas comunes de recepción, lavado y preparación de la materia prima, inactivación enzimática, secado, envasado y almacenamiento. En la Figura 3 se observa un diagrama general tradicional del proceso.

La capacidad de cada planta deshidratadora es determinante en la maquinaria utilizada. Generalmente el lavado de la fruta se realiza inmediatamente después de la etapa de recepción, aunque puede haber más de un lavado en todo el proceso.

De particular importancia en este estudio, se distingue la aplicación de tecnologías para la inactivación de enzimas (Figura 3), como etapa fundamental de pre-tratamiento para el secado. Consiste en una etapa de estabilización del color y generalmente corresponde a una operación de escaldado, sulfitado o inmersión en otros compuestos (ácido ascórbico, cítrico, etc.) inhibidores de las reacciones de deterioro. Esta etapa involucra toda operación que frene las reacciones de pardeamiento enzimático, antes de la entrada al secador.

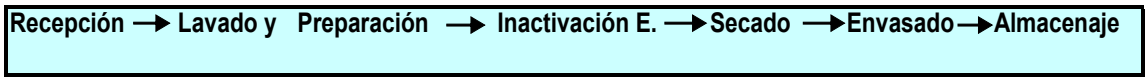


Figura 3: Esquema general de producción de manzana deshidratada. Fuente: Elaboración propia. Base a: SURFRUT, 2007.

1.1.2.3 ATRIBUTOS DE CALIDAD DE FRUTAS DESHIDRATADAS

El secado es un proceso de transferencia de masa y calor que puede causar cambios físicos y químicos en el material. Entre los cambios físicos están el encogimiento, endurecimiento y la termoplasticidad; provocando cambios en la forma del producto. Los cambios químicos influyen en lo referente al color, sabor y viscosidad, principalmente. Además, puede ocurrir la degradación de nutrientes, como vitaminas y antioxidantes (Mayor y col*.,* 2005).

Los factores más importantes de la pérdida de calidad de frutas durante la deshidratación son el encogimiento, pérdida de vitaminas solubles (vitamina C mayoritariamente), oscurecimiento y retención de aromas (Timoumi y col., 2007).

El color es uno de los parámetros de calidad más importante en productos deshidratados. Los cambios en el color se deben a la concentración de pigmentos o degradación de los mismos (Mayor y col*.,* 2005). Adicionalmente, reacciones de pardeamiento inducen cambios en la coloración de estos productos. En productos sometidos a altas temperaturas se puede producir la reacción de pardeamiento de Maillard y degradación del acido ascórbico. En el caso de la deshidratación de frutas, el pardeamiento enzimático es una de las principales causas de deterioro del color (Bolin y Steele, 1987).

1.1.3 REACCIÓN DE PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

El pardeamiento enzimático es un conjunto complejo de reacciones, cuyo inicio es catalizado enzimáticamente. La polifenoloxidasa, tiene dos actividades enzimáticas, una hidroxilando monofenoles (“cresolasa”) a difenol y otra oxidando difenoles a quinonas (“catecolasa”) (Calvo, 2006).

La característica estructural más importante de esta enzima es la presencia, en su centro activo, de dos átomos de cobre, unidos cada uno de ellos a tres histidinas.

En su entorno se sitúan una serie de aminoácidos hidrofóbicos, con anillos aromáticos, para la unión de los sustratos, por lo que también son importantes en su actividad, (Calvo, 2006).

Las quinonas se pueden convertir en trifenoles por reacción con el agua, y posteriormente oxidarse a hidroxiquinonas. Todas estas sustancias son muy reactivas, dando lugar a polímeros y reaccionando con otras sustancias presentes en el alimento, especialmente proteínas. Los productos finales, llamados melaninas, son de color oscuro e insolubles en agua (FAO, 2000).

En vegetales, el sustrato más extendido es el ácido clorogénico, en el que el grupo fenólico se encuentra unido a un resto de azúcar, y se encuentra en manzanas, peras, melocotones, ciruelas, uvas, aguacates y patatas; entre otros (FAO, 2000).

El control natural de la actividad de la polifenoloxidasa se produce fundamentalmente mediante la compartimentalización de los sustratos. La enzima se encuentra en los plastidios y cloroplastos (en los vegetales superiores), y también en el citoplasma celular; mientras que los compuestos fenólicos que pueden servir de sustratos se acumulan en vesículas. Cuando se rompe la compartimentalización por un daño mecánico, como el triturado, corte o congelación y descongelación, la reacción de pardeamiento se puede producir (Calvo, 2006).

La reacción de pardeamiento se puede frenar actuando sobre diferentes factores: remoción del oxígeno, aplicando calor, reduciendo el pH o incorporando agentes reductores o quelantes. Los reductores pueden actuar de varias formas, entre ellas revertiendo la reacción de quinonas a fenoles. También pueden actuar directamente sobre el centro activo del la enzima, reduciendo el Cu^{+2} a Cu^{+1} que se disocia más fácilmente (Calvo, 2006).

1.1.4 LA IMPREGNACIÓN A VACÍO

1.1.4.1 PRINCIPIOS DE LA IMPREGNACIÓN A VACÍO

La impregnación a vacío (VI) de un producto poroso, consiste en el intercambio del gas interno y/o líquido ocluido en los poros abiertos por una fase líquida externa,

debido a la acción de mecanismos hidrodinámicos (HDM) promovidos por cambios de presión (Fito y col., 2001[a]).

La operación es realizada en dos etapas después de la inmersión del producto en el estanque conteniendo la fase líquida. En el primer paso, se impone en un sistema cerrado una presión vacuométrica (p1 ~ 50 – 100 mbar), por un corto tiempo (t1), promoviendo la expansión y salida de gas interno del producto. La salida de gas toma líquido nativo contenido en el poro del producto con él. En el segundo paso, se recupera la presión atmosférica (p2) por un tiempo (t2) y la compresión lleva a una gran reducción de volumen del gas restante en los poros y el consecuente flujo del líquido externo en la estructura porosa. La compresión puede también reducir el tamaño de poro dependiendo de la resistencia mecánica de la matriz del sólido (Fito y col., 2001[a]).

El mecanismo hidrodinámico (HDM), es el responsable de la incorporación de líquido externo durante la VI de alimentos porosos. Basándose en una estructura porosa, Fito y Pastor (1994) explicaron fenomenológicamente el mecanismo hidrodinámico. Según estos autores, cuando el producto se sumerge en un líquido y se somete a presiones sub-atmosféricas, el gas ocluido en sus poros, sufre una expansión para equilibrarse con la presión impuesta al sistema, lo que implica por una parte, un nivel de desgasificación de la estructura porosa del alimento, en función de la presión aplicada; y por otra, una penetración del líquido mediante la acción de fuerzas capilares una vez alcanzado el equilibrio de presiones en el sistema. Posteriormente, cuando se restaura la presión atmosférica, se crea un nuevo gradiente de presiones que actúa como fuerza impulsora para el ingreso del líquido en los espacios intercelulares o poros del producto. La Figura 4 muestra esquemáticamente el fenómeno de VI.

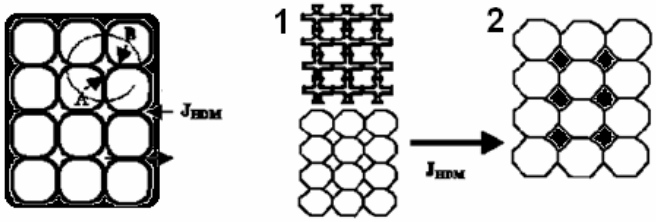


Figura 4: Mecanismo hidrodinámico (HDM) durante tratamientos de vacío en sólidos porosos. (Elaboración propia a partir del HDM de deshidratación osmótica de Fito y Pastor, 1994).

A la izquierda de la Figura 4 se muestra el sistema inicial. La etapa de vacío se aprecia en **1**, período donde ocurre la salida del aire. La etapa de restauración de la presión atmosférica se muestra en **2**, en donde, por efecto de la compresión, ingresa el líquido del medio en el espacio desgasificado.

La cantidad de líquido impregnado en la estructura, dependerá del nivel de desgasificación, y por lo tanto, de la presión de trabajo. Además de variaciones en la composición, los cambios de presión producen cambios microestructurales importantes. Debido al carácter viscoelástico de los alimentos, se ha llegado a la conclusión de que el HDM puede tener lugar acoplado a fenómenos de deformación-relajación (DRF) de la matriz sólida del alimento poroso. La acción del HDM y DRP se ve muy afectada por la microestructura del alimento y sus propiedades mecánicas, pudiendo a su vez ambos fenómenos provocar importantes cambios en las propiedades físicas del producto (Fito y Pastor, 1994).

1.1.4.2 APLICACIÓNES DE LA IMPREGNACIÓN A VACÍO

La VI es una técnica que ha sido diseñada a fin de mantener las características del producto fresco, razón por la que se hace uso de una solución isotónica (Santacruz-Vázquez y col., 2005).

Alimentos estructurados tales como frutas y vegetales, tienen una gran cantidad de poros (espacios intercelulares), los cuales son ocupados total o parcialmente por gas o líquido nativo. Esto les da la posibilidad de ser impregnados por una solución determinada y de este modo modificar la composición por la adición de solutos específicos seleccionados: incorporación de ácidos, preservantes, azúcares u otros depresores de la actividad de agua, nutrientes especiales, etc. En este sentido, la impregnación a vacío puede ser considerada como una herramienta en el desarrollo de productos vegetales o frutícolas sin destruir su estructura celular mientras convenientemente se modifica su composición original (Chiralt y col., 1999).

El concepto de fortificación vía VI es relativamente nuevo. Es posible incorporar nutracéuticos dentro de frutas altamente porosas por medio de VI, y de esta forma desarrollar productos funcionales fortificados. Recientemente se han reportado

estudios acerca de la viabilidad de la VI en el desarrollo de frutas frescas fortificadas con calcio, zinc u otros minerales (Xie y Zhao, 2003).

La VI ha sido también utilizada como un pre-tratamiento para enlatado, congelado o secado; para mejorar la calidad del producto final (Xie y Zhao, 2003). El uso de esta técnica puede prevenir el pardeamiento de frutas y vegetales; no sólo por el hecho de incorporar solutos específicos inhibitorios de la reacción (por ejemplo antioxidantes); sino que también por el proceso de remoción de aire de los poros llevado a cabo en la primera etapa. Con la remoción del oxígeno del aire retenido en los poros, se evita el desarrollo de las reacciones oxidativas de deterioro típicas en frutas (Lin y col., 2006).

1.1.5 PROPIEDADES DE LA MIEL PARA USO TECNOLÓGICO

La miel es un producto biológico cuya compleja composición varía en función de la flora de origen, la zona geográfica de procedencia, las condiciones climatológicas y el envejecimiento. Corresponde a una solución concentrada de azúcares con predominancia de fructosa y glucosa (70%), sacarosa (5%); y contiene como máximo 18% de humedad. El resto de los componentes de la miel se reparte en mínimas cantidades de proteínas, enzimas, sales minerales, vitaminas, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, inhibinas y polen (González y col., 2000).

El uso de la miel se extiende más allá de un simple agente endulzante, debido a que sus componentes le confieren propiedades preservantes, algunos de ellos como tocoferoles, ácido ascórbico, flavonoides y otros compuestos fenólicos, enzimas tales como glucosa oxidasa, catalasa y peroxidasa. La mayoría de estas sustancias deben su propiedad conservante a su actividad antioxidante (Chen y col., 2000).

Jeon y Zhao (2005) sugieren que el emergente uso de miel como aditivo radica en su actividad antioxidante y su bajo pH. Chen y col. (2000) encontraron que la miel reduce el efecto negativo de la reacción de pardeamiento catalizada por la enzima polifenoloxidasa en frutas y vegetales, debido a su contenido de antioxidantes, el que varía dependiendo de la fuente floral y está estrechamente correlacionado con parámetros fisicoquímicos de interés, siendo el color uno de los más importantes.

2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

2.1 HIPOTESIS

Los atributos de calidad de hojuelas de manzana deshidratada pueden ser adecuadamente preservados mediante la aplicación de pre tratamientos basados en la impregnación de miel a vacío; los cuales apuntan, principalmente, a inhibir las reacciones de pardeamiento enzimático.

2.2 OBJETIVOS

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la impregnación de solutos de miel a vacío en rodajas de manzana fresca (*Malus sylvestris*) variedad Granny Smith, con el fin de preservar distintos atributos de calidad en el producto deshidratado.

2.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar el efecto de la impregnación a vacío de miel en el color de hojuelas de manzana (*var.* Granny Smith), como forma de inferir en el pardeamiento enzimático oxidativo de la fruta deshidratada.

- Determinar las condiciones óptimas de la impregnación a vacío de la fruta como pre-tratamiento para la aplicación de un posterior proceso de secado.

- Determinar el efecto de la fuente floral de la miel utilizada en la impregnación, referido principalmente a sus constituyentes inhibitorios de las reacciones de pardeamiento oxidativo.

- Aplicar el proceso propuesto en manzana deshidratada con aire y mediante luz infrarroja; en base al color y textura del producto final.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIA PRIMA

3.1.1 Manzana

Para el estudio se utilizaron manzanas *(Malus sylvestris)* de la variedad Granny Smith, proporcionadas por un productor de la localidad de Molina, VII Región, Chile.

Las manzanas se cosecharon el 8 de Mayo de 2007 y fueron almacenadas en cámara frigorífica del proveedor hasta su transporte al laboratorio, donde se refrigeraron a 0 ºC hasta su uso.

3.1.2 Miel

Se trabajó con tres variedades de miel de abeja *(Apis melífera)*, clasificadas de acuerdo a la fuente floral por el productor. Las tres variedades de miel fueron proporcionadas por la Sociedad Comercial Apícola Martínez y Compañía Limitada de Curicó, y corresponden a las denominaciones de: Miel de Hierba Azul, Miel de Quillay y Miel de Bosque o Nativa Multifloral.

Recibidas las mieles se mantuvieron a temperatura ambiente y 60% de humedad relativa.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Caracterización de la materia prima

Los siguientes análisis se efectuaron en el Laboratorio de Procesos de Alimentos del Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile.

3.2.1a <u>Sólidos solubles</u>: Los sólidos solubles de la manzana fueron medidos usando un refractómetro marca ATAGO, modelo HSR-500 (Japón), expresando el resultado en ºBrix.

3.2.1b <u>Firmeza</u>: La madurez de la manzana se determinó usando como parámetro la firmeza del fruto. La determinación se llevó a cabo utilizando un penetrómetro Fruit – Tester, equipado con puntal de 11 milímetros. El valor se obtiene en unidades de presión ($lb/pulg^2$).

3.2.1c <u>Prueba de almidón</u>: Se realizó la prueba cualitativa del almidón, preparando una solución Lugol al 1% de I_2 y 2% de KI. Las manzanas fueron cortadas por la mitad horizontalmente y sumergidas en la solución por 3 minutos. Como modelo de comparación de la coloración de la superficie expuesta a la solución, se usó la Figura 13 informada en el "Manual para la preparación de ventas de frutas y hortalizas" (FAO, 2003) (Anexo 1).

3.2.1d <u>Humedad</u>: Para su determinación se recurrió al método termogravimétrico descrito por la A.O.A.C (1995), basado en el secado hasta peso constante en una estufa a 105ºC y presión atmosférica. Se utilizó una estufa (TU60/60, W.C. Heraeus GMBH Hanau, Germany). La pérdida de peso se controló en una balanza analítica (ADAM AFA–120LC).

3.2.1e <u>Sólidos totales</u>: Se calculó por diferencia del peso de la muestra y la humedad obtenida en el punto 3.2.1d.

3.2.1f <u>Acidez titulable</u>: Se determinó por titulación del jugo de manzana filtrado con hidróxido de sodio 0,1 N, usando fenolftaleína como indicador; de acuerdo al método descrito por la A.O.A.C (1995) para frutas, expresando el resultado en % ácido málico.

3.2.1g <u>pH</u>: Se midió de acuerdo al método oficial de la A.O.A.C (1995), usando un potenciómetro Microprocessor pHmeter, marca WTW modelo Ph 537 equipado con un electrodo combinado de Ag/AgCl Sentix.

3.2.1h <u>Relación sólidos solubles/acidez</u>: Estableciendo el cuociente de los sólidos solubles (3.2.1a) sobre el valor obtenido de acidez titulable (3.2.1f).

3.2.2 Tipificación de variedades de miel

Los análisis de tipificación de las variedades de miel se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la Sociedad Comercial Apícola Martínez y Compañía Limitada. Corresponden a los análisis básicos que definen los mercados destino.

3.2.2a Color: La medición del color se realizó con un colorímetro marca HANNA, modelo C221 (Honey Color Analizer). La cubeta fue calibrada con glicerol (mínimo 98% HANNA). El color fue medido en la escala Pfund, en milímetros.

3.2.2b Humedad: Para su determinación se utilizó un refractómetro especial para la lectura directa del porcentaje de agua en miel, con corrección incluida en el rango de 12% - 30%; marca ATAGO, modelo HHR – 2N (Japón).

3.2.2c Conductividad eléctrica: Para su determinación se preparó una solución de miel al 20% de materia seca a 20 ºC y se utilizó un conductivímetro/pHímetro marca HANNA, modelo HI2300. El valor se obtiene en $mS*cm^{-1}$.

3.2.2d pH: Para determinar el pH se utilizó un conductivímetro/pHímetro marca HANNA, modelo HI2300.

3.2.3 Análisis específicos en mieles

3.2.3a Capacidad antioxidante total: La actividad antioxidante de cada una de las mieles utilizadas, se determinó en el Laboratorio de Biología Molecular de la Pontificia Universidad Católica de Chile, usando el método FRAP, basado en la reducción del ión férrico atribuido a la capacidad antioxidante (Huang y col., 2005). El Fe^{+2} se une al reactivo TPTZ (98% mínimo, Sigma) y forma un compuesto coloreado que es posible cuantificar espectrofotométricamente a 593 nm, después de 4 minutos de incorporado el reactivo en buffer acetato.

3.2.3b Polifenoles totales: La cuantificación de los polifenoles totales se realizó utilizando el método del reactivo Folin-Cicoalteau. El resultado se expresa como mg equivalentes de ac. gálico/gr (Huang y col., 2005).

3.2.3c <u>Cenizas</u>: Se realizó utilizando el método oficial de la A.O.A.C (1995), basado en la determinación de cenizas totales (%) por calcinación de la materia orgánica a 550 ºC, en una mufla (MR170, W.C. Heraeus GMBH Hanau, Germany).

3.2.4 Procedimiento: Proceso productivo

El proceso productivo para la elaboración de manzanas (var. Granny Smith) deshidratadas se basa en la aplicación de tratamientos de impregnación a vacío, usando como medio de impregnación soluciones de miel, y secado con aire hasta 9% humedad (b.h). Se realizó una etapa preliminar para establecer algunas variables del proceso. La Figura 5 resume esquemáticamente esta etapa.

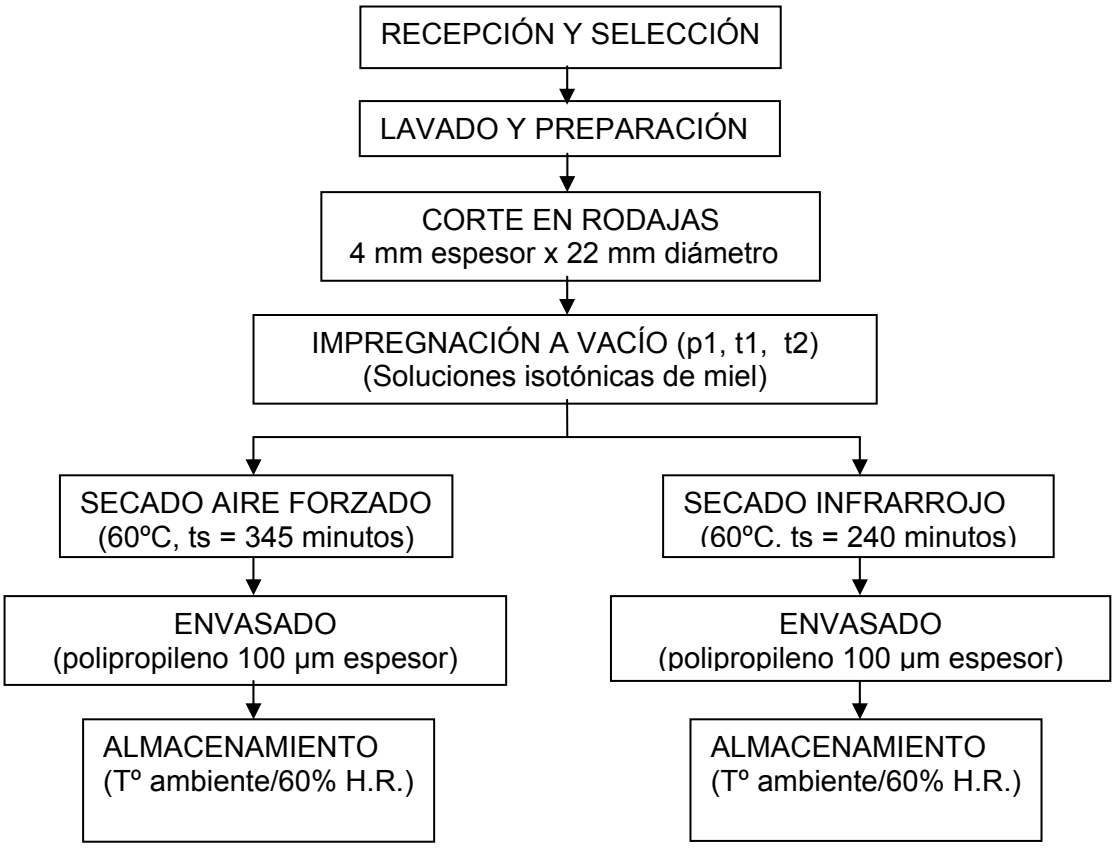


Figura 5: Diagrama de bloques para la etapa de estudio preliminar del proceso.

A continuación se describen las etapas del proceso:

Recepción y selección de manzanas: Las manzanas fueron seleccionadas con la finalidad de eliminar aquellas que presentaran algún daño visible (mecánico o quemadura por frío). Aparte de usar como criterio el estado de la fruta, se realizaron los ensayos de recepción de sólidos solubles, firmeza y almidón, detallados en el punto 3.2.1.

Lavado y preparación: Consistió en las operaciones de lavado, pelado y eliminación de las semillas. El lavado se llevó a cabo con agua limpia potable. El pelado se realizó de forma manual con cuchillas.

Corte en rodajas: Las muestras se prepararon en rodajas de 4 mm de espesor y 22 mm de diámetro. El corte de las rodajas se realizó usando una rebanadora eléctrica (MAS 6200, BOSCH) equipada con una cuchilla universal dentada de acero inoxidable y un sacabocado de bronce de 22 mm de diámetro interno.

Impregnación a vacío: La impregnación a vacío se llevó a cabo en un matraz de kitasato cerrado, en cuyo interior se colocaron, la solución isotónica de miel, con las rodajas de manzana inmersas; manteniendo una relación fruta:medio de 1:3 (Jeon y Zhao, 2005). El matraz se conectó a una bomba de vacío de anillo líquido (E7596, MO1672-01, Bertuzzi, Milano, Italy). El vacío fue regulado en la bomba y medido con un vacuómetro (Wika 63 mm PL) a través de un by-pass. La Figura 6 muestra el proceso de impregnación a vacío.

Figura 6: Proceso de impregnación a vacío de rodajas de manzanas en soluciones de miel.

A la derecha de la Figura 6 se observan las rodajas de manzana inmersas en la solución de miel. A la izquierda se observa el by-pass montado para conectar el vacuómetro, y la conexión correspondiente a la bomba.

Se realizaron tratamientos de impregnación a vacío variando la concentración de la solución en el rango isotónico, la presión vacuométrica (p1) de acuerdo a la capacidad de la bomba, los tiempos de impregnación (t1) y de recuperación de la presión (t2) y la variedad de miel usada en el medio impregnador.

Los tiempos del proceso fueron medidos con cronómetro (Citizen LSW9109).

Secado: Las manzanas impregnadas se secaron en una estufa de circulación de aire forzado (TU60/60, W.C. Heraeus GMBH Hanau, Germany) a 60 ºC. Las muestras secadas por aire definieron las condiciones de proceso para la etapa de optimización. En la selección de la temperatura de secado se consideró que la miel pierde algunas de sus propiedades al ser sometida a elevadas temperaturas.

Adicionalmente, se estudió el proceso de secado mediante luz infrarroja, usando una lámpara de 10 A - 250 W, marca OSRAM, en un sistema cerrado, sin circulación de aire; en donde se colocaron las manzanas impregnadas en una rejilla bajo la lámpara a una temperatura de 60 ºC, controlada con un termóstato (Veto, Chile).

Se realizaron procesos variando la intensidad de la luz y la distancia bajo la lámpara. La Figura 7 muestra el sistema montado.

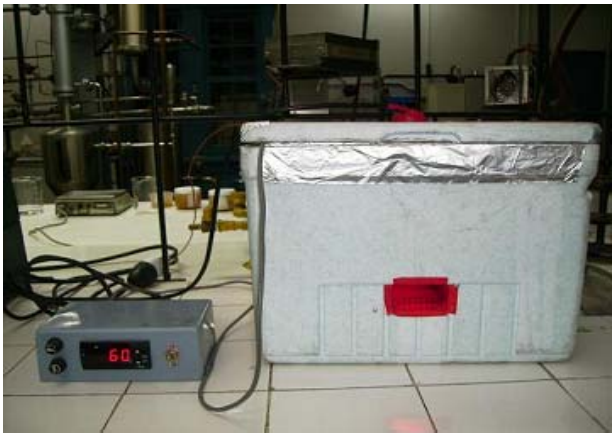


Figura 7: Sistema diseñado para deshidratación infrarroja.

El tiempo de secado (Ts) se definió de tal forma que las muestras llegaran a una humedad del 9% (b.h.). Se controló la pérdida de peso en una balanza analítica (ADAM AFA–120LC).

Envasado: Las hojuelas fueron envasadas en bolsas de polipropileno de baja densidad (100 µm de espesor) de 70 x 70 mm de 10 discos cada una. Posteriormente, fueron selladas en condiciones atmosféricas en una máquina selladora.

Almacenamiento: Las muestras fueron almacenadas por 30 días a temperatura ambiente y 60 % de humedad relativa, hasta su utilización.

Las muestras se sometieron a ensayos de color y textura para evaluar el efecto de los tratamientos de impregnación/deshidratación, sobre los parámetros de calidad del producto deshidratado.

3.2.5 Optimización de la calidad del producto final

Se desarrolló un diseño factorial 2^3, consistente en 8 corridas experimentales y 3 puntos centrales, en el que se evaluó el efecto de las condiciones de presión vacuométrica (p1), concentración de antioxidantes de la miel utilizada en la solución de impregnación y el tiempo de recuperación de la presión atmosférica (t2). Como variables de respuesta, se analizaron el color y textura. La optimización se llevó a cabo para la deshidratación del producto final mediante aire y luz infrarroja.

3.2.6 Análisis

3.2.6a Ensayo de color

La descripción del color de los discos de manzana deshidratada, se realizó en un sistema de captura y análisis de imágenes (SCAI) del Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos de la Pontificia Universidad Católica de Chile. El sistema está compuesto por un sistema de iluminación, una cámara digital y un software de análisis de imágenes. La imagen obtenida es procesada, y el color de la imagen en el sistema RGB es convertido a unidades CIELab, el cual está determinado por un espacio cromático en coordenadas rectangulares (L*, a*, b*); en el que L* corresponde a la luminosidad, y a* y b* a la cromaticidad. Concretamente, a* define el componente rojo-verde; rojo para valores positivos y verde para valores negativos. El parámetro b*

define el componente amarillo-azul; amarillo para valores positivos y azul para valores negativos.

Para comparar el color de las hojuelas impregnadas/deshidratadas contra un producto control (sin impregnar), los valores fueron expresados en función de la diferencia total de color utilizando la conversión informada por Calvo y Durán (1997). El cambio total de color se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta E \text{ (Diferencia total de color)} = ((L_0^*-L^*)^2 + (a_0^*-a^*)^2 + (b_0^*-b^*)^2)^{1/2} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

3.2.6b Determinación instrumental de textura

La textura se evaluó a través de ensayos de cizalla, utilizando una máquina universal de ensayo de materiales (Lloyd Instruments Limited, Lloyd LR- 5K. Hampshire, England), con una celda de 5 kN. Se utilizó un sensor de cuchilla triangular Wagner Braetzler, con una penetración de 17 mm y una velocidad del cabezal de 100 mm/ min sobre una muestra de manzana impregnada/deshidratada de 2,5 milímetros de espesor y 13 milímetros de diámetro, mantenida en bolsa de polipropileno de baja densidad en desecador (60% H.R) por 30 días. De los ensayos se recopila la información de la fuerza máxima de ruptura para evaluar el efecto de las condiciones de la VI evaluadas en el diseño experimental. Posteriormente, para definir el producto óptimo en relación a la textura adecuada, se estudia la crocancia del producto final.

3.2.6c Polifenoles totales

Se determinó el contenido de polifenoles totales del producto óptimo y del producto control para evaluar la posible inclusión de compuestos de interés nutricional mediante la impregnación de vacío. Se utilizó el método del reactivo Folin-Cicoalteau (Huang y col., 2005). El resultado se expresa como mg equivalentes de ac. gálico/gr.

3.2.6d Actividad de agua (a_w)

La determinación de la actividad de agua del producto impregnado/seco óptimo se realizó en el equipo Lufft (Aw – Wert –Messer, Durotherm, Germany) a 20°C. El valor informado es el promedio de 2 determinaciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de la materia prima

Los resultados de la caracterización de las manzanas usadas en las experiencias se muestran en la Tabla 2.

Sólidos solubles	12,00 ± 0,50*
Firmeza	12,17 ± 0,76*
Prueba de almidón	Máximo 5*
Sólidos totales	13,74 ± 0,14
Humedad	86,26 ± 0,14
Acidez titulable	0,50 ± 0,04
pH	3,78 ± 0,06
Relación sólidos solubles/acidez	23,96 ± 2,42

*Pruebas de recepción.
Tabla 2: Resultados de análisis de caracterización de manzana.

Los resultados de la Tabla 2, muestran que las manzanas usadas en la experiencia (var. Granny Smith) presentaron parámetros fisicoquímicos adecuados para deshidratación; en relación a los sólidos solubles, humedad, firmeza y acidez titulable; comparándolos con los resultados recomendados por Maffei (1986), indicados anteriormente en la Tabla 1. En este sentido, cabe mencionar que la fruta fue almacenada, a temperatura de refrigeración, por 2 meses aproximadamente. Este tiempo es un período promedio representativo de uso industrial en Chile (Maffei, 1986). Lo anterior es de importancia en el estudio, ya que, en la fruta ocurren cambios en el metabolismo a medida que transcurre la maduración, por lo que debería esperarse que estos cambios en la materia prima se vieran reflejados en mayor o en menor grado en la composición del producto elaborado. La maduración trae consigo una disminución en la firmeza de la pulpa, un aumento en los azúcares simples que dan dulzura al fruto, disminución de los ácidos orgánicos y compuestos fenólicos y un aumento en la emanación de sustancias volátiles (Eloniaga, 1985). Vergara (1994) caracterizó

manzanas cultivar Granny Smith obteniendo un rango más flexible de estos parámetros, considerando que esta variedad es una de las que se almacena por más tiempo en cámaras.

Para el proceso de deshidratación se prefieren variedades con alto contenido de ácidos y por ello menos proclives al pardeamiento. El cultivar Granny Smith contiene mayor cantidad de ácidos, que lo encontrado para otras variedades (Vergara, 1994). El pH promedio fue de 3,78 (Tabla 2); que es un valor entre el rango de 3,2 y 3,8; recomendado por Vergara (1994) para la variedad en estudio.

Es de importancia señalar que el parámetro de firmeza es otro factor determinante. El valor promedio de firmeza fue de 12,17 lb/pulg^2 (Tabla 2), encontrándose en el rango para fruta destinada a deshidratación, que varía entre 12 lb/pulg^2 a 13 lb/pulg^2 (Maffei, 1986). Este parámetro influye directamente en la viscosidad del producto debido al incremento de la pectina soluble y ablandamiento de la pulpa durante la maduración. Para el proceso de deshidratación se prefiere fruta de textura firme, sin embargo, esta exigencia es más estricta para la industria clarificadora de jugos (Vergara, 1994).

La relación sólidos solubles/acidez titulable es un parámetro que frecuentemente se utiliza para cuantificar el balance azúcar-ácido de la fruta, lo cual influye directamente en la calidad sensorial de la misma. El valor promedio obtenido fue de 23,93; mientras que el valor mayor recomendado por Maffei (1986) es de 23,00. Lo anterior se explica por una leve disminución de la acidez titulable.

La prueba de almidón arrojó un valor de 5 máximo (Tabla 2), lo cual es apto para los propósitos de este trabajo (Anexo 1). Además, cabe señalar que, pese a que esta prueba corresponde a un ensayo cualitativo, fue útil para definir el corte de la manzana, ya que se aprecia que hay zonas más susceptibles al pardeamiento (Anexo 1). Osorio (2003) deshidrató manzanas de la variedad Granny Smith por procesos combinados de deshidratación osmótica y liofilización, en que se eliminó el sector más cercano a las semillas con el fin de minimizar errores en índices de pardeamiento post-proceso.

4.2 Tipificación de variedades de miel

Los resultados de tipificación de variedades de miel se muestran en la Tabla 3.

	Color	Humedad	Conductividad	pH
Hierba Azul	33,00 ± 0,00[a]	18,00 ± 0,50[a]	0,29 ± 0,005[a]	3,38 ± 0,04[a]
Quillay	63,67 ± 0,58[b]	16,83 ± 0,58[b]	0,12 ± 0,003[b]	3,94 ± 0,04[b]
Bosque	95,33 ± 1,15[c]	15,80 ± 0,26[c]	1,01 ± 0,006[c]	3,88 ± 0,03[b]

a,b,c: superíndices distintos indican que existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ($P \leq 0,05$).

Tabla 3: Resultados de análisis de tipificación de variedades de miel.

De la Tabla 3 se puede observar que los tres tipos de miel utilizadas en el estudio se caracterizaron por tener diferencias relevantes en cuanto a color, humedad y conductividad ($P \leq 0,05$). De acuerdo al color, en la escala de milímetros de profundidad [mm pfund], las mieles se pueden clasificar en W de “White”, LA de “Light Ambar” y A de “Ambar”; para Hierba Azul, Quillay y Bosque; respectivamente (Martínez, 2007). En el Anexo 2 se muestran fotografías de las mieles usadas en las experiencias, en que se pueden observar las diferencias de color entre las variedades. Las mieles utilizadas arrojaron contenidos promedios de humedad (Tabla 3), característicos de las mieles chilenas, de acuerdo a Schmidt-Hebbel y col. (1992). Con respecto a los valores de conductividad mostrados en la Tabla 3, se puede apreciar que las mieles de Hierba Azul y Quillay arrojaron valores significativamente menores que la miel de Bosque. Lo anterior es de importancia ya que la conductividad eléctrica indica, en forma indirecta, el nivel de minerales, ácidos orgánicos y proteínas activas presentes en la miel (Vela y col., 2007). Riolobos (1996) sostiene que las mieles más oscuras tienen una mayor conductividad. De la Tabla 3 se obtiene que la miel de Bosque, con 95,33 mm pfund de color, tuvo una conductividad significativamente mayor que las otras mieles, de 1,01 mS/cm; contra 0,29 mS/cm y 0,12 mS/cm para Hierba Azul y Quillay, respectivamente; estas últimas con valores de color inferiores.

La acidez de la miel es atribuida a la presencia de ácidos orgánicos, particularmente el ácido glucónico, en equilibrio con sus lactonas o ésteres e iones

inorgánicos, tales como fosfatos y cloruros. La variación en la acidez de la miel y en el pH puede ser atribuida a la variación de estos constituyentes (Jeon y Zhao, 2005). A partir de la Tabla 3 se puede apreciar que los valores de pH no revelaron la existencia de diferencias significativas para la miel de Bosque y de Quillay, mientras que para la miel de Hierba Azul la diferencia con las demás es relevante ($P \leq 0,05$). El pH de la miel es muy variable y, al igual que los otros parámetros, depende estrechamente de la fuente floral. Generalmente, las mieles producidas a partir del néctar de las flores presentan valores de pH más bajos que las producidas a partir de la exudación de las plantas (Riolobos, 1996). Jeon y Zhao (2005) obtuvieron valores de pH entre 3,66 y 4,14; al trabajar con 13 variedades de miel norteamericanas. Una de ellas, multifloral de Bosque de la localidad de Portland (Estados Unidos), arrojó un valor de pH de 3,92, mientras que la miel de Bosque de Curicó (Chile) utilizada en este estudio, arrojó un valor similar, de 3,88.

La mayoría de los estudios sobre el efecto antipardeamiento de la miel en frutas y vegetales tratan, inicialmente, de relacionar estos parámetros fisicoquímicos de caracterización con la capacidad inhibitoria de los fenómenos de pardeamiento. Vela y col. (2007) caracterizaron 36 tipos de mieles de distintas fuentes florales de España, obteniendo una correlación entre pH y conductividad eléctrica, y el color de éstas; evaluado espectrofotométricamente. No obstante, al estudiar el efecto antipardeamiento de las distintas mieles en jugo clarificado de manzana, variedad Golden Delicious, obtuvieron una baja correlación de la capacidad antipardeamiento y la conductividad eléctrica, y no hubo correlación con el pH. Chen y col. (2000) establecen que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos presentan una estrecha relación con la capacidad antioxidante.

Vela y col. (2007), obtuvieron correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos de conductividad y pH con la actividad antioxidante, evaluada como la capacidad de estabilizar el radical libre 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH). Posteriormente, relacionaron esta actividad antioxidante con la capacidad antipardeamiento de las mieles en manzana trozada, obteniendo mejores correlaciones que las obtenidas en jugo clarificado. Por otro lado, Jeon y Zhao (2005) concluyeron que una eventual aplicación de miel como aditivo para inhibir el pardeamiento en frutas frescas cortadas, debe basarse en la selección de la variedad considerando el color, contenido fenólico y

capacidad antioxidante. Por ello, fue indispensable recurrir a análisis específicos para cuantificar los parámetros determinantes en el efecto antipardeamiento.

4.3 Análisis específicos en mieles

Los resultados de los análisis específicos de las variedades de miel se muestran en la Tabla 4.

	Capacidad antioxidante	Polifenoles totales	Cenizas
Hierba Azul	$1,81 \pm 0,06^{a}$	$0,314 \pm 0,00^{a}$	$0,25 \pm 0,04^{a}$
Quillay	$1,39 \pm 0,11^{b}$	$0,312 \pm 0,00^{b}$	$0,27 \pm 0,04^{ab}$
Bosque	$2,31 \pm 0,10^{c}$	$0,418 \pm 0,00^{c}$	$0,33 \pm 0,02^{b}$

a,b,c: superíndices distintos indican que existen diferencias significativas en un nivel de confianza del 95% ($P \leq 0,05$).

Tabla 4: Resultados de análisis de capacidad antioxidante, polifenoles totales y cenizas en mieles.

A partir de la Tabla 4 se deduce que existe una relación positiva entre la capacidad antioxidante y los compuestos polifenólicos totales (R^2= 0,8902). Lo anterior concuerda con los estudios realizados por Gheldof y col. (2002), quienes obtuvieron una marcada correlación (R^2= 0,963) entre la actividad antioxidante de mieles y el contenido fenólico total de las mismas. Por otro lado, Vela y col. (2007) obtuvieron una proporcionalidad directa entre la capacidad antioxidante y el contenido total de compuestos polifenólicos; por ello afirman que estos últimos son particularmente responsables de los efectos antioxidantes de la miel, aunque agregan que, lógicamente, hay otros factores involucrados.

Los resultados del contenido de antioxidantes totales y polifenoles (Tabla 4) de las mieles usadas en este estudio revelan que los compuestos polifenólicos aportan considerablemente al contenido total de antioxidantes; sin embargo, sugieren que probablemente no sean los únicos compuestos presentes con actividad antirradicalaria.

La miel contiene una gran cantidad de componentes activos, con capacidad antirradicalaria, en pequeñas concentraciones (Chen y col., 2000).

Los resultados de antioxidantes totales mostrados en la Tabla 4 versus los de color de la Tabla 3, muestran que la miel de Bosque tiene una mayor capacidad antioxidante y a su vez tiende a ser más oscura, hecho que concuerda con lo postulado por Chen y col. (2000). No obstante, se obtuvo una baja correlación entre capacidad antioxidante y color (R^2= 0,544), para las tres variedades en estudio. Frankel y col. (1998) obtuvieron buenas correlaciones entre el contenido de antioxidantes totales y el color; al trabajar con mieles monoflorales, con valores amplios y variados de color. Vela y col. (2007) no obtuvieron correlación entre la capacidad antioxidante y el color de la miel. Ellos atribuyeron esta falta de correlación al estrecho rango de color obtenido en sus mieles estudiadas, lo cual también puede ser la causa de la falta de correlación en este caso.

Baltrušaitytė y col. (2007) indicaron que el color de la miel depende del contenido de cenizas y pigmentos con actividad antioxidante, tales como carotenoides y flavonoides. La cantidad de estos componentes activos en las plantas, depende de varios factores, particularmente de la fisiología y fenotipo de la planta, y de las condiciones climáticas.

Con respecto al contenido de cenizas de las mieles en estudio, indicados en la Tabla 4, los resultados revelan que las mieles de Hierba azul y Bosque, tienen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$), mientras que la de Quillay no revela diferencias estadísticamente significativas contra cada una de las anteriores. La miel con el contenido más elevado de cenizas (Tabla 4) posee la mayor conductividad eléctrica (Tabla 3). Riolobos (1996) obtuvo resultados similares señalando que el contenido de cenizas esta directamente relacionado con la conductividad eléctrica.

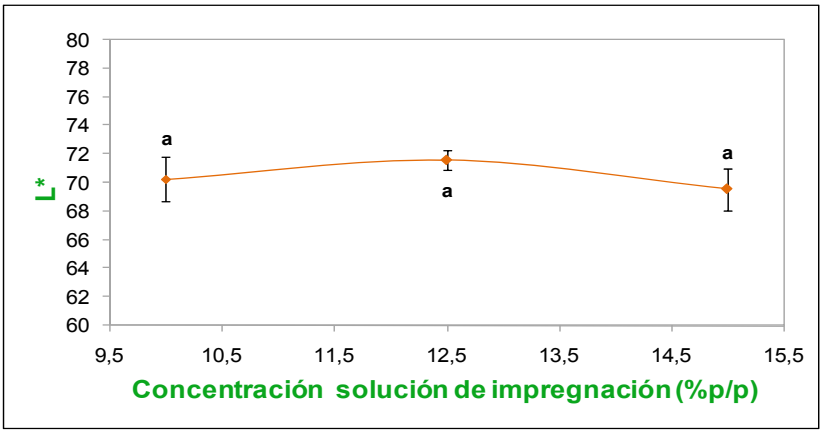
Por otro lado, los resultados de antioxidantes totales (Tabla 4) y conductividad eléctrica (Tabla 3) presentan una relación positiva (r^2 = 0,9575); similar a la encontrada por Vela y col. (2007), mencionada anteriormente.

4.4 Estudio del proceso productivo

4.4.1 Estudio de la impregnación a vacío de miel como pre tratamiento para elaborar hojuelas de manzana deshidratadas por aire forzado: A continuación, se presentan los resultados obtenidos al variar las condiciones de proceso de VI, sobre el color de la superficie de manzana deshidratada por aire forzado. A partir de este estudio preliminar se definieron los parámetros para la realización de los diseños experimentales (punto 4.5).

4.4.1.1 Efecto de la concentración de la solución de impregnación sobre el color

Los sólidos solubles de la manzana determinan el rango de concentración de la solución isotónica. Debido a que el contenido de sólidos solubles de las manzanas utilizadas fue de 12 ± 0,5 (Tabla 2); se estableció el rango de concentración entre 10 y 15% p/p. Se seleccionaron las condiciones de proceso p1, t1 y t2; en base a los estudios previos de Lin y col. (2006) para fortificación de peras por VI de miel. En la Figura 8 se observa el efecto de la concentración de la solución de impregnación sobre el color (L*) de hojuelas de manzana deshidratadas mediante aire forzado.



a: Letras iguales indican que no existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% (P>0,05).

Figura 8: Efecto de la concentración de la solución de impregnación sobre el color (L*) de hojuelas de manzana deshidratada por aire forzado, usando miel de quillay como solución de impregnación. p1= 100 mmHg, t1= 15 min. y t2=30 min.

La Figura 8 revela que la variación de la concentración de la solución de impregnación, en el rango de 10 a 15% p/p de miel, tiene efecto despreciable sobre el parámetro L* de la superficie de manzana deshidratada (P>0,05). Lo anterior sugiere que no se aprecien pequeñas diferencias de concentración de los componentes impregnados en el producto final. En los procesos de VI para fortificación de alimentos, la variación de la concentración de un determinado componente en la solución de impregnación es relevante en matrices porosas y puede ser estimada considerando el nivel del componente deseado en el producto final (Fito y col., 2001[a]).

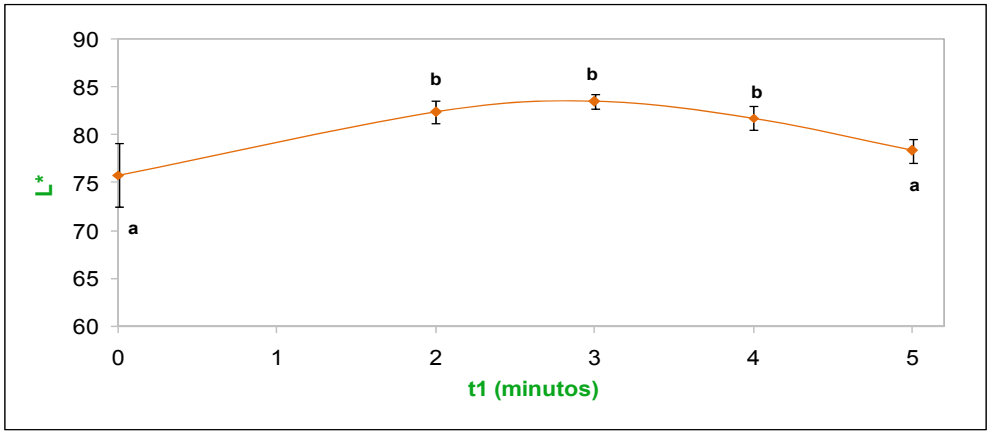
El efecto despreciable de la variación de la concentración en el color de la superficie de hojuelas de manzana deshidratada, mostrado en la Figura 8, puede deberse al estrecho rango de concentraciones usado. Además, cabe señalar que la concentración tiene efecto relevante en la impregnación de solutos, cuando se trata de procesos con concentraciones de medio elevadas, como en el caso de la deshidratación osmótica a vacío. Welti-Chanes y col. (2003[a]) trabajaron con distintas frutas variando la concentración de sucrosa, entre 41 y 60 ºBrix, obteniendo un efecto significativo de este parámetro en rodajas de manzana, bajo variadas condiciones de impregnación.

Es importante señalar que, en este estudio, el parámetro L* fue el que mejor describió el efecto de la VI de miel sobre el color, como forma de evaluar el pardeamiento enzimático. Experiencias previas de VI de miel en frutas (Lin y col., 2006; Jeon y Zhao, 2005) describen el fenómeno de pardeamiento usando L* y ΔL*. Los parámetros a* y b* son más usados para indicar el grado de pardeamiento no enzimático, enzimático y otros productos de reacción que causan coloración (Gabel y col., 2006). En este caso, se tiene cambios de color por concepto de pardeamiento enzimático ya que el producto no fue expuesto a altas temperaturas.

4.4.1.2 Efecto del tiempo de vacío (t1) sobre el color

Para estudiar el efecto de t1 sobre el color de hojuelas de manzana, se trabajó con una solución de impregnación a base de miel de quillay al 10% (p/p), ya que en el punto anterior se vio la independencia del parámetro L* en relación a la concentración

de la solución isotónica. En la siguiente Figura 9 se observa la gráfica del parámetro L* en función del tiempo de aplicación de vacío (t1).



a,b: letras distintas indican que existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% (P≤0,05).

Figura 9: Efecto del tiempo de vacío (t1) sobre el color (L*) de manzana deshidratada por aire forzado. c1= 10% p/p miel de quillay, p1 = 100 mmHg y t2 = 15 minutos.

De la Figura 9 se desprende que la variación del tiempo de vacío en el proceso de impregnación (t1) tiene un efecto significativo sobre el color de la superficie de hojuelas de manzana deshidratada (P≤0,05).

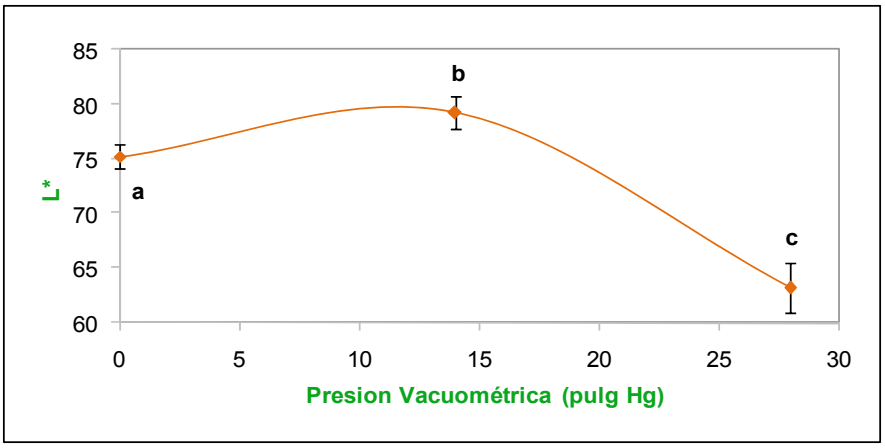
Comparando los valores obtenidos en la gráfica a distintos tiempos, se observa que a t1=0 minutos y t1= 5 minutos se obtienen los valores más bajos de L* y no se obtuvo diferencias significativas entre ambos en un nivel de confianza del 95 %. Por otro lado, tiempos de impregnación intermedios producen hojuelas con mayores valores de L*, sin la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Estos resultados sugieren que la impregnación de miel a vacío como pre tratamiento inhibe el pardeamiento enzimático en la superficie de hojuelas de manzana deshidratadas. Además, la Figura 9 muestra que, si bien la impregnación a vacío de miel favorece la conservación del color natural del producto, un excesivo tiempo de impregnación, bajo las condiciones de trabajo mencionadas, produce una impregnación excesiva de miel, manifestado en el descenso de L* a los 5 minutos de t1. Welti-Chanes y col. (2003[b]) reportaron que la aplicación de tiempos de VI cortos, usando soluciones isotónicas, producen una máxima ocupación de los espacios vacíos

del tejido vegetal en manzanas y peras; en comparación con melocotones, papayas y melones. Esto se debe a la porosidad del tejido en estudio, la cual se relaciona con el volumen utilizado por los espacios intercelulares y el volumen total.

4.4.1.3 Efecto de la presión vacuométrica (p1) aplicada en la VI sobre el color

El efecto de p1 sobre el color de hojuelas de manzana, se evaluó aplicando pre tratamientos de VI a tres presiones vacuométricas. El primero sin vacío o simple inmersión (0 pulg Hg vacuométricas), el segundo con el mínimo vacío suministrado por la bomba (14 pulg Hg vacuométricas), y el ultimo con máximo vacío (28 pulg Hg vacuométricas). En la Figura 10 se muestra el parámetro L* en función de la presión vacuométrica aplicada en t1.

De la Figura 10, se puede observar que la luminosidad aumentó significativamente (P<0,05) al impregnar las rodajas a 14 pulg Hg vacuométricas, en comparación con simple inmersión (0 pulg Hg vacuométricas). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Jeon y Zhao (2005), quienes estudiaron el cambio del parámetro L* en el tiempo al someter manzanas frescas a tratamientos de simple inmersión e impregnación a vacío (Anexo 3).



a,b,c: letras distintas indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% (P≤0,05).

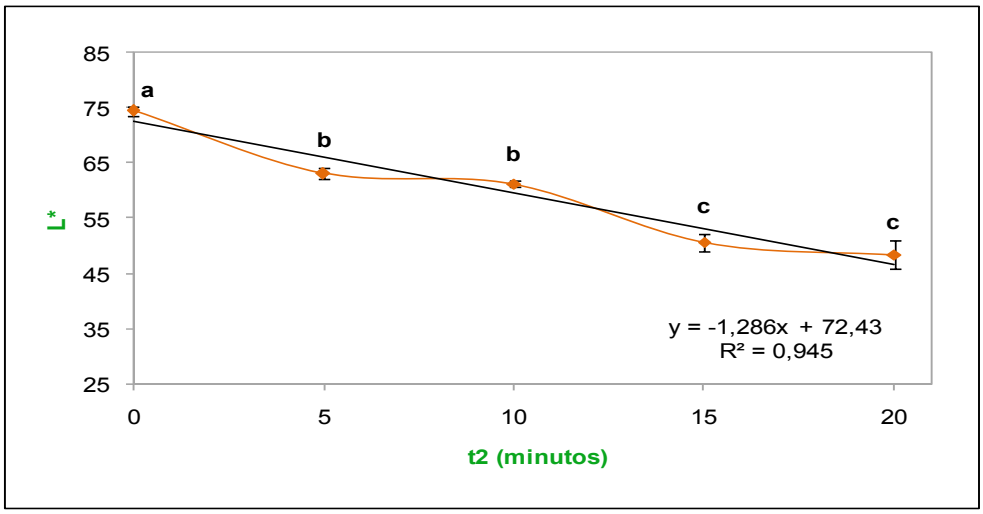
Figura 10: Efecto de la presión vacuométrica (p1) aplicada en la VI sobre el color (L*) de manzana deshidratada por aire forzado. C1=10% p/p miel de quillay, t1= 5 minutos y t2= 10 minutos.

De la Figura 10, además se puede deducir que los tratamientos a presiones subatmosféricas favorecen la impregnación del producto. Fito y col. (2001[a]) reportan que la fuerza motriz de la impregnación a vacío es la diferencia de presiones. A una presión vacuométrica mayor, la diferencia con la presión atmosférica es mayor, por lo que se debiera de esperar una mayor cantidad de solutos impregnados en la etapa de compresión (t2). En este caso, este fenómeno se ve reflejado en una disminución de la luminosidad debido a que la miel tiene color café, el que se caracteriza por una baja luminosidad.

Welti-Chanes y col. (2003[b]) afirman que la cantidad de líquido impregnado en la estructura del producto durante la VI depende mayoritariamente de la presión vacuométrica aplicada y el tiempo de proceso.

4.4.1.4 Efecto del tiempo de restauración de la presión (t2) sobre el color

En la siguiente Figura 11 se muestra la gráfica del parámetro L* en función del tiempo de restauración de la presión. Para apreciar mejor el efecto, se trabajó con un valor de p1 de 75 mm Hg y una solución al 10% de miel de Quillay.



a,b,c: superíndices distintos indican que existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% (P≤0,05).

Figura 11: Efecto del tiempo de restauración de la presión (t2) sobre el color (L*) de manzana deshidratada por aire forzado. 10% p/p miel Quillay, p1=75 mmHg, t1= 10 minutos.

De la Figura 11 se desprende que la variación del tiempo de restauración de la presión atmosférica en el proceso de impregnación (t2) tiene un efecto relevante sobre el color de la superficie de manzana deshidratada (P≤0,05).

Un aumento del tiempo de restauración de la presión en el tratamiento de impregnación (t2) produce un descenso estadísticamente significativo (P≤0,05) de la luminosidad (L*) superficial de la hojuela de manzana deshidratada por aire forzado. Para un t2 de 5 minutos la luminosidad (L*) disminuye a un 15% de su valor inicial. Los datos fueron ajustados a una ecuación lineal, obteniéndose un R^2 de 94,5%. Con esto es posible determinar el color de la superficie de manzana deshidratada, evaluado en función del parámetro L* a cualquier tiempo de restauración de presión, bajo las condiciones descritas y dentro del rango estudiado.

No obstante, cabe mencionar que a los 15 minutos de t2 el parámetro L* se hace constante, debido a que las presiones interna y externa se igualan. A partir de este momento no se aprecian pequeñas diferencias de solutos impregnados en el color de la hojuela de manzana. La siguiente Figura 12 corrobora este hecho. En ella se muestra la presión vacuométrica en función del tiempo de restauración de la presión (t2) a 14 pulg Hg vacuométricos y 28 pulg Hg vacuométricos de presión de vacío en la VI (p1).

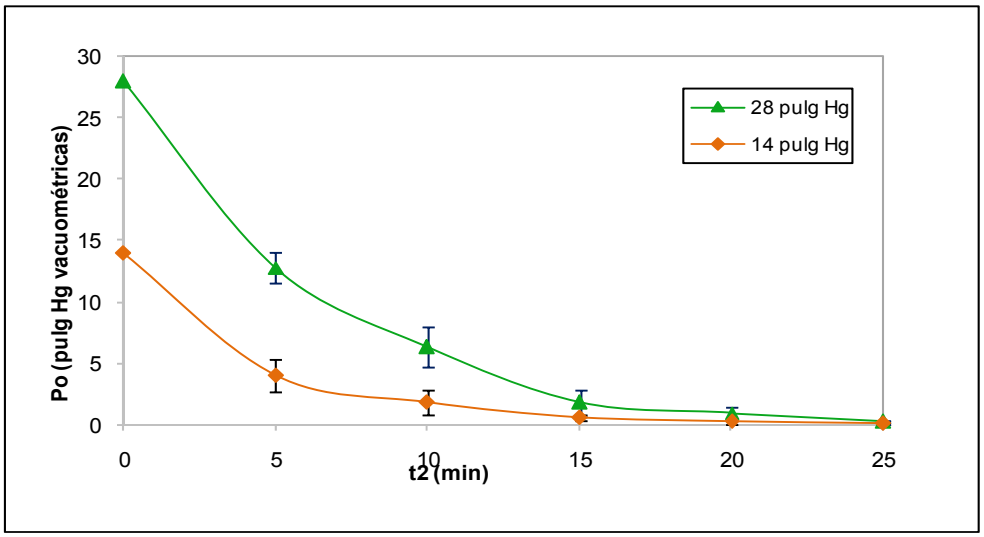


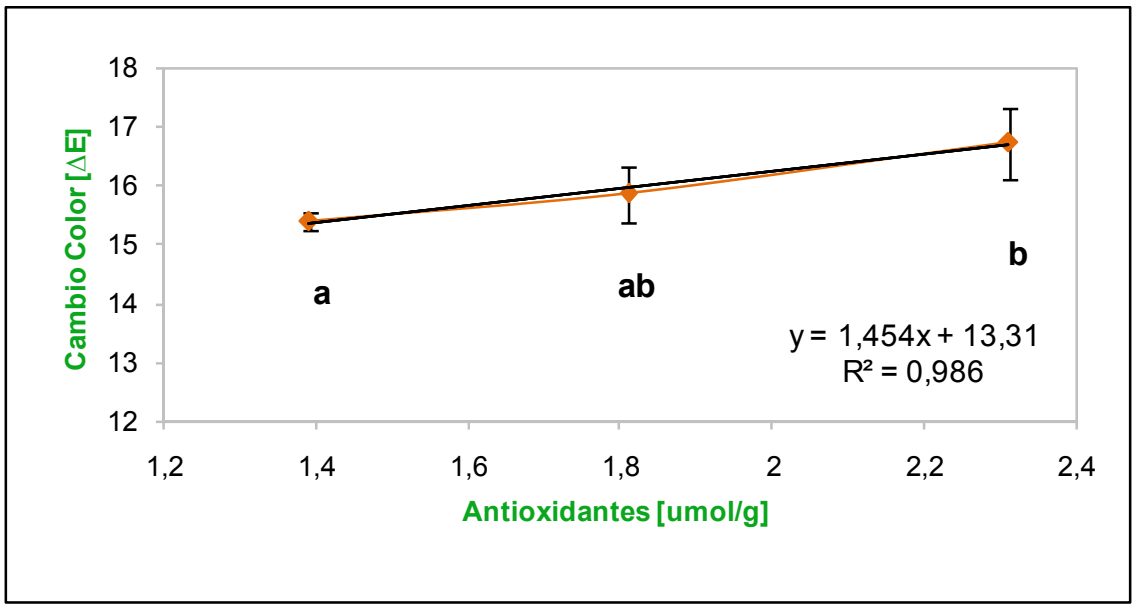
Figura 12: Variación de la presión vacuométrica durante el tiempo de restauración de la presión (t2). 10% p/p miel Quillay, t1= 10 minutos.

La gráfica (Figura 12) revela que, inicialmente, ocurre un descenso drástico de la presión vacuométrica, para ambos valores de p1. Esto sugiere que entre t2=0 minutos y t2= 10 minutos, ocurre un mayor flujo del líquido externo hacia la estructura porosa, por efecto de la compresión. A t1= 15 minutos prácticamente está igualada la presión interna con la presión externa. A t2= 25 minutos p1 es exactamente igual a p atmosférica. A partir de este momento, el mecanismo hidrodinámico de difusión de líquido externo cesa. Uno de los principales factores que influye en la impregnación de solutos durante esta etapa es la porosidad de la matriz, al igual que en el punto 4.4.1.3. Fito y col. (2001[b]) reportaron que durante el período de compresión (t2) se puede reducir el tamaño de poro dependiendo de la resistencia mecánica del sólido, lo que influye en la cantidad de solutos impregnados durante t2.

En adición a lo anterior, la madurez de la manzana influye en la resistencia mecánica de la matriz (rodaja de manzana) debido a que, como se discutió en el punto 4.1, se producen cambios texturales de importancia en la fruta durante su almacenamiento. El ablandamiento de la manzana es producido por cambios en los constituyentes de la pared celular, entre los cuales las sustancias pécticas juegan un rol fundamental. Dentro de las sustancias pécticas se encuentra la pectina y la protopectina, ésta última insoluble en agua y producida en la lamela media, donde une firmemente las paredes celulares de los tejidos. Durante la maduración ocurre el ablandamiento del fruto debido a que la protopectina se convierte en pectina soluble; y las células y tejidos ya no están tan firmemente unidos entre sí (Maffei, 1986). No obstante, el fenómeno aún no está totalmente dilucidado, puesto que la manzana carece o tiene una pequeña proporción de enzimas responsables de la reducción de la pectina, como la poligalacturonasa y pectin metil estearasa. Eloniaga (1985) señala que en manzanas existe una exo-poligalacturonasa que durante la maduración ataca preferentemente poligalacturonatos no esterificados y es capaz de degradar la pared celular liberando monómeros y algunos polímeros. Independiente del mecanismo, se producen cambios en los constituyentes de la pared celular, lo que influye en la resistencia mecánica y porosidad; factores de los cuales depende el mecanismo hidrodinámico de difusión.

4.4.1.5 Efecto de la variedad de miel utilizada en la impregnación sobre el color

En la Figura 13 se presenta el cambio total de color, considerando hojuelas de manzana sin impregnar deshidratadas usando aire forzado como control, en función de la actividad antioxidante de cada una de las tres mieles en estudio (Tabla 4). Para apreciar el efecto antipardeamiento, se usó una presión vacuométrica de 22 pulgadas de Hg, un tiempo de vacío (t1) de 2 minutos y un tiempo de compresión o de restauración de la presión atmosférica (t2) de 2 minutos.



a,b: superíndices distintos indican que existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% (P≤0,05).

Figura 13: Efecto de la variedad de miel utilizada en la impregnación sobre el color (ΔE) de manzana deshidratada por aire forzado. c1= 10% p/p miel, p1= 22 pulgHg vac., t1= t2= 2 minutos.

Un aumento de la actividad antioxidante de la miel, y por ende en la solución de impregnación, produce un aumento estadísticamente significativo (P≤0,05) del parámetro de cambio total de color con respecto al control. El producto control no fue sometido a pre-tratamiento de inactivación enzimática alguno; por lo que durante el

secado sufre el fenómeno de pardeamiento en mayor grado que las impregnadas. Por ello, un mayor cambio de color implica una mejor preservación del color natural.

Los resultados presentados anteriormente permitieron dilucidar que el parámetro de cambio de color en manzana deshidratada, con respecto al producto sin pre tratamiento, puede ser usado mientras las condiciones de proceso impuestas no afecten la integridad de la fruta; puesto que el objetivo de este trabajo es obtener una manzana impregnada de miel en un nivel tal que se inhiba el pardeamiento enzimático, sin que el color café de la miel se adquiera durante el secado.

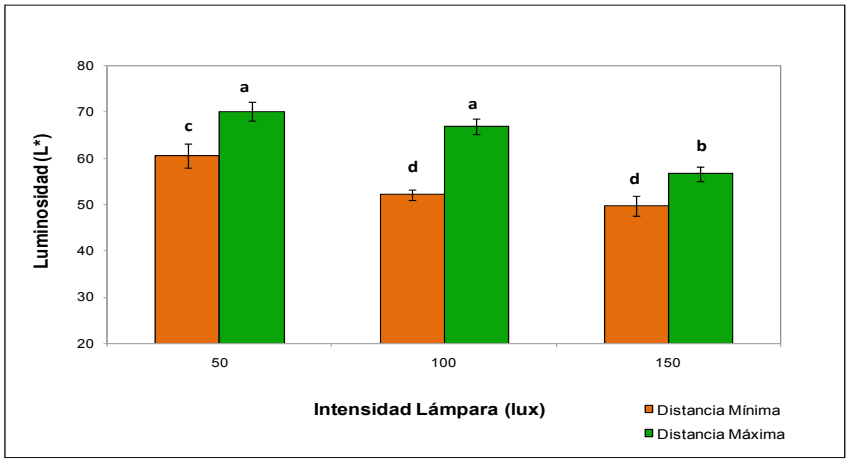
Para 1,39 y 2,31 umol/g de antioxidantes totales, existen diferencias estadísticamente significativas en el parámetro de cambio de color con un nivel de confianza del 95%. En el caso de la miel de Bosque, que contiene 2,31 umol/g de antioxidantes totales, se observó el valor mayor de cambio total de color. Los datos fueron ajustados a una ecuación lineal, obteniéndose un R^2 de 98,6%. Con esto es posible determinar el cambio de color de la superficie de manzana deshidratada, en función del contenido de antioxidantes de una miel en particular, bajo las condiciones de impregnación descritas y dentro del rango estudiado.

Los resultados obtenidos son concordantes con los informados por Jeon y Zhao (2005), quienes evaluaron la evolución del parámetro L* de manzana fresca refrigerada en el tiempo. Ellos obtuvieron un mayor efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático usando una solución de impregnación preparada al 10% usando miel norteamericana de Bosque (Wildflower) con un contenido de antioxidantes de 1,94 mg/100g en comparación con una miel de frambuesa monofloral de 0,54 mg/100g de antioxidantes (Anexo 4). Por otro lado, Vela y col. (2007) obtuvieron mejores efectos inhibitorios del pardeamiento enzimático en manzana fresca usando mieladas multiflorales, que cuando usaron otros néctares.

4.5 Optimización de la calidad del producto final

Como se discutió anteriormente, los resultados de los análisis de los tratamientos de impregnación a vacío sobre los parámetros de calidad de manzanas deshidratadas por aire forzado, conducen a establecer las condiciones de proceso para el diseño experimental.

Un segundo tipo de secado, por infrarrojo, fue estudiado sin obtener buenos resultados inicialmente, puesto que se observaron coloraciones oscuras (y por supuesto indeseables en este estudio) debido a la acción de la radiación infrarroja sobre la superficie de las rodajas de manzanas; la cual fue dependiente de la intensidad de la luz y de la distancia entre la lámpara y la superficie de las manzanas. En la siguiente Figura 14 se muestra la gráfica del parámetro L* en función de la intensidad de la luz y de la distancia con la muestra.



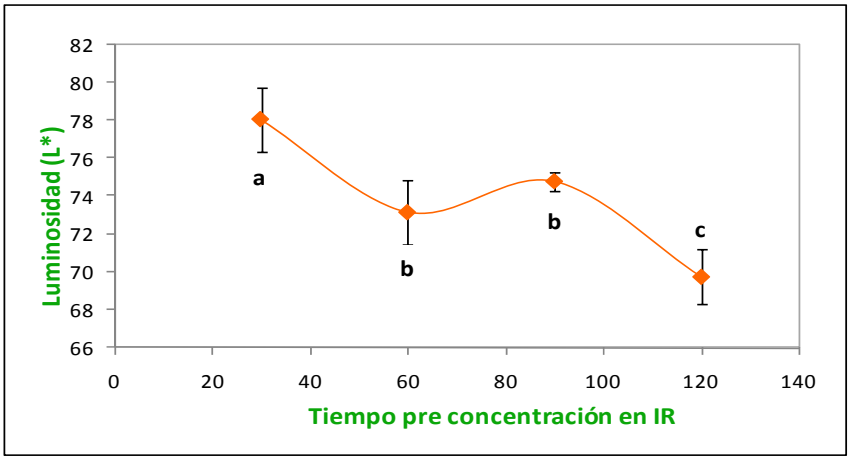
a,b,c: superíndices distintos indican que existen diferencias significativas en un nivel de confianza del 95% (P≤0,05).

Figura 14: Efecto de la intensidad de la radiación IR y la distancia de la luz a la superficie sobre el color (L*) de manzana impregnada/deshidratada por infrarrojo. c1= 10% p/p miel quillay, p1=22 pulg Hg, t1=t2=2 minutos.

La Figura 14 revela que a menor distancia de la luz con la muestra, el producto se oscurece más que en el caso de distancias mayores. Por otro lado, una mayor intensidad de la luz emisora de la radiación también disminuye la luminosidad de las manzanas deshidratadas por infrarrojo. Lo anterior es concordante con los resultados obtenidos por Gabel y col. (2006), quienes deshidrataron cebollas por radiación infrarroja catalítica y obtuvieron efectos contraproducentes en los parámetros L*y b*, por lo cual alejaron la ampolleta y montaron un sistema de recirculación de aire, obteniendo mejores resultados.

En este caso, no fue posible realizar un sistema de recirculación de aire controlado en el secador infrarrojo montado, por lo que se decidió realizar una pre concentración del producto por infrarrojo y luego una deshidratación, hasta la humedad definida, en estufa.

Se seleccionó un tiempo de radiación de 30 minutos, debido a que a tiempos mayores de exposición, la luminosidad decayó a valores menores de 75, incluso optimizada la distancia y la intensidad de la radiación. La Figura 15 muestra que la superficie de manzana deshidratada con infrarrojo durante 30 minutos y aire tuvo una coloración homogénea y una luminosidad de 78,06.



a,b,c: superíndices distintos indican que existen diferencias significativas en un nivel de confianza del 95% (P≤0,05).

Figura 15: Efecto del tiempo de exposición bajo luz infrarroja sobre el color (L*) de manzana impregnada/pre deshidratada por radiación IR, a 50 lux y distancia máxima de la ampolleta.

La Figura 14 y 15 revelan que durante el proceso de deshidratación por infrarrojo se produce una reacción de oscurecimiento a una velocidad no despreciable. Esto puede deberse a que durante la deshidratación infrarroja se pueden desarrollar reacciones de pardeamiento no enzimático, las cuales además podrían estar potenciadas por la composición de la miel. Timoumi y col. (2007) estudiaron la deshidratación infrarroja, sin recirculación de aire, en rodajas de manzanas sometidas a distintas temperaturas entre el rango de 40 a 70 ºC y encontraron que a partir de los 50 ºC en un tiempo de 2 horas de radiación infrarroja, se produce el fenómeno de

degradación del ácido ascórbico, cuyos productos siguen vías de pardeamiento no enzimático. Esta reacción es de primer orden y es dependiente de la temperatura. Un aumento en la temperatura produce una mayor tasa de degradación, lo cual se traduce en oscurecimiento, formación de compuestos volátiles y pérdida de frescura. El ácido dehidroascórbico, compuesto formado por la oxidación del acido ascórbico, puede descomponerse en 2 compuestos al ser sometido a determinadas temperaturas: el 3,4-dihydroxy-5 methyl-2-5-(H)-furanone, como un pigmento oscuro; y el ácido 2-furancarboxylic como un producto incoloro (Sawamura y col. 2000).

4.5.1 Diseños Experimentales

Se fijó una temperatura de secado de 60 ºC debido a que la miel merma su calidad al ser sometida a procesos de calentamiento a temperaturas mayores. Lo anterior se debe, principalmente, a la inactivación de enzimas que catalizan los procesos bioquímicos típicos de la conservación de la miel; y el aumento de la concentración de un compuesto que se forma a partir de la degradación térmica de la fructosa, el hidrometilfurfural, cuya concentración es estrictamente reglamentada para miel y productos elaborados en base a ésta (Martínez, 2007).

Debido a lo discutido anteriormente, los diseños experimentales, que se muestran a continuación, se realizaron sobre un producto deshidratado convencionalmente y en un producto pre deshidratado por radiación infrarroja por 30 minutos y luego deshidratado por aire; ambos a 60 ºC hasta un 9% de humedad final (b.h.).

A continuación se muestra el diseño experimental 2^3 en que se evaluó el efecto de la presión vacuométrica, concentración de antioxidantes de la miel y tiempo de restauración de la presión; sobre el color, medido como (ΔE); y la textura, evaluada como la fuerza máxima de ruptura; de hojuelas de manzana deshidratadas mediante ambos sistemas de secado. Cada uno de los diseños constó de 8 corridas experimentales y 3 puntos centrales. Las siguientes tablas muestran las condiciones de proceso y variables de respuesta obtenidas para cada condición.

4.5.1.1 Diseño Experimental 2^3 sobre manzana deshidratada por aire forzado.

En el Anexo 5 se muestran los resultados del diseño experimental sobre manzana deshidratada por aire forzado. En la Tabla 5 se presentan los valores de diferencia total de color (ΔE) y de fuerza máxima (N) de las corridas del diseño experimental.

Variables independientes			Variables dependientes	
Antioxidantes (umol/g)	p1 (pulg Hg vac.)	t2 (minutos)	Color (ΔE)	Fuerza Máxima (N)
1,85*	23,50	2,50	12,54	30,20
1,39	20,00	1,00	21,39	17,55
2,31	20,00	1,00	23,75	16,42
1,39	27,00	1,00	13,67	29,42
2,31	27,00	1,00	14,61	24,93
1,85*	23,50	2,50	12,52	31,30
1,39	20,00	4,00	13,92	23,54
2,31	20,00	4,00	18,72	31,68
1,39	27,00	4,00	7,71	37,27
2,31	27,00	4,00	10,00	45,99
1,85*	23,50	2,50	13,34	33,15

* Repeticiones centrales.

Tabla 5: Valores de diferencia total de color (ΔE) y fuerza máxima (N) de rodajas de manzanas impregnadas/deshidratadas por aire forzado para la optimización. Valores promedios de 3 repeticiones.

La siguiente Figura muestra la carta de Pareto y los efectos estimados para la diferencia total de color y la gráfica de superficie de respuesta estimada para el efecto de las variables de proceso relevantes.

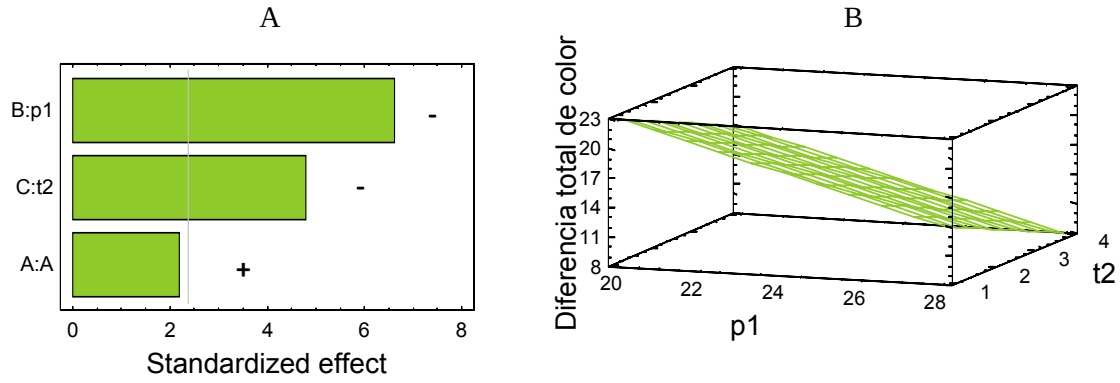


Figura 16: A: Carta de Pareto sobre la diferencia total de color (∆E) para manzana deshidratada por aire, **B:** Superficie de respuesta estimada para las variables de proceso relevantes; a 2,31 umol/g de capacidad antioxidante de miel.

De la Figura 16 A se observa que las variables que poseen un efecto estadísticamente significativo (P≤0,05) sobre ∆E son la presión vacuométrica (p1) y el tiempo de restauración de la presión atmosférica (t2). Los efectos cuadráticos tuvieron efecto despreciable. En la Figura 16 B se muestra la superficie de respuesta estimada para el efecto de estas variables de proceso relevantes, a una actividad antioxidante de 2,31 umol/g.

La ecuación que describe la superficie de respuesta estimada para la diferencia total de color con las variables de proceso relevantes, graficado en la Figura 16 B, se muestra en la siguiente ecuación.

Diferencia total de color = 46,2314 - 1,13541***p1** - 1,92248***t2**
(R^2= 85,05%)

(Ecuación 2)

La ecuación 2 revela que los resultados representan el 85,05% de los datos ajustados. Estos resultados corroboran la premisa de que la presión vacuométrica es la fuerza motriz del proceso de impregnación a vacío, puesto que fue el efecto más relevante (Figura 16 A). Pre tratamientos con altos vacíos (p1) y tiempos de restauración de la presión (t2) producen un descenso en el valor de ∆E, principalmente

porque se impregna una mayor cantidad de solutos de miel, como se discutió en el punto 4.4.

Se observa un efecto positivo de la actividad antioxidante sobre ΔE (Figura 16 A); sin embargo no fue significativo (P>0,05); lo cual puede deberse al rango utilizado y, por supuesto, a las nuevas condiciones de proceso, diferentes a las utilizadas en el punto 4.4.1.5 en el cual se obtuvo diferencias estadísticamente significativas (P≤0,05) para esta variable.

La siguiente Figura 17 muestra la carta de Pareto, los efectos estimados y las interacciones cuadráticas relevantes, junto con la superficie de respuesta estimada; para los resultados de fuerza máxima de ruptura.

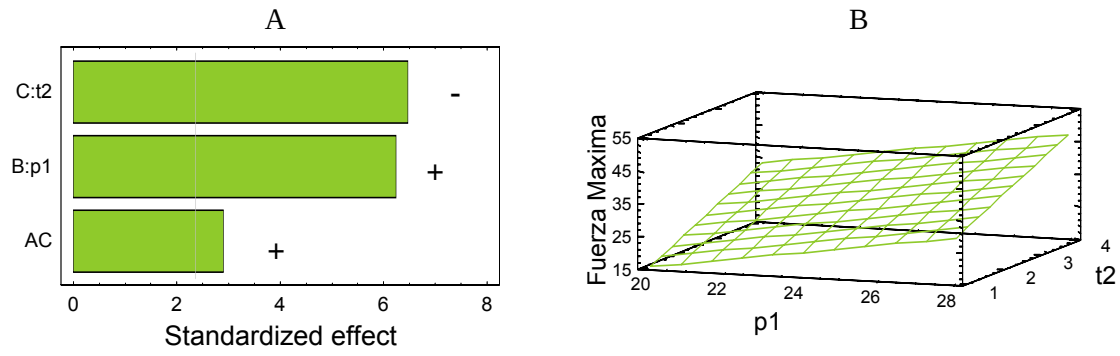


Figura 17: A: Carta de Pareto para las variables de proceso relevantes sobre la fuerza máxima de cizalla (N) para manzana deshidratada por aire, **B:** Superficie de respuesta estimada a 2,31 umol/g de capacidad antioxidante de la miel utilizada.

La Figura 17 A revela que los efectos estimados de t2 y p1 fueron significativos a un nivel de confianza del 95%. Además, la interacción cuadrática entre el contenido de antioxidantes de la miel con t2 fue estadísticamente significativa (P≤0,05) sobre la fuerza máxima de ruptura (Figura 17 A).

La siguiente ecuación describe la superficie de respuesta estimada para la diferencia de color, en función de las variables de proceso relevantes.

Fuerza máxima = -3,03034 - 10,1812***A** + 1,72929***p1** - 3,35406***t2** + 4,07246***A*t2**
R^2= 92,7%

(Ecuación 3)

El coeficiente de correlación para la ecuación 3 revela que los datos se ajustaron en un 92,7 %.

La Figura 17 B revela que el valor de la fuerza máxima de cizalla aumenta significativamente al aumentar la presión vacuométrica (p1) y el tiempo de restauración de la presión atmosférica (t2). Esto se debe a que se impregna más miel, la cual llena los espacios vacíos de la matriz porosa. Los tratamientos de VI provocan efectos significativos en la textura del sólido impregnado debido a los eventuales procesos de expansión y relajación. Fito y Pastor (1994) sostienen que durante el proceso de impregnación a vacío se da lugar a fenómenos de deformación y relajación de la matriz sólida, lo que influye en la resistencia mecánica del sólido impregnado. En este caso, el producto posteriormente se deshidrata por lo que influyen factores adicionales en las propiedades mecánicas del sólido. El aumento de la fuerza máxima de un producto deshidratado sometido a pre tratamiento de impregnación a vacío es responsabilidad del tipo y la cantidad de solutos impregnados durante el proceso de VI, además del contenido de humedad final (Contreras y col. 2005).

Los resultados obtenidos en este estudio son concordantes con los reportados por Contreras y col. (2005), quienes evaluaron propiedades mecánicas de manzana deshidratada por microondas y aire forzado a 50 ºC, obteniendo valores mayores de fuerza máxima de ruptura en los productos pre tratados por VI.

La Figura 17 revela, además, que el efecto cuadrático de capacidad antioxidante con t2 fue positivo y significativo (P≤0,05). No obstante, esta dependencia significativa que involucra el parámetro de capacidad antioxidante puede deberse a otras diferencias sustanciales entre las mieles, como por ejemplo el contenido de cenizas. Zhao y Xie (2004) impregnaron frutas con soluciones compuestas de jarabe de alta fructosa y mínimas concentraciones de sales de calcio; obteniendo efecto significativo de las mezclas con respecto al control (solución jarabe de fructosa sin sales) en la fuerza máxima del producto. En este aspecto, la capacidad antioxidante se relaciona con el contenido de cenizas (punto 4.3).

4.5.1.2 Diseño Experimental 2^3 sobre manzana deshidratada por infrarrojo y aire forzado.

En el Anexo 6 se muestran los resultados del diseño experimental sobre manzana deshidratada por infrarrojo/aire. En la Tabla 6 se presentan los valores de diferencia total de color (∆E) y de fuerza máxima (N) de las distintas corridas del diseño experimental.

Variables independientes			Variables dependientes	
Antioxidantes (umol/g)	**p1 (pulg Hg vac.)**	**t2 (minutos)**	**Color (∆E)**	**Fuerza Máxima (N)**
1,85	23,50	2,50	6,40	20,53
1,39	20,00	1,00	12,46	23,09
2,31	20,00	1,00	14,44	16,57
1,39	27,00	1,00	7,29	23,83
2,31	27,00	1,00	10,11	21,08
1,85	23,50	2,50	5,52	21,44
1,39	20,00	4,00	8,46	28,83
2,31	20,00	4,00	5,99	29,29
1,39	27,00	4,00	4,51	34,66
2,31	27,00	4,00	4,57	42,59
1,85	23,50	2,50	4,64	22,42

* Repeticiones centrales.

Tabla 6: Valores de diferencia total de color (∆E) y fuerza máxima (N) de rodajas de manzanas impregnadas/deshidratadas por infrarrojo y aire forzado para la optimización. Valores promedios de 3 repeticiones.

La siguiente Figura 18 muestra la carta de Pareto para la diferencia total de color y los efectos estimados; en que se observa que las variables que poseen un efecto estadísticamente significativo sobre ∆E son el tiempo de restauración de la presión atmosférica y la presión vacuométrica.

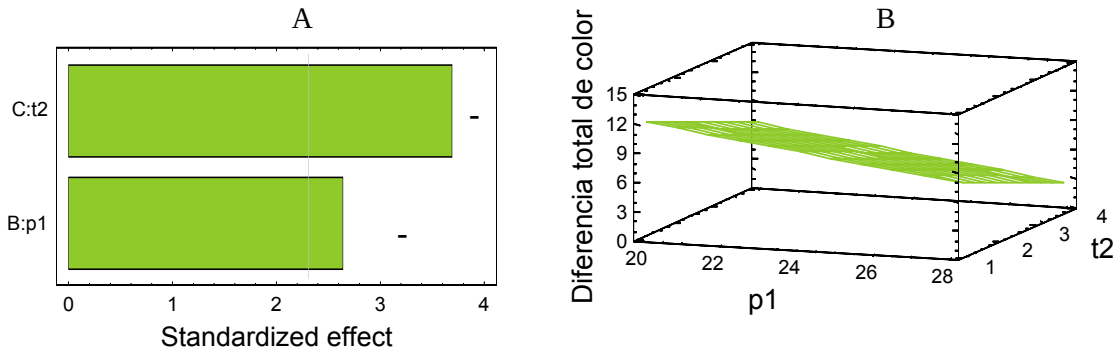


Figura 18: A: Carta de Pareto para las variables de proceso relevantes sobre la diferencia total de color (∆E) para manzana deshidratada por infrarrojo y aire, **B:** Superficie de respuesta a 2,31 umol/g de antioxidantes.

La siguiente ecuación describe la superficie de respuesta de la diferencia de color, en función de las variables de proceso que tuvieron efecto significativo (P≤0,05).

Diferencia total de color = 24,4726 - 0,530745***p1 vacuometrica*** - 1,73092***t2***
R^2 = 71,97%

(Ecuación 4)

La ecuación 4 indica que los datos se ajustaron en un 71,97%. En este caso, como se discutió anteriormente se dio lugar a fenómenos de pardeamiento no enzimático lo cual está influyendo en los valores bajos y poco ajustados de ∆E. Timoumi y col. (2007) sostienen que durante la radiación infrarroja no sólo se desarrollan reacciones no enzimáticas, sino que también se aceleran las reacciones de pardeamiento no enzimático, debido a la acción de la luz.

La siguiente Figura 19 muestra la carta de Pareto para el efecto relevante y la superficie de respuesta estimada para la fuerza máxima. En ella se observa que el tiempo de restauración atmosférica tiene un efecto positivo y significativo sobre la fuerza máxima de ruptura; debido a que se impregna más miel (ver punto 4.4.1.4).

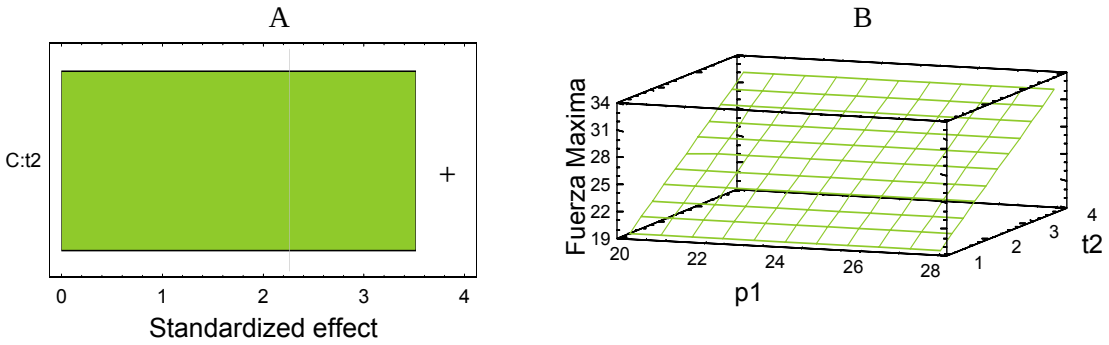


Figura 19: A: Carta de Pareto para la variable de proceso relevante sobre la fuerza máxima de cizalla (N) para manzana deshidratada por infrarrojo y aire, **B:** Superficie de respuesta a 2,31 umol/g de antioxidantes.

De la siguiente ecuación 5 se puede apreciar que hubo un bajo ajuste de los datos para este tipo de secado.

Fuerza máxima = 15,2648 + 4,23333***t2**

$\mathbf{R^2}$ = 57,74%

(Ecuación 5)

En general, el producto deshidratado por infrarrojo y aire tuvo los atributos de calidad evaluados en este estudio, menores que el producto deshidratado convencionalmente (sólo por aire forzado). Estudios proponen combinar la radiación infrarroja con aire o realizar calentamiento infrarrojo intermitente (Chua y Chou, 2003); debido a que es un método de secado que promete reducir significativamente los costos a la agroindustria. Chua y Chou (2003) concluyeron que la degradación del color, producida por la deshidratación infrarroja, puede ser favorablemente compensada por una significativa reducción del tiempo de secado.

El tiempo promedio de deshidratación de las muestras sometidas a secado infrarrojo para llegar a la humedad del 9% (b.h.) fue de 240 minutos; mientras que para las deshidratadas sólo por aire fue de 345 minutos; por lo que en esta experiencia se corrobora el hecho de que el eventual uso de la radiación infrarroja reduciría en forma considerable los tiempos de secado. No obstante, para el caso de los productos

en los que se desee conservar su color natural, hay que optimizar este tipo de radiación en relación a su efecto en los atributos de calidad evaluados en este estudio. En adición a este hecho, Mongpraneet y col. (2002) reportaron que largos tiempos de deshidratación por radiación infrarroja producen efectos considerables en las propiedades mecánicas de los productos, traducidas en una reducción de las propiedades rehidratantes.

4.6 Análisis del producto Óptimo

4.6.1 Color

El mayor cambio de color, con respecto al producto sin pre tratamiento, se observó a 20 pulg Hg (p1 vac.) y 1 minuto de tiempo de restauración de la presión (t2), usando miel de Bosque en la solución isotónica de impregnación al 10%; y secado por aire forzado hasta 9% de humedad (b.h.). La siguiente Figura 20 muestra una fotografía del producto óptimo y del producto control.

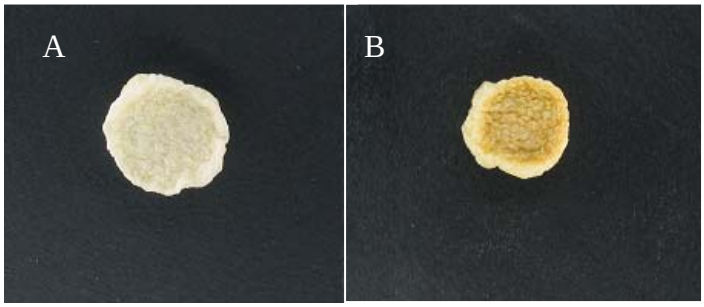


Figura 20: Fotografía A: producto óptimo, Fotografía B: producto sin IV (control).

El valor de cambio total de color (ΔE) para este producto fue de 21,39 ± 0,50; mientras que el valor arrojado por el diseño experimental fue de 22,9 ± 1,2, que corresponde al resultado para la maximización del efecto en la ecuación 2. Hay que considerar, que el primer valor corresponde a un valor experimental y el segundo corresponde al valor teórico arrojado por el diseño estadístico, con un coeficiente de correlación (R^2) ajustado.

La capacidad antioxidante de la miel contribuye a prevenir las reacciones de pardeamiento catalizadas por la polifenoloxidasa (Chen y col., 2000). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las diferencias entre las mieles utilizadas, referidas a sus capacidades antioxidantes, no fueron significativas (P>0,05) en el diseño experimental (Figura 16). Lo anterior puede deberse, además de lo discutido estadísticamente en el punto 4.5.1.1, a que en la miel existen otros compuestos que pueden actuar inhibiendo las reacciones de pardeamiento enzimático, los cuales no necesariamente pueden estar reflejados en la capacidad antioxidante cuantificada por el método FRAP. Oszmianski y Lee (1990) demostraron que algunos péptidos de bajo peso molecular presentes en la miel son inhibidores de la actividad de la polifenoloxidasa. Ellos también reportaron que algunas proteínas de la miel interactúan con productos de la reacción de pardeamiento de jugo de manzana, lo que produce su clarificación. Las enzimas presentes en la miel pueden también actuar removiendo el oxígeno (Oszmianski y Lee, 1990).

4.6.2 Textura

El mayor valor de fuerza máxima se obtuvo a mayores niveles de presión vacuométrica (p1 vac.) y tiempos de restauración de la presión (t2); para el secado por aire forzado (Figura 17). No obstante, el comportamiento de las muestras, reflejados en las curvas de Fuerza-Deformación, fue caracterizado por curvas poco definidas a mayores valores de Fuerza máxima. En el Anexo 7 se muestra una curva típica de Fuerza-Deformación de muestras sometidas a tratamientos con altos vacíos y mayores tiempos de restauración de la presión (t2). Estas curvas presentaron dos picos y grandes áreas bajo la curva (Anexo 7). Debido a esto, el valor de Fuerza máxima óptima, a juzgar por la crocancia del producto deshidratado, correspondió a la muestra sometida a pre tratamiento de menor presión vacuométrica y t2, con un valor experimental de 16,42 ± 1,88 N; y teórico de 14,1 N obtenido a través de la ecuación 3.

En la Figura 21 se muestra la curva control y la curva óptima de crocancia para este estudio. La Figura 21 A revela que la muestra sin impregnar presentó un comportamiento viscoelástico típico de los productos deshidratados, con una gran deformación y una fractura poco definida; además de una gran área bajo la curva.

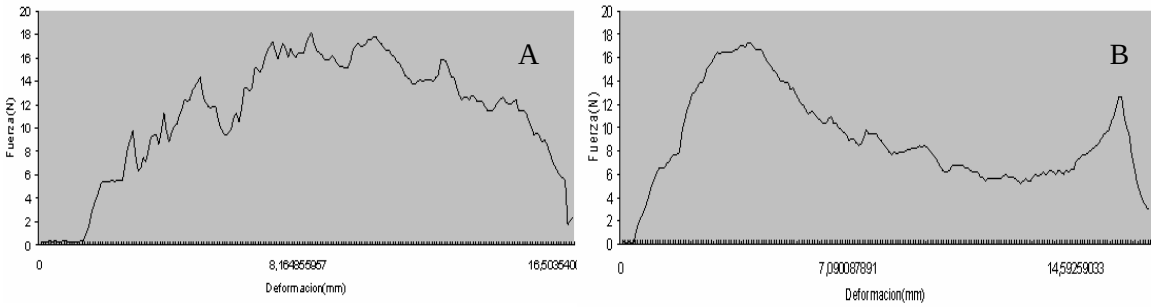


Figura 21: A: Curva Fuerza-Deformación para el producto deshidratado sin VI. **B:** Curva Fuerza-Deformación para el producto sometido a pre tratamiento de VI a 20 pulg Hg vac. por 3 minutos de t1 y 1 minuto de t2; en una solución al 10% de miel de Bosque.

De la Figura 21 B se observa que el producto óptimo presentó dos picos; lo cual puede deberse a que durante el secado se forman capas superficiales. En algunos productos, como las frutas, carnes y pescados; se forma una película impermeable y dura en la superficie durante el proceso de deshidratación (Renteria y Rodríguez, 2005). En este caso, en la cara superior e inferior de la hojuela se pueden haber formado estas capas, lo cual puede estar potenciado por la impregnación de miel.

Anino y col. (2006) explican este fenómeno considerando el hecho de que la ruptura celular ocurre, principalmente, en la superficie del tejido vegetal, lo que se traduce en una mayor rugosidad, encogimiento superficial y formación de capas; dependiendo del soluto impregnado.

La Figura 21 muestra que el efecto de la VI de miel sobre la textura del producto deshidratado se traduce en una mayor crocancia del producto, con respecto al producto sin pre tratamiento; siempre y cuando no se impregne mucha miel. El producto impregnado a menor presión vacuométrica y t2 (Figura 21 B), tiene una menor área bajo la curva y una fracturabilidad más definida, representado en el primer quiebre significativo de la curva.

4.6.3 Polifenoles totales

Para evaluar el efecto de la IV de miel, sobre la inhibición del pardeamiento enzimático, en adición a las mediciones de color, se determinaron los Polifenoles totales del producto óptimo y control, mostrados en la siguiente Tabla 7.

Muestra	Polifenoles Totales
Control	5,71 ± 0,01[a]
Óptima pre tratada por IV de miel	6,26 ± 0,06[b]

a,b: superíndices distintos indican que existen diferencias significativas en un nivel de confianza del 95% ($P \leq 0,05$).

Tabla 7: Resultados de polifenoles totales para producto impregnado a vacío (óptimo) y control.

De la Tabla 7 se puede apreciar, que el producto óptimo tiene una mayor cantidad de polifenoles totales con respecto al control (P=0,018); lo cual puede deberse a la dualidad de que los compuestos polifenólicos de la manzana actúan como sustrato para la reacción de la polifenoloxidasa; y en este caso, como se inhibió esta reacción, los compuestos polifenólicos se encontrarían inalterados, en comparación con el control. Por otro lado, puede deberse a que la miel utilizada en la solución de impregnación para elaborar el producto óptimo contenía una cierta cantidad de polifenoles, y mayor que las otras dos mieles (Tabla 4), los cuales pueden haberse impregnado significativamente durante el proceso. Los compuestos polifenólicos presentes en algunas variedades de miel inactivan varias especies oxígeno-reactivas, actuando como inhibidores de la reacción de pardeamiento enzimático (Oszmianki y Lee, 1990). Xie y Zhao (2003) establecen que estos compuestos pueden ser impregnados en frutas y vegetales pese a sus bajas cantidades en la solución de impregnación, al igual que los minerales. Welti-Chanes y col. (2003[b]) establecen que las manzanas son unas de las frutas más porosas y, por ende, una de las más adecuadas para elaborar productos funcionales fortificados mediante la técnica de VI.

4.6.4 Actividad de agua

La actividad de agua del producto óptimo fue de 0,48 ± 0,007. En el Anexo 8 se muestra la gráfica típica de los procesos de deterioro (Ponce, 2005), en la que se observa que, de acuerdo al valor de humedad y actividad de agua final, no habría crecimiento de bacterias, mohos y levaduras. Además, el producto se encuentra en una zona en la cual quedan prácticamente detenidas las reacciones enzimáticas, por lo cual se preservaría el color natural en el tiempo.

5. CONCLUSIONES

- Se optimizó el proceso de impregnación a vacío de miel, como pre tratamiento, sobre el color y la textura de rodajas de manzanas deshidratadas a 60 ºC hasta 9% de humedad (b.h.). El óptimo se obtuvo a una presión vacuométrica de 20 pulg Hg vacuométricas y 1 minuto de t2; usando miel multifloral de 2,31 umol/g de capacidad antioxidante.
- La inclusión de compuestos con actividad antipardeamiento provenientes de miel de conocida fuente floral, en hojuelas a base de frutas y vegetales, puede ser una alternativa perfectamente viable para el desarrollo de alimentos funcionales en que además se potencien sus atributos sensoriales.
- Se concluye que la hipótesis de trabajo fue probada en relación al objetivo primordial de obtener un producto blanqueado naturalmente, y con una textura adecuada.
- La impregnación a vacío de miel puede ser potencialmente aplicada como pre tratamiento en la agroindustria, con el fin de obtener un producto funcional, natural y sensorialmente mejorado.
- Como futuros estudios, se hace necesario investigar la vida útil del producto a través de ensayos microbiológicos en el tiempo.

REFERENCIAS

- ANINO, S. SALVATORI, D. ALZAMORA, S. Changes in calcium level and mechanical properties of Apple tissue due to impregnation with calcium salts. Food Research International, 39: 154-164, 2006.
- A.O.A.C International. (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th Edition, Arlington, Virginia.
- BALTRUŠAITYTĖ, V. VENSKUTONIS, P. ČEKSTERYTĖ, V. Radical Scavenging activity of different floral origin honey and beebread phenolics extracts. Journal of Food Chemistry, 101 (2): 502-514, 2007.
- BOLIN, H. R. y STEELE, R. J. Nonenzimatic Browning in Dried Apples During Storage. Journal of Food Science, 52 (6): 1654-1657, 1987.
- BRICEÑO, M. [Comunicación Personal Productora de Manzanas Santa Mercedes]. Molina, Chile. Mayo, 2007.
- CALVO, C. y DURÁN, L. Propiedades Físicas II: Ópticas y color. En: Temas en tecnología de alimentos. Editor Aguilera, J. M. Instituto Politécnico Nacional, España, 1997. pp 261-281.
- CALVO, M. Pardeamiento Enzimático. [Artículo de clases de Bioquímica de Alimentos]. Universidad de Zaragoza, Facultad de Ciencias Biológicas. Zaragoza, España, 2006. [En línea] <http://milksci.unizar.es/bioquimica/ temas/TEMA25.html> [Consulta: Noviembre 2007].
- CHEN, L. MEHTA, A. BERENBAUM, M. ZANGERL, A. ENGESETH, N. Honeys from different floral sources as inhibitors of enzymatic browning in fruit and vegetables homogenates. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 48: 4997-5000, 2000.
- CHIRALT, A. FITO, P. ANDRÉS, A. BARAT, J. MARTÍNEZ-MONZÓ, J. MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En: Olivera, F. y Olivera, J (Eds.). Processing Foods: Quality Optimization and Process Assessment, 1999. 417 h. pp 341-356.
- CHUA, K. CHOU, S. Low cost drying methods for development countries. Trends in Food Science and Technology, 14: 519-528, 2003.

- CONTRERAS, C. MARTÍN, M. E. MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. CHIRALT, A. Effect of vacuum impregnation and microwave application on structural changes wich occurred during air-driyng of apple. LWT – Food Science and Technology, 38: 471-477, 2005.
- ELONIAGA, A. Efecto del grado de madurez de la materia prima sobre los parámetros fisicoquímicos del jugo fresco, concentrado y de la esencia comercial de manzana elaborados con tres cultivares. Tesis (Título de Ingeniero Agrónomo). Quillota, Chile. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ciencias Agronómicas, 1985. pp 1-29.
- ESPINOZA, A. LANDAETA, G. MÉNDEZ, J. R. NÚÑEZ, A. Efecto del cloruro de calcio sobre la deshidratación osmótica a vacío en mitades de duraznos (*Prunus persica*) en soluciones de sacarosa. Revista UDO Agrícola, 6 (1): 121-127, 2006.
- FAO. Enzimatic Browning in Fruits, Vegetables and Seafoods. [Documentos de Ciencias de los Alimentos y Nutrición] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2000. [En línea] <http://www.fao.org/ag/ags/agsi/ENZYMEFINAL/Enzymatic%20Browning.html> [Consulta: Noviembre 2007].
- FAO. Manual para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas. [Boletín Nº 151 de Servicios Agrícolas de la FAO]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2003. [En línea] <http://www.fao.org /DOCREP/006/Y4893S/Y4893S00.HTM> [Consulta: Noviembre 2007].
- FAO. Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Santiago, Chile, 1993. 190 p. [En línea] <http://www.fao.org /docrep/x5062S/x5062S00.HTM> [Consulta: Noviembre 2007].
- FITO, P. y PASTOR, R. On some non diffusional mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration. Journal of Food Engineering, 21: 513-519, 1994.
- FITO, P. CHIRALT, A. BARAT, J. ANDRÉS, A. MARTÍNEZ-MONZÓ, J. MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. Journal of Food Engineering, 49: 297-302, 2001ª.
- FITO, P. CHIRALT, A. BETORET, N. GRAS, M. CHÁFER, M. MARTÍNEZ-MONZÓ, J. ANDRÉS, A. VIDAL, D. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix

engineering Aplication in functional fresh food development, Journal of Food Engineering: 49: 175-183, 2001[b].

- FRANKEK, S. ROBINSON, G. E. BERENBAUM, M. R. Antioxidant content and correlated characteristics of 14 monofloral honeys. Journal of Apiculture, 37: 27-31, 1998.
- GABEL, M. PAN, Z. AMARATUNGA, K. HARRIS, L. THOMPSON, J. Catalytic Infrared Dehydration of Onions. Journal of Food Science: Journal of Food Engineering and Physical Properties, 71 (9): 351-357, 2006.
- GHELDOF, N. WANG, XIAO-HONG. ENGESETH, N. Identification and Quantification of Antioxidant Components of Honeys from Various Floral Sources. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50: 5870-5877, 2002.
- GONZÁLEZ, A. GONZÁLEZ, J. A. GARCÍA, R. J. RIVAS, T. ARDANUY, R. SÁNCHEZ, J. Geographical discrimination of honeys by using mineral composition and common chemical quality parameters. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80 (1): 157-165, 2000.
- HUANG, D. BOXIN, U. PRIOR, R. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (6): 1841-1856, 2005.
- IGUAZ, A. La radiación infrarroja aplicada a la deshidratación. Revista Argentina de Alimentación Equipos y Tecnología, 20 (160): 105-110, 2001.
- JEON, M. y ZHAO, Y. Honey in combination with vacuum impregnation to prevent enzimatic browning of fresh-cut apples. International Journal of Food Science and Nutrition, 56(3): 165-176, 2005.
- LIN, D.S. LEONARD, S.W. LEDERER, C. TRABER M.G. ZHAO, Y. Retention of Fortified Vitamin E and Sensory Quality of Fresh-Cut Pears by Vacuum Impregnation with Honey. Journal of Food Science: Sensory and Nutritive Qualities of Food, 71 (7): 553-559, 2006.
- MAFFEI, M. P. Industrialización de la manzana: Análisis de alternativas. Tesis (Título de Ingeniero Agrónomo, mención frutales y viñas). Santiago, Chile. Universidad Católica de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales, 1986. pp 39-60.

- MARTÍNEZ, M. [Comunicación Personal Oficinas Comerciales Sociedad Comercial Apícola Martínez y Cía. Ltda.]. Curicó, Chile. Junio, 2007.
- MAYOR, L. SILVA, M. A. SERENO, A. M. Microestructural changes during drying of apples slices. Journal of Drying Technology, 23: 2261-2276, 2005.
- MONGPRANEET, S. ABE, T. TSURUSAKI, T. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. Journal of Food Engineering, 55: 147-156, 2002.
- MONSALVE-GONZÁLEZ, A. BARBOSA-CÁNOVAS, G. CAVALIERI, R. MCEVILY, A. IYENGAR, R. Control of Browning During Storage of Apple Slices Preserved by Combinated Methods. 4-Hexylresorcinol as Anti-Browning Agent. Journal of Food Science, 58 (4): 797-800, 1993.
- ODEPA. Exportaciones de la agroindustria hortofrutícola en la temporada 2005. [Artículo 28/02/2006]. Agricultura y mercados, Frutales y viñas. Santiago, Chile, 2006. [En línea] <https://www.odepa.gob.cl> [Consulta: Julio 2007].
- OSORIO, A. M. Preservación de manzanas var. Granny Sminth por procesos combinados de deshidratación osmótica y liofilización. Tesis (Título de Ingeniero en Alimentos). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, 2003. 47 h.
- OSZMIANKI, J y LEE, C. Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by honey. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 38: 1892-1895, 1990.
- PANAGIOTAKOS, D. B. PITSAVOS, C. STEFANADIS, C. Diettary paterns: A Mediterranean diet score and its relation to clinical and biological markers of cardiovascular disease risk. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 16: 559-568, 2006.
- PONCE, E. Actividad de Agua. [Presentación de clases curso Conservación de los Alimentos]. Universidad Autónoma Metropolitana. México, Mayo 2005. [En línea] <http://docencia.izt.uam.mx/epa/quim_alim/material_adicional/Actividad%20de%20agua%20%20%20%20aw.pdf > [Consulta: Noviembre 2007].
- RENTERIA, N. y RODRÍGUEZ, V. Conservación de Alimentos por Desecación. [Presentación de clases de Conservación de Alimentos]. Universidad Autónoma Metropolitana. México, 2005. [En línea] <http://docencia.izt.uam.mx/

smk/233208/material_adicional/CONSERVACIoN%20DE%20ALIMENTOS%20POR%20DESECACIoN.ppt > [Consulta: Octubre 2007].

- RIOLOBOS, S. Estudio de la composición fisicoquímica (azúcares reductores; sacarosa aparente; humedad; acidez total; acidez libre; acidez lactónica; pH; índice de formol; actividad diastásica; H.M.F.; conductividad eléctrica; cenizas; minerales) de las mieles extremeñas y extranjeras. Dirección general de Comercio e Industrias Agrarias. Junta de Extremadura, España, 1996.
- SANTACRUZ-VÁZQUEZ, C. SANTACRUZ-VÁZQUEZ, V. JARAMILLO-FLORES, E. WELTI-CHANES, J. GUTIERREZ-LÓPEZ, G. Impregnación a vacío de betacaroteno en placas de manzana. En: Publicaciones Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México. I (2), 2005. [En línea] <http://www.encb.ipn.mx/cibia/IndTomoI.pdf> [Consulta: Noviembre 2007].
- SAWAMURA, M. NAKAGAWA, T. KATSUNO, S. HAMAGUCHI, H. UKEDA, H. The effects of antioxidants on browning and on degradation products caused by dehydroascorbic acid. Journal of Food Science: Food Chemistry and Toxicology, 65 (1): 20-23, 2000.
- SHARMA, G. P. VERMA, R. C. PATHARE, P. Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. Journal of Food Engineering, 71: 282-286, 2005.
- SCHMIDT-HEBBEL, H. PENNACHIOTTI, I. MASSON, L. MELLA, M. A. VINAGRE, J. ZUCCARELLI, M. CARRASCO, C. JAÑA, W. OLIVER, H. Tabla de Composición Química de los Alimentos Chilenos. 8va. Edición. Ed. Universitaria. Santiago, Chile, 1992.
- SURFRUT. Apple chips [Catálogo productos deshidratados]. Food Alliance Company. Santiago, Chile, 2007. [En línea] <http://www.surfrut.cl/pdf/APPLE_CHIPS.pdf> [Consulta: Agosto, 2007].
- TIMOUMI, S. MIHOUBI, D. ZAGROUBA, F. Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infra-red drying of apple slices. LWT – Food Science and Technology, 40: 1648-1654, 2007.
- VEGA, A. CHACANA, M. LEMUS, R. La Industria de los Alimentos Deshidratados y la Importancia del Control de Procesos. Revista Chilena para la Industria de Alimentos. Indualimentos, 9 (42): 50-67, 2006.

- VEGA, A. TELLO, C. LEMUS, R. Simulación matemática del proceso de secado de la Gracilaria Chilena (*Gracilaria Chilensis*). Revista Chilena de Ingeniería, 15 (1): 55-64, 2007.
- VELA, L. DE LORENZO, C. PÉREZ, R. A. Antioxidant capacity of Spanish honeys and its correlation with polyphenol content and other physicochemical properties. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87: 1069-1075, 2007.
- VERGARA, P. Conservación de manzanas Granny Smith por métodos combinados. Tesis (Título de Ingeniero Agrónomo). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales, 1994. pp 8-26.
- WELTI-CHANES, J. MÚJICA-PAZ, H. VALDEZ-FRAGOSO, A. LÓPEZ-MALO, A. PALOU, E. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. Journal of Food Engineering, 57: 305-314, 2003[a].
- WELTI-CHANES, J. MÚJICA-PAZ, H. VALDEZ-FRAGOSO, A. LÓPEZ-MALO, A. PALOU, E. Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. Journal of Food Engineering, 56: 307-314, 2003[b].
- XIE, J. y ZHAO, Y. Nutritional enrichment of fresh apple (var. *Royal Gala*) by vacuum impregnation. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 54 (5): 387-398, 2003.
- XIE, J. y ZHAO, Y. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. Trends in Food Science and Technology, 15: 434-451, 2004.

ANEXO 1

Tabla para la obtención del valor de la prueba de almidón

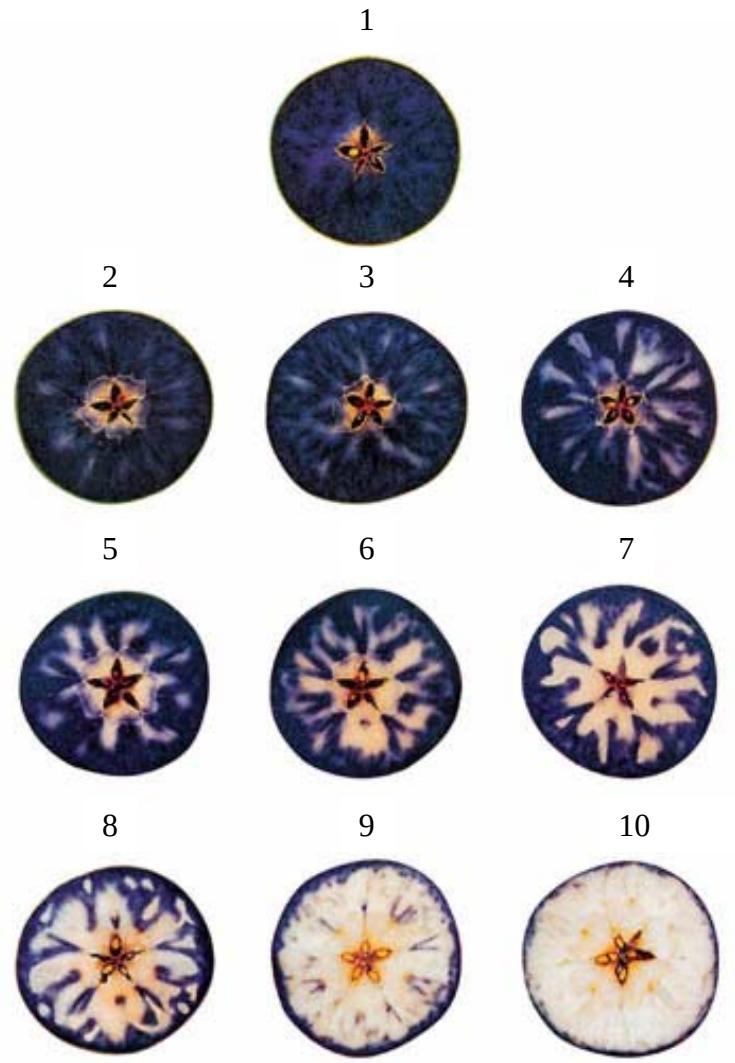


Figura 13: La inmersión en una solución de yodo indica la desaparición del almidón (color oscuro) a medida que la manzana madura (FAO, 2003).

ANEXO 2

Fotografías de variedades de miel utilizadas

ANEXO 3

Variación del color de manzana fresca sometida a impregnación por simple inmersión e impregnación a vacío

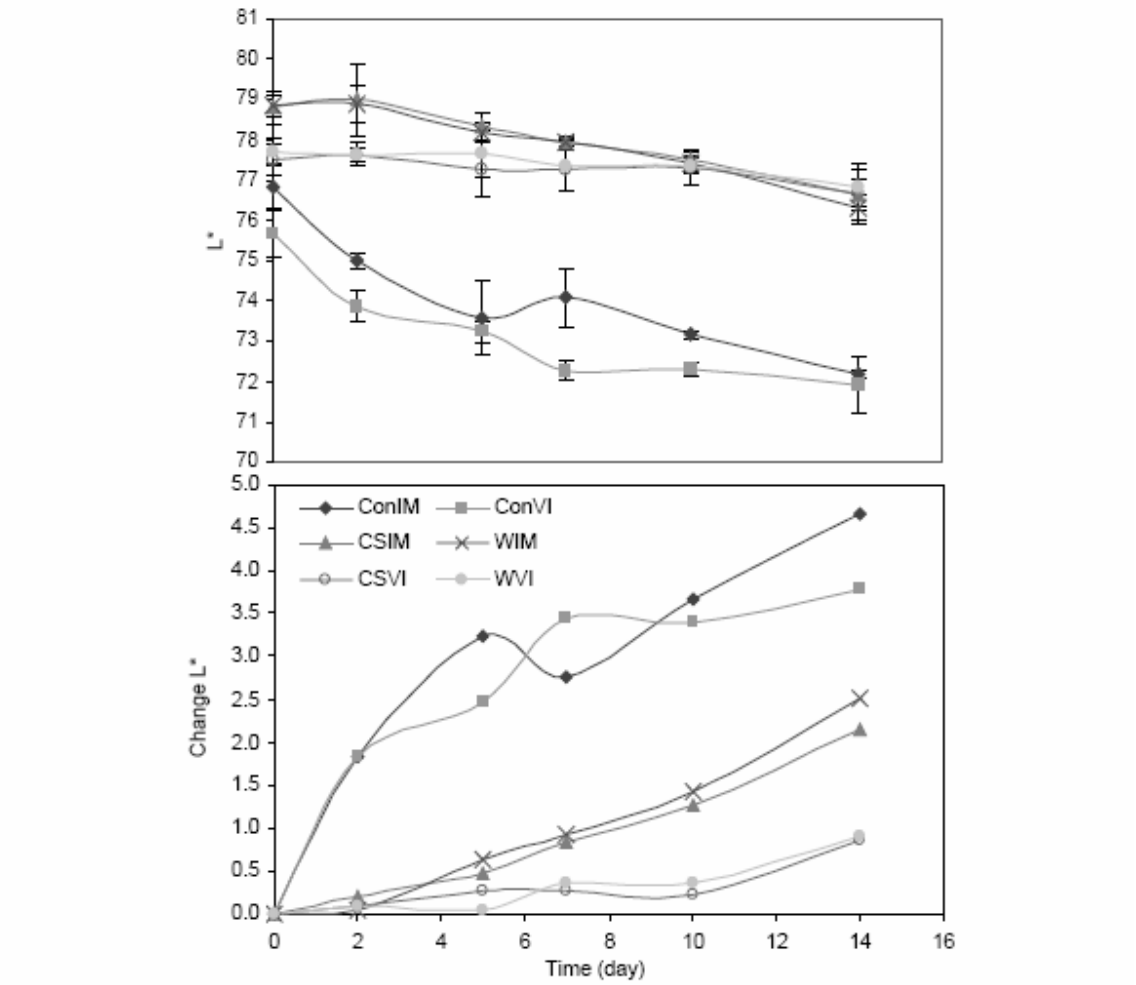


Figure 2. Color change of fresh-cut apple slices subjected to immersion (IM) or VI treatment in 10% wildflower honey or HFCS solution during 14 days of storage at 3°C. ConIM, IM in distilled water; ConVI, VI in distilled water; CSIM, IM in HFCS; WIM, IM in wildflower honey; CSVI, VI in HFCS; WVI, VI in wildflower honey.

Jeon y Zhao (2005).

ANEXO 4

Variación del color de manzana fresca impregnada a vacío con miel de frambuesa (monofloral) y multifloral

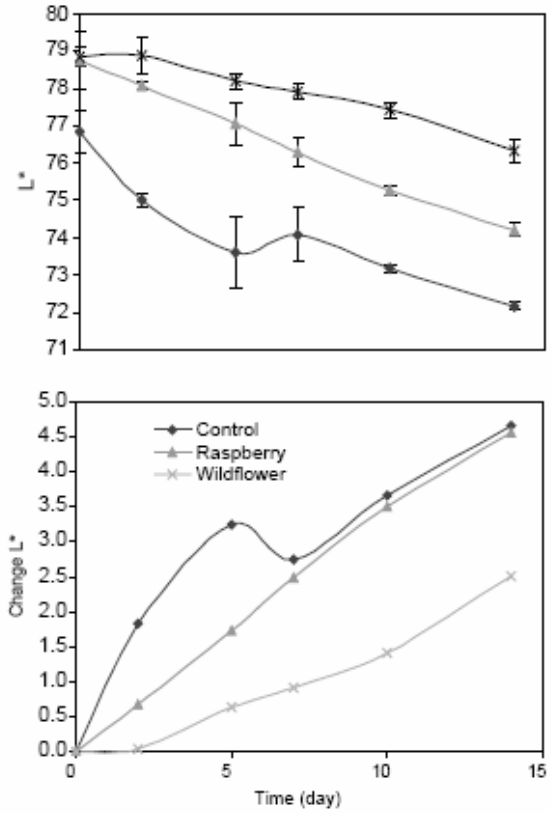


Figure 1. Color change of fresh-cut apple slices subjected to immersion treatment in 10% honey solution during 14 days of storage at 3°C. Control, samples dipped in distilled water.

Jeon y Zhao (2005).

ANEXO 5

Resultados del diseño experimental sobre manzana deshidratada por aire forzado

(p1)= 20	*Color (∆E)*		
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	21,39 ± 0,5	15,86 ± 0,35	13,91 ± 1,6
1,85	18,76 ± 0,66	19,09 ± 0,76	17,14 ± 0,99
2,31	23,75 ± 0,74	18,46 ± 0,25	18,72 ± 0,29

(p1)= 23,5			
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	13,41 ± 0,71	10,26 ± 0,79	13,08 ± 0,56
1,85	12,95 ± 0,62	12,8 ± 0,46	8,23 ± 1,87
2,31	15,31 ± 1,06	8,59 ± 1,19	6,22 ± 0,52

(p1)= 27			
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	13,67 ± 0,32	11,98 ± 0,46	7,71 ± 0,68
1,85	14,45 ± 0,29	13,25 ± 1,01	8,19 ± 0,58
2,31	14,61 ± 1,23	10,41 ± 1,13	10 ± 0,95

(p1)= 20	*F. máxima (N)*		
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	17,55 ± 1,02	20,94 ± 1,61	23,54 ± 1,15
1,85	16,54 ± 0,84	17,69 ± 0,91	21,17 ± 0,64
2,31	16,42 ± 1,88	21,03 ± 1,32	31,68 ± 2,72

(p1)= 23,5			
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	22,38 ± 0,92	25,27 ± 1,62	30,68 ± 1,96
1,85	24,18 ± 0,76	31,55 ± 1,49	34,17 ± 1,09
2,31	18,91 ± 1,02	26,61 ± 0,98	34,62 ± 2,22

(p1)= 27			
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	29,42 ± 0,6	31,97 ± 0,62	37,27 ± 1,63
1,85	25,83 ± 1,36	27,27 ± 1,87	36,55 ± 2,19
2,31	24,93 ± 1,35	26,7 ± 1,39	45,99 ± 1,53

ANEXO 6

Resultados del diseño experimental sobre manzana deshidratada por infrarrojo y aire forzado

(p1)= 20	*Color (∆E)*		
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	12,46 ± 0,89	8,18 ± 1,8	8,46 ± 1,18
1,85	6,81 ± 0,66	6,24 ± 0,8	7,62 ± 0,9
2,31	14,44 ± 0,61	5,26 ± 0,68	5,99 ± 0,71

(p1)= 23,5			
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	13,73 ± 1,28	6,26 ± 0,27	5,74 ± 1,19
1,85	8,86 ± 1,58	5,52 ± 0,88	5,6 ± 0,77
2,31	10,02 ± 1,35	5,07 ± 0,39	5,25 ± 0,59

(p1)= 27			
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	7,29 ± 2,99	7,35 ± 0,84	4,51 ± 0,41
1,85	14,22 ± 1,51	13,09 ± 0,7	9,09 ± 0,57
2,31	10,11 ± 1,6	6,91 ± 1,56	4,47 ± 0,62

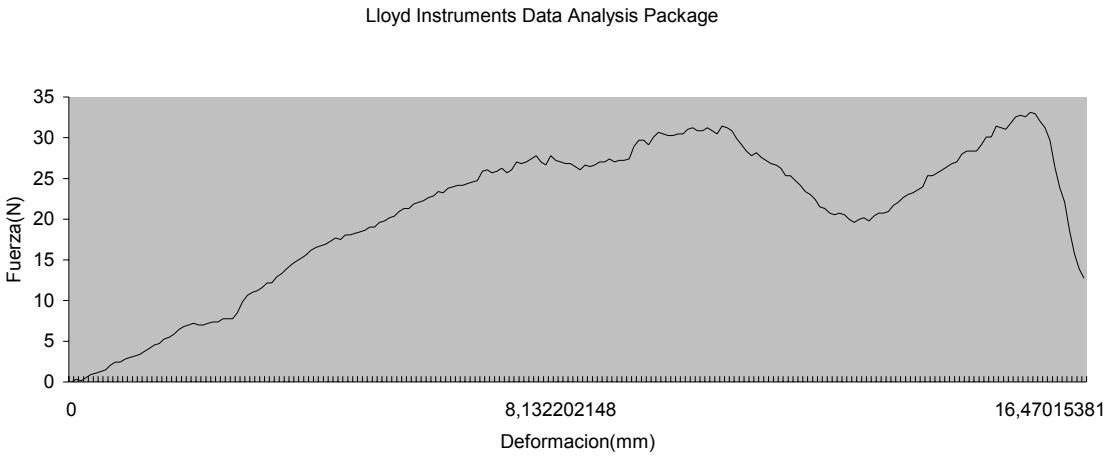
(p1)= 20	*F. máxima (N)*		
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	23,09 ± 1,22	24,43 ± 1,95	28,83 ± 3,2
1,85	20,48 ± 0,85	23,05 ± 1,92	28,68 ± 1,87
2,31	16,57 ± 0,84	21,64 ± 1,07	29,29 ± 1,01

(p1)= 23,5			
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	22,28 ± 1,86	23,55 ± 0,44	27,86 ± 0,75
1,85	15,78 ± 0,32	21,46 ± 0,95	25,67 ± 1,35
2,31	20,35 ± 0,12	25,23 ± 2,27	30,66 ± 0,12

(p1)= 27			
Antioxidantes (A)/(t2)	**1**	**2,5**	**4**
1,39	23,83 ± 1,67	27,24 ± 0,09	34,66 ± 1,63
1,85	23,31 ± 2,35	22,18 ± 0,7	28,44 ± 2,16
2,31	21,08 ± 1,03	23,89 ± 1,22	42,59 ± 2,44

ANEXO 7

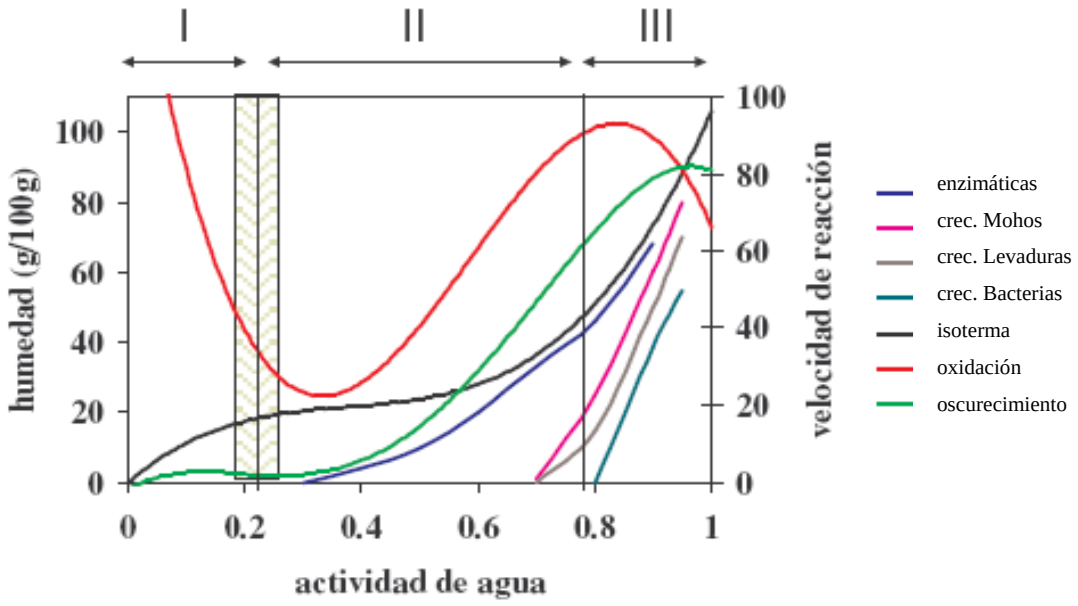
Curva de Fuerza-Deformación típica de hojuelas altamente impregnadas.



Curva correspondiente al punto central de la optimización para secado por aire forzado. Condiciones de pre tratamiento: t1=3 minutos; p1=23,5 pulg Hg vacuométricas y t2=2,5. Solución de impregnación al 10 %p/p de miel de hierba azul.

ANEXO 8

Gráfica del efecto de la actividad de agua sobre la velocidad de reacciones típicas de deterioro en alimentos



Ponce (2005).