

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

**Elaboración de Láminas de Fruta a partir de
Arándano (*Vaccinium corymbosum*) c.v. Elliot y Manzana (*Malus
pumila* Mill.) c.v. Liberty.**

Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al grado de
Licenciado en Ingeniería de Alimentos.

Cecilia Ana Guerra Oporto

VALDIVIA - CHILE

2005

PROFESOR PATROCINANTE:

Sr. Fernando Figuerola Rivas

Ing. Agrónomo, M. Sc.

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos

PROFESOR INFORMANTE:

Sr. Kong Shun Ah - Hen

Ingeniero en Alimentos, (Dipl. - Ing.; Dr.- Ing.)

Doctor en Ingeniería

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos

PROFESOR INFORMANTE:

Sr. Fernando Medel Salamanca

Ingeniero Agrónomo

Dr. Ing. Agrónomo

Instituto de Producción y Sanidad Vegetal

A mi familia, por su amor, comprensión, constante apoyo y esfuerzo, ya que juntos facilitaron el logro de este gran anhelo de formarse como profesional...

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Mis sinceros agradecimientos, al Sr. Fernando Figuerola R., profesor patrocinante, por su apoyo y ayuda en el desarrollo de mi tesis.
- ❖ Al Sr., Kong Shun Ah - Hen y Sr. Fernando Medel S., profesores informantes, por su colaboración en la realización de este trabajo.
- ❖ A la Sra., Marcia Rojas y Sr. Fernando Asenjo, por su colaboración en todos los aspectos técnicos y experimentales de esta investigación.
- ❖ Al personal administrativo y a los auxiliares del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, por su gentil ayuda.
- ❖ En especial a la Sra. Clara, mi suegra, por su incondicional ayuda y comprensión brindada en los momentos que más lo necesitaba.
- ❖ A toda mi familia, mi Madre, Carlos, mis hijos por toda su ternura y ayuda brindada en todo momento.
- ❖ A todas mis compañeras y compañeros, que contribuyeron al buen logro de esta investigación.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Antecedentes generales de la materia prima	3
2.1.1	Características del arándano	4
2.1.2	Características de la especie	5
2.2	La manzana	6
2.2.1	Características de la manzana	7
2.2.2	Características de la especie	7
2.3	Agua en los alimentos	8
2.3.1	Función del agua en los alimentos	8
2.3.2	Actividad de agua	9
2.4	Láminas de Fruta (“Fruit Leathers”)	10
2.5	Operaciones preliminares en la elaboración de láminas de fruta	12
2.5.1	Manejo de la materia prima	12
2.5.2	Lavado	12
2.5.3	Selección	12
2.5.4	Escaldado	13
2.5.5	Reducción de tamaño	13
2.5.6	Deshidratación	14
2.5.7	Cinética del proceso de secado	16
2.6	Valor nutritivo de las láminas de fruta	16
2.6.1	Contenido de azúcares	16

2.6.2	Fibra dietética	17
2.6.3	Pectina	17
2.6.4	Contenido de vitamina	18
2.7	Evaluación sensorial	19
3	MATERIAL Y MÉTODO	21
3.1	Material	21
3.2	Método	21
3.2.1	Metodología utilizada	22
3.2.2	Determinaciones analíticas	22
3.2.2.1	Materia prima	22
3.2.2.2	Producto terminado	24
3.2.3	Evaluación sensorial	24
3.2.4	Análisis de vida útil	24
3.2.5	Diseño experimental y análisis estadístico	25
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	26
4.1	Determinaciones analíticas	26
4.1.1	Arándano	27
4.1.2	Manzana	28
4.2	Características físico-químicas de las mezclas de pulpas para elaborar las Láminas de fruta	29
4.3	Características del producto terminado	30
4.4	Fibra dietética	34
4.5	Evaluación sensorial	35
4.5.1	Aceptabilidad	36
4.5.2	Atributos de calidad	37
4.6	Vida útil	39
4.7	Proceso de deshidratación en la elaboración de las laminas de fruta	40

4.7.1	Comportamiento de secado de las distintas mezclas	40
4.7.2	Representación del proceso de secado en función de parámetros normalizados	47
4.8	Rendimientos	50
5	CONCLUSIONES	51
6	RESUMEN	52
	SUMMARY	53
7	BIBLIOGRAFÍA	54
	ANEXOS	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Superficie de arándanos cultivados por regiones	3
2	Características del fruto del arándano	5
3	Características del arándano	6
4	Características químicas de la manzana	7
5	Características químicas de la manzana cv Lyberty	8
6	Composición de los tratamientos utilizados	22
7	Caracterización química de la materia prima	26
8	Características de las mezclas	29
9	Características del producto terminado	32
10	Porcentaje de retención y pérdidas de ácido ascórbico en el producto Terminado	34
11	Contenido de fibra dietética de las láminas de fruta a partir de arándano	35
12	Evaluación de aceptabilidad de las láminas de fruta a partir de arándano	36
13	Evaluación descriptiva global de las láminas de fruta a partir de arándano	37
14	Presencia o ausencia de hongos en el producto terminado	39
15	Rendimientos de los ensayos de deshidratación	50

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución de superficie plantada de arándanos, 2003	4
2	Diagrama de flujo de láminas de fruta a partir de arándano	23
3	Láminas de frutas a partir de arándano	31
4	Determinación del punto crítico para la humedad promedio en función del tiempo	41
5	Humedad promedio en función del tiempo	41
6	Contenido de humedad en función del tiempo de secado para los tres tratamientos	42
7	Gráficos de velocidad de secado versus tiempo de secado	43
8	Curvas de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre	44
9	Velocidad de secado adimensional en función del tiempo	47
10	Promedio de la curva general e función del tiempo y la humedad adimensionales	49

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Planilla evaluación sensorial para aceptabilidad	62
2	Planilla de evaluación sensorial para atributos de calidad	63
3	Contenido de humedad con respecto a la masa seca en función del tiempo de secado para los tratamientos T1, T2 y T3	65

1 INTRODUCCION

Una importante ventaja de los sistemas de procesado es que permiten que los alimentos se mantengan comestibles durante mayor tiempo. En la actualidad los consumidores buscan productos donde puedan obtener diferentes sensaciones, diversidad en su dieta, y un amplio rango de beneficios nutricionales.

Por lo anterior y en la búsqueda de diseñar un producto novedoso con aporte nutricional, de fácil consumo y buena estabilidad de almacenamiento, es que se investigó uno de estos productos, los llamados láminas de fruta (*“fruit leathers”*), elaborados a partir de pulpas de frutas, azúcar y otros ingredientes menores. Éstos se obtienen al disminuir la humedad de una extensa y fina capa de puré de fruta, mediante un proceso de concentración y deshidratación, hasta conseguir un producto de estructura cohesiva y coriácea, liviano, agradable y grato, para el consumo.

Muchas frutas son disponibles para estos “cueros de fruta”, que incluyen manzanas, damascos, plátanos, bayas, cerezas, uvas, naranjas, peras, piñas, ciruelas, frambuesas, tangerinas, y tomates. La variedad de combinaciones de sabores posibles son muchas.

Basado en esto se llevó a cabo la elaboración de láminas de frutas a partir de pulpa de arándano, (*Vaccinium corymbosum*) cv. Elliot. Debido al gran auge de la producción de arándanos en Chile además el crecimiento sostenido de las exportaciones durante los últimos 10 años y en las actuales condiciones de la agricultura chilena, amerita su proceso de industrialización más aún si las características que presenta este fruto son agradable sabor y atributos particulares que lo hacen merecedor de un gran potencial exportador.

La hipótesis de la presente investigación es: “si se elaboran láminas de fruta, con altos contenidos de azúcar, arándanos (*Vaccinium corymbosum*) cv. Elliot, y manzanas (*Malus pumila* Mills.) cv. Liberty será posible su conservación sin la adición de preservantes, por un periodo prolongado no menor de seis meses.

Los objetivos planteados fueron los siguientes:

Objetivo general: Elaborar un producto natural a partir de pulpa de arándano y pulpa de manzana congelados, sin la adición de preservantes y que se pueda conservar por un periodo considerable de tiempo, con una baja actividad de agua, además que presente una alternativa para producto de descarte de comercialización en fresco.

Objetivos específicos:

- Producir láminas de fruta sin preservantes, ni aditivos, sólo con adición de azúcar.
- Adicionar pulpa de manzana a la pulpa de arándano para mejorar sus propiedades químicas y físicas de las láminas, debido a su contenido de pectina y fibra dietaria, que favorecería la formación del gel en el producto.
- Caracterizar la materia prima y evaluar sus atributos para la formación de una lámina.
- Caracterizar el producto terminado en términos de calidad para una mejor aceptabilidad del consumidor.
- Demostrar que con los datos cinéticos obtenidos en forma dimensional para las tres mezclas, se logra obtener un modelo común para los tres tratamientos con parámetros normalizados.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Antecedentes generales de la materia prima

El principal país productor y consumidor de arándanos es Estados Unidos que cultiva más del 50% del volumen mundial. La mayoría de los países productores se encuentran en el hemisferio norte. Frente a este escenario, Chile se presenta actualmente como una fuente de abastecimiento en contra estación de arándanos frescos.

Se destaca como un principal productor y ha pasado a ser el tercer país en importancia mundial de arándano cultivado, Chile tiene una participación de un 6% a 7% del total de las importaciones a Estados Unidos, (AGROECONÓMICO, 2004; CHILE, FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA. (FIA), 2002; AGROANÁLISIS, 2001; BUZETA *et al.*, 1997).

La producción se concentra entre la IV y X Regiones (FIGURA 1), la distribución por región se puede observar en el CUADRO 1 (CHILE, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, 2003).

CUADRO 1. Superficie de arándano cultivado por regiones.

Región	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	Total
(has.)	3	59	115	55	202	429	362	685	1.910

FUENTE: INIA, (2003)

Actualmente, la superficie de arándanos en el país se estima alrededor de 1910 hectáreas (CHILE, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, 2003); concentrándose la mayor cantidad en la décima región con 685 ha plantadas, como se puede observar en la FIGURA 1. Con el ritmo de plantación actual se prevé que los

volúmenes ofertados por Chile seguirán aumentando a un ritmo del 20 a 25% anual, con una producción estimada de 11.000 toneladas anuales (CHILE, FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA, 2002).

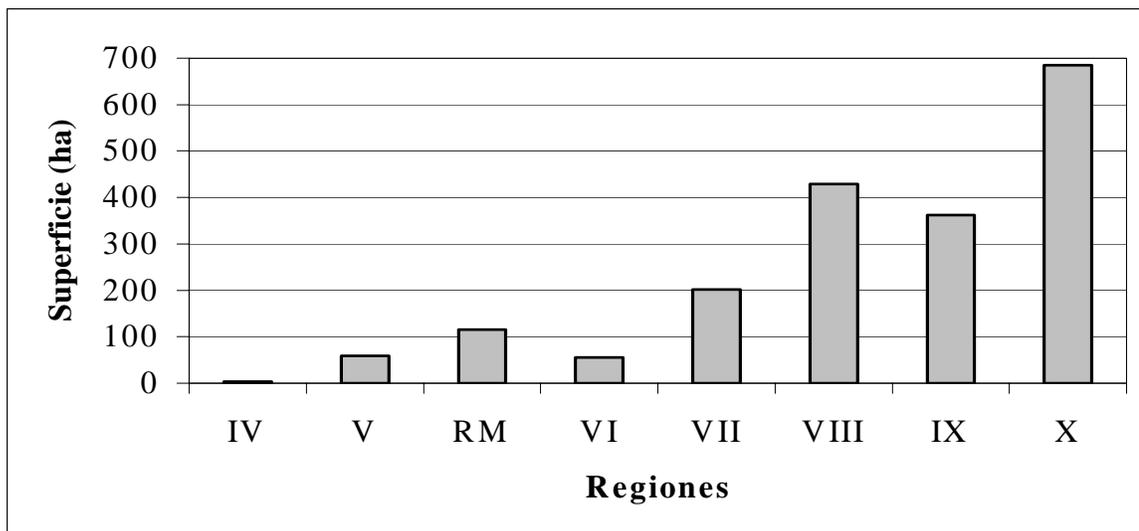


FIGURA 1. Distribución de superficie plantada de arándanos, 2003.

FUENTE: (INIA, 2003)

2.1.1 Características del arándano. El arándano (*Vaccinium corymbosum* E.), es una planta tetraploide perenne originaria de Norteamérica, que produce un fruto de color azul oscuro (CHILE, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS 2003; CHILE, FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA, 2002; SUDZUKI, 2002; FENG y TANG, 1999; BUZETA *et al.*, 1997; KALT y McDONALD, 1996).

Se considera un frutal menor dentro del grupo de los berries, puede alcanzar alturas de hasta 2,5 m, y fue introducido en Chile a principios de la década de los ochenta del siglo 20.

La principal forma de comercialización de este fruto es en fresco, los arándanos luego de la cosecha no pueden ser mantenidos por más de 6 meses, debido a que la estabilidad del color del arándano es un importante aspecto que controla la calidad durante el proceso de almacenamiento, (STONE y SIDEL, 1995; CAMIRE, *et al.* 1994; YANG y YANG,

1987). Debido a este factor de calidad, es que se han llevado a cabo varios estudios en desarrollo de nuevos productos, como por ejemplo, la preparación de puré de arándanos congelados, el cual es uno de los ingredientes promisorios para uso en alimentos para bebés, coberturas, relleno para pastel, rollos de fruta, productos deshidratados etc. (SEPULVEDA, 2000; YANG y YANG; 1987).

2.1.2 Características de la especie. El arándano pertenece a la familia Ericaceae, y ha sido clasificado en la subfamilia *Vacciniaceae*. Algunas especies ornamentales como las azaleas y el rhododendron, también se encuentran dentro de esta clasificación (SUDZUKI, 2002; BUZETA *et al.*, 1997; ECK, 1989). La epidermis del fruto está provista de secreciones cerosas (pruina), que le dan una terminación muy atractiva, similar a aquella de otras especies como por ejemplo la ciruela. El fruto puede poseer hasta 100 semillas pequeñas (1,5 mm largo por 0,8 mm de ancho), que se encuentran al interior del endocarpio, (SUDZUKI, 2002; CHILE, FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA, 2002; BUZETA *et al.*, 1997).

Las características físico - químicas del arándano se pueden observar a continuación en los CUADROS 2 y 3.

CUADRO 2. Características del fruto del arándano.

Parámetro	Unidades (g / 100g)		
Humedad	85,15	84,60*	84,61**
Proteína	1,12		0,67**
Cenizas	0,19		
Carbohidratos	13,51		14,13**
Azúcares	10,65		
Fibra total dietética	2,86	4,90*	
Calorías (kcal)			56,00**
Vitamina C (mg)		30,00*	13,00**

FUENTE: SAPERS (1984), * SENSER y SCHERZ (1999), ** USDA (2002)

En el CUADRO 2 se puede observar que la humedad del arándano se encuentra en un rango entre 84% a 85% según los autores (SENSER y SCHERZ, 1999 y SAPERS, 1984).

SAPERS, (1984), encontró para el contenido de fibra dietética un valor de 2,86g/100 g de fruta, siendo menor a la que describieron los autores (SENSER y SCHERZ, 1999) con un 4,90 g/100 g de fruta.

CUADRO 3. Caracterización del arándano.

Parámetro	Unidad
pH	2,85 – 3,49
Acidez titulable (%) expresada como ác. Cítrico	0,40 – 1,31
Sólidos solubles (°Brix)	11,20 – 14,30
Total antocianinas (mg)	85,00 – 270,00

FUENTE: ANGLADN (1994), SAPERS (1984)

En el CUADRO 3 se describen las características generales del fruto del arándano entre ellas, el pH que tiene rango de 2,85 a 3,49; la acidez titulable expresada como ácido cítrico entre 0,40 y 1,31 y los sólidos solubles oscilan entre 11,20 y 14,30 °Brix

Las antocianinas, están siendo estudiadas, pues mejora la ceguera, y reduce la incidencia de enfermedades relacionadas con la edad (YANG y YANG, 1987; SAPERS *et al.*, 1984).

2.2 La manzana

El fruto del manzano (*Malus pumila* Mills.), corresponde a un pomo, la parte carnosa se forma a partir de tejido del receptáculo del cáliz de la flor del manzano, posee cinco carpelos, generalmente con dos semillas cada uno, más o menos unidos en la cavidad calicinal, la que tiene forma de copa (MEDEL, 1993; WESTWOOD, 1982).

La características físico - químicas de la manzana se puede observar en el CUADRO 4.

2.2.1 Características de la manzana. Según ARTHEY, 1996; la manzana posee un pH entre 2,8 – 3,3 y tiene alrededor de 11% de azúcares, pero esto varía según el cultivar y según las condiciones de cultivo. En general, el agua y azúcares constituyen en conjunto un 95% de los componentes de la manzana por lo que el contenido de azúcares varía de acuerdo al contenido de agua (CHILE, CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN, 1980).

CUADRO 4. Características química de la manzana.

Parámetro	Monto
Humedad (%)	84,20
Fibra cruda (g)	0,50
Hidratos de carbono (g)	14,10
Ac. Ascórbico total (mg)	5,60
Calorías (Kcal)	56,00

FUENTE: SCHMIDT - HEBBEL *et al.*, (1990)

2.2.2 Características de la especie. Específicamente el árbol de la manzana *Malus pumila cv. Liberty* es vigoroso, de copa redonda y abierta, los frutos son de calibre medio, forma redonda achatada. De color rojo intenso cubriendo gran parte de la piel, que tiene color de fondo verde amarillo. La pulpa es de color blanco, de textura fuerte, crujiente, jugosa y aromática (MEDEL *et al.* 1998; MEDEL, 1992).

Las características son resistencia a enfermedades fungosas, madurez temprana, así como las características pomológicas y organolépticas que definen su gran potencial en la agroindustria (MEDEL, 2001; MEDEL *et al.*, 1998; MEDEL, 1993).

Las manzanas tienen la propiedad de formar geles en combinación con azúcares y algún ácido, esto se debe a su contenido de pectinas lo que favorece a aquellos productos en que la textura y firmeza son un factor de calidad como es el caso de conservas, purés, congelados y deshidratados (CASP y ABRIL, 1999; BELITZ y GROSCH, 1997; FENNEMA, 1993; CHEFTEL *et al.*, 1976).

Las características químicas de este cultivar se muestra en el CUADRO 5.

CUADRO 5. Características química de la manzana Liberty

Parámetro	Monto
Presionometría: (lb/pulg ²)	18,40
Sólidos solubles (°Brix)	12,10
Acidez (% Máfica)	0,83
PH	3,30

FUENTE: ZAVALA, (1997); MEDEL (1993)

Específicamente, en cuanto al cultivar Liberty, MEDEL (1993) señala que este tipo de manzana posee un contenido de solidos solubles de 12,1 °Brix, una acidez de 0,83% de acidez málica y un pH de 3,3 (CUADRO 5).

2.3 Agua en los alimentos

2.3.1 Función del agua en los alimentos

En muchos alimentos el agua es el componente mayoritario, constituye el medio donde ocurren las reacciones químicas y participa como sustrato en las hidrólisis (BELITZ y GROSCH, 1997).

Las frutas y las hortalizas pueden contener un 90% o más de agua. El agua afecta a las condiciones de conservación de los alimentos, y por esta razón se elimina de los mismos, bien sea parcialmente, como en la evaporación y la concentración, o bien casi completamente como en la deshidratación (POTTER, 1999).

La eliminación del agua o su inmovilización por incremento de las concentraciones de sal o de azúcar, conduce, por tanto, a la inhibición de muchas reacciones y del crecimiento de microorganismos, consiguiéndose con ello un aumento en la vida útil de gran cantidad de alimentos (BELITZ y GROSCH, 1997).

2.3.2 Actividad de agua

La actividad de agua (a_w), es un mejor indicador de la alterabilidad de los alimentos que el contenido de agua, no es perfecto, puesto que otros factores como concentración de oxígeno, pH, movilidad del agua y el tipo de soluto presente, puede, en algunos casos, ejercer fuertes influencias sobre la velocidad de degradación (FENNEMA, 1993).

La actividad de agua está relacionado con la humedad relativa, y se expresa de la siguiente forma (BELITZ y GROSCH, 1997; TROLLER, 1983; SPERBER, 1983):

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{\%HRE}{100} \quad (1)$$

Donde:

p = Presión parcial de vapor del agua en un alimento a una temperatura T.

p_0 = Presión de vapor de saturación del agua pura a la misma temperatura T.

HRE = Humedad relativa en el equilibrio a la misma temperatura T.

Su valor oscila entre 0 y 1, (EWAIDAH y HASSAN, 1992; CHEMAN y SIN, 1997; BELITZ y GROSCH, 1997; CASP y ABRIL, 1999; IBARZ y BARBOSA - CANOVAS, 1999).

FENNEMA (1999) señala que las frutas desecadas que contienen un 15 – 20% de humedad, tienen un rango de a_w de 0,60 – 0,65, en el cual habría crecimiento de mohos y levaduras (CASP y ABRIL, 1999), y con un a_w de 0,5 no habría proliferación microbiana. Pero POTTER (1999) señala que a valores de a_w menores de 0,65 se inhibe completamente el desarrollo de mohos.

CASP y ABRIL (1999), afirman que en los alimentos una a_w inferior a 0,7 se considera el límite inferior que presenta todas las garantías de estabilidad.

El control de la actividad de agua (a_w) en alimentos adquiere cada día mayor importancia, por la enorme influencia que esta propiedad tiene en la predicción de la

estabilidad de un producto frente a alteraciones causadas por agentes químicos, enzimáticos o microbiológicos (GUARDA y ALVAREZ, 1991; ESTEBAN y MARCOS, 1989).

ESPERBER (1983) y TROLLER (1980), señalan que las interrelaciones entre a_w y pH muestran que mientras la a_w en los alimentos baja y el pH también disminuye, se limita el crecimiento de microorganismos. Estos efectos han sido descritos para *C. perfringens* y para *S. aureus*. Un efecto similar ocurre con mohos y levaduras.

2.4 Láminas de fruta (“fruit leathers”)

La producción de láminas de frutas, también llamadas pieles o rollos de fruta, comenzaron a ser estudiadas en 1942 como una solución para obtener raciones de emergencia, para las fuerzas armadas, por su alto contenido energético, las cuales pueden ser almacenadas entre las temperaturas de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin sufrir ningún tipo de deterioro (Cruess citado por LODGE, 1981).

El origen de las láminas de fruta es Norteamérica pero su consumo se ha extendido a otros países de Centro y Sudamérica, África del Norte, Europa, países Mediterráneos, Medio Oriente etc., donde es una excelente alternativa, al almacenaje de frutas en lugares de condiciones climáticas adversas (áridas) y desérticas (SEPULVEDA *et al.*, 2000; STIER, 1996; EWAIDAH y HASSAN, 1992; LODGE, 1981).

Las láminas de fruta son elaboradas por la deshidratación de purés de fruta (KAYA y MASKAN, 2003; MASKAN *et. al.*, 2002; CHEMAN y SIN, 1997; STIER, 1996; EWAIDAH y HASSAN, 1992; MOYLS, 1981; CHAN y CAVALETTO, 1978). Puede ser ligeramente endulzado luego esparcido en una bandeja en forma de lámina y finalmente se deshidrata. El producto tiene una apariencia traslúcida-brillante, textura masticable, buen sabor y aroma (SALUNKHE y DO, 1974).

El proceso de preservación es muy simple y básicamente involucra la producción de puré de fruta rico en azúcar, el cual es secado posteriormente. Ambos procesos, la adición de azúcar y el secado reducen la cantidad de agua libre disponible y por lo tanto previenen el crecimiento de microorganismos, los cuales deterioran la fruta. Además es un atractivo método alternativo para extender la vida útil de la fruta procesada (VIJAYANAND *et al.*, 2000; ANÓNIMO, 1998).

El secado o deshidratación puede llevarse a cabo en un deshidratador o bajo energía solar directa; la deshidratación implica el control sobre las condiciones climáticas dentro de una cámara y el secado solar está a merced de los elementos naturales, por lo que los alimentos secados en una unidad deshidratadora pueden tener mejor calidad que sus duplicados secados al sol (TORRES, 1988).

Estos productos alimenticios pueden ser secados mediante la aplicación de aire, vapor sobrecalentado, en vacío, con gas inerte o por aplicación directa de calor. Generalmente se utiliza el aire caliente como medio secador, debido a su abundancia, conveniencia y a que puede ser controlado fácilmente mediante equipos adecuados (TORRES, 1988).

El tiempo de deshidratación según Amoriggi citado por STIER (1996), varía entre 4 y 48 horas. Además MOYLS (1981) señala que se deben considerar factores como la temperatura de secado, la cual varía entre 45 °C y 121 °C. Sin embargo, las altas temperaturas provocan problemas de caramelización, por lo que no son aconsejables a pesar de que reducen considerablemente el tiempo de secado.

La lámina se despegga del molde, se corta y se envasa (Amoriggi citado por STIER, 1996; MOYLS, 1986). Se obtiene como producto final, un "Snack" de agradable sabor, y que no requiere de ningún otro tipo de procesamiento antes de ser consumido.

Los análisis de las láminas revelaron que el contenido de humedad era bajo, se sugiere que pueden ser degustados como alimentos de humedad intermedia (CHEMAN y SIN, 1997; SUMMERS, 1994).

2.5 Operaciones preliminares en la elaboración de láminas de fruta

Estas operaciones son de preparación de la muestra de materia prima, para el procesamiento de la fruta y se requieren en el proceso de elaboración de láminas de fruta. Entre las más importantes se pueden mencionar: manejo de la materia prima, lavado, selección, escaldado, reducción de tamaño y deshidratación.

2.5.1 Manejo de la materia prima. La función de esta etapa es la mantención de las condiciones higiénicas, la conservación de la calidad de la materia prima (como por ejemplo contenido de vitaminas, aspectos físicos) y el control de la proliferación de microorganismos (POTTER, 1999; CASP y ABRIL, 1999; FENNEMA, 1993).

2.5.2 Lavado. El lavado es una operación que generalmente constituye el punto de partida de cualquier proceso de producción para frutas y hortalizas. Este consiste en eliminar la suciedad que el material trae consigo antes que entre a la línea de proceso, evitando así las complicaciones derivadas de la contaminación que la materia prima puede contener.

La elección del método dependerá del producto y de la naturaleza de la elaboración. Algunos métodos de limpieza están adaptadas a las características de la superficie del producto (POTTER, 1999).

Este lavado debe realizarse con agua limpia y de ser necesario potabilizada mediante la adición de hipoclorito de sodio, a razón de 10 mL de solución al 10% por cada 100 litros de agua (PALTRINIERI y FIGUEROLA, 1998).

2.5.3 Selección. Luego de la limpieza la materia prima está lista para ser seleccionada. Esta operación se realiza en una superficie adecuada para tal operación. Se trata

entonces de separar toda fruta que no presenta uniformidad con el lote, en cuanto a madurez, color, tamaño o presencia de daño mecánico o microbiológico (PALTRINIERI y FIGUEROLA, 1998).

2.5.4 Escaldado. Esta operación tiene un gran uso en el procesamiento de frutas y hortalizas.

Consiste en un tratamiento térmico usado con el propósito de someter a los tejidos durante unos pocos minutos a 100 °C con agua caliente o vapor, con el propósito de acondicionar el material en diversos sentidos: ablandarlo para obtener un mejor llenado de los envases, inactivar enzimas deteriorantes causantes de malos olores, malos sabores y fallas del color natural del producto (PALTRINIERI y FIGUEROLA, 1998).

El escaldado se realiza habitualmente con vapor o agua caliente, la elección de uno u otro método depende del tipo de alimento y de los procesos que sigan al escaldado. Además, el tratamiento debe ser detenido en forma rápida mediante un enfriamiento eficiente, para que no se ocasionen pérdidas importantes de nutrientes (POTTER, 1999; PALTRINIERI y FIGUEROLA, 1998; FENNEMA, 1993).

2.5.5 Reducción de tamaño. La reducción de tamaño o desintegración, engloba todas aquellas operaciones que tienen como objetivo subdividir las piezas de alimentos de gran tamaño en unidades o partículas más pequeñas.

En esta operación se encuentran implicadas el corte, la molienda, la reducción a pulpa, la homogeneización y otros procedimientos similares (POTTER, 1999).

La pulpa de fruta es un producto intermedio elaborado a partir de frutas frescas, no pensado para el consumo como tal, y que consta de una parte mayoritaria formada por un puré de fruta.

El contenido mínimo en materia seca soluble de las diferentes pulpas es del 7% a 11% (BELITZ y GROSCH, 1997).

2.5.6 Deshidratación. La deshidratación de los alimentos es el método más antiguo de conservación de los alimentos perecibles (CASP y ABRIL, 1999), la cual consiste en la remoción de la mayor cantidad de agua presente en el alimento, normalmente por vaporización, por la aplicación de calor.

IBARZ y BARBOSA - CANOVAS (1999), señalan por deshidratación, la eliminación de agua contenida en el seno de un alimento. La aplicación de calor hace pasar el líquido, contenido en el alimento, a fase vapor.

Entre los productos obtenidos por deshidratación se encuentran algunos tan conocidos como la leche en polvo, el café instantáneo, las pasas y las ciruelas secas.

A pesar de que los términos de secado y deshidratación se utilizan como sinónimos, éstos se diferencian según el contenido de humedad, ya que se considera que un alimento está deshidratado si no contiene más de un 2,5% de agua, mientras que uno seco puede contener más de un 2,5% (IBARZ y BARBOSA - CANOVAS, 1999).

FENNEMA (1993), señala que cuando la humedad relativa del ambiente es suficientemente baja (60%) la actividad de agua en un producto determinado desciende hasta un nivel incompatible con el deterioro fisiológico, con el crecimiento microbiano y con los cambios químicos.

La deshidratación de productos posee una serie de ventajas:

- Los productos deshidratados son una alternativa de métodos de preservación para prolongar la vida útil (LIM *et al.*, 1995), por un alto grado de inhibición de actividad bacteriana y fungosa, y su duración depende de las condiciones de almacenaje.

- No afecta el aporte calórico proveniente de la constitución original de frutas y hortalizas, tampoco hay reducción del contenido de minerales, y la pérdida de vitaminas, no es mayor a la producida por otros métodos de conservación (MOYLS, 1981).

- El costo de transporte, almacenaje, y manipulación del producto, se reduce sustancialmente en relación con otros productos alimenticios. Además resulta conveniente para el comprador obtener un producto de baja humedad, y por ende una importante reducción en el peso (TELIS y SOBRAL; 2001, POTTER, 1999; STIER, 1996; MOYLS, 1981).

En algunos casos esta operación se aplica para conseguir productos más fáciles de utilizar o con un aspecto más atractivo (POTTER, 1999).

Factores que condicionan la efectividad del proceso de deshidratación:

- Estructura y composición del material: estas propiedades afectan la migración de agua hacia la superficie de secado.
- Contenido de sólidos solubles: un mayor contenido de sólidos solubles aumenta la retención de agua del producto.
- Tamaño del producto: en general la tasa de secado es directamente proporcional a la superficie, e inversamente proporcional al volumen.
- Humedad inicial del producto: el secado del producto depende de la transferencia de masa dada por la vaporización del agua presente; a medida que disminuye el contenido de agua se hace más difícil la evaporación, ya que el agua es retenida con más fuerza por las moléculas.
- Temperatura y humedad del aire de secado: a mayor temperatura, y menor humedad aumentan la velocidad de secado, sin embargo, a temperaturas altas se puede producir caramelización.
- Velocidad y turbulencia del aire: al aumentar la velocidad y turbulencia del aire, se obtiene una reducción en el tiempo de secado (STIER, 1996; FENNEMA, 1993; SPERBER, 1983; MOYLS, 1981).

La elaboración de láminas de fruta puede llevarse a cabo en un secador de bandejas o de armario, los cuales están formados por una cámara metálica rectangular (armario), en cuyo interior se disponen unos bastidores móviles. Cada bastidor lleva un número de bandejas poco profundas, montadas una sobre otras con una separación conveniente,

colocándose sobre ellas el producto a secar. El ventilador colocado en la parte superior hace circular el aire por los calentadores y después entre las bandejas, con ayuda de unos deflectores montados convenientemente (CASP y ABRIL, 1999).

El material puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal con una profundidad de 10 a 100 mm.

2.5.7 Cinética del proceso de secado. En el primer periodo – *periodo de velocidad constante de secado* – rige la vaporización superficial. Es decir, que desde el interior del sólido se transporta tanto líquido hacia la superficie, que la capacidad de vaporización de la superficie se ve plenamente utilizada. La velocidad de secado depende sólo de las condiciones exteriores y permanece constante.

En el segundo periodo – *periodo de velocidad decreciente de secado* – se reduce fuertemente el flujo de agua hacia la superficie, de tal forma que la capacidad de transferencia convectiva de masa, de la superficie no se utiliza plenamente y la humedad del aire en la interface disminuye con la humedad del sólido. La velocidad de secado se ve limitada por los procesos de transporte en el interior del sólido y disminuye proporcionalmente con la humedad del sólido (GINSBURG *et al.*, 1982).

2.6 Valor nutritivo de las láminas de frutas

El valor nutritivo es el aporte de nutrientes y beneficios que nos proporciona un alimento, para poder satisfacer las necesidades diarias de un individuo, entre ellos podemos mencionar los azúcares, la fibra y la vitamina C.

2.6.1 Contenido de azúcares. Los azúcares como la glucosa, fructosa, maltosa, sacarosa y lactosa poseen en común y en diferentes grados las siguientes características: se usan habitualmente por su dulzor; son solubles en agua y originan fácilmente jarabes; proporcionan energía; en alta concentración previenen el desarrollo de microorganismos y por ello pueden utilizarse como conservantes; se oscurecen y caramelizan al calentarlos (POTTER, 1999).

En la mayoría de los vegetales se encuentran cantidades muy pequeñas de sacarosa. La mayor parte de la sacarosa proviene del consumo de alimentos modificados (SINGH Y HELDMAN, 1998; FENNEMA, 1993).

2.6.2 Fibra Dietética. La fibra dietética es la parte comestible de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con la fermentación parcial o completa en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de las plantas. También promueven efectos fisiológicos benéficos que incluyen su propiedad laxante, la disminución del colesterol sanguíneo y/o la disminución de la glucosa sanguínea.

Desempeñan este papel la celulosa, la hemicelulosa, la pectina, la lignina y otras sustancias de origen vegetal que no se ingieren fácilmente y que en un conjunto reciben el nombre de fibra alimentaria o dietética (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO), 1999).

Por sus propiedades de solubilidad, las fibras dietéticas se dividen en: Fibra dietética soluble (FDS) y Fibra dietética insoluble (FDI).

Fibra dietética soluble (FDS). Es la fracción de la fibra dietética total (FDT) soluble en agua. Comprenden las pectinas, gomas, mucílagos, ciertas hemicelulosas y la celulosa modificada. La FDS puede variar entre 15% a 50% de la FDT, según el método analítico empleado.

Fibra dietética insoluble (FDI). Es la fracción de la FDT que es insoluble en agua.

Comprende celulosas, gran parte de las hemicelulosas y lignina.

2.6.3 Pectina. La pectina comercial se obtiene a partir de pulpa de manzana y de frutos cítricos. La pectina es un polisacárido constituido por 150 a 500 unidades de ácido galacturónico (WONG, 1995).

Se encuentran principalmente en las paredes celulares y los espacios intercelulares de los tejidos vegetales: son capaces de retener mucha agua y participan en la transferencia de agua en las plantas.

Posee propiedades tales como poder gelificante, desde el punto de vista de la tecnología alimentaria, la propiedad más importante de las pectinas es su capacidad para formar geles; las características del gel dependen esencialmente de dos factores: longitud de la molécula péctica y su grado de metilación.

Para un mismo contenido en pectina del gel final, la longitud de la molécula condiciona su rigidez o firmeza. Por debajo de una cierta longitud molecular, una pectina no da geles, cualquiera que sea la dosis empleada y las restantes condiciones del medio (POTTER, 1999; BELITZ y GROSCH, 1997; FENNEMA, 1993; CHEFTEL *et al.* 1976).

En cuanto al grado de metilación, contribuye por un lado a regular la velocidad de gelificación, pero, debido fundamentalmente a la influencia de los enlaces entre moléculas pécticas, también es responsable de algunas propiedades organolépticas de los geles pectina-azúcar-ácido, que forman las pectinas de alto contenido en metoxilo.

Geles pectina- azúcar-ácido: las pectinas de alto contenido en metoxilo, tales como las de frutas, se utilizan para la preparación de confituras, jaleas y mermeladas tradicionales. Los restantes caracteres del gel dependen de distintos factores, entre los cuales el contenido en pectina y en azúcar así como el pH definen un equilibrio fuera del cual no se forma el gel (CHEFTEL *et al.*, 1976). Las pectinas en solución forman geles al añadirles azúcar y ácidos, lo que constituye la base de la fabricación de jaleas (POTTER, 1999).

2.6.4 Contenido de vitamina. La vitamina C o ácido ascórbico, perteneciente a las vitaminas hidrosolubles (C y complejo B), no es almacenada en el organismo y por eso es necesario suministrarla constantemente (BERNAL, 1993). Se encuentra en todas las

células animales y vegetales, principalmente en forma libre y probablemente también unida a las proteínas (BELITZ y GROSCH, 1997).

El ácido ascórbico se le conoce también como vitamina C, vitamina antiescorbútica y ácido cevitamina. Esta vitamina es soluble en agua, es sensible al calor a la luz y al oxígeno. Tiene la ventaja de bajar el pH, presenta un fuerte poder reductor, sin riesgo para la salud (PENNACCHIOTTI, 1988).

El ácido ascórbico es altamente efectivo en inhibir el pardeamiento enzimático en cortes de frutas como la manzana (LOZANO DE GONZALEZ *et al.*, 1993; SAPERS *et al.*, 1991; SANTERRE *et al.*, 1988). Investigadores describen su modo de acción de formar una especie de barrera para la difusión de oxígeno dentro del producto (SANTERRE *et al.*, 1988).

2.7 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de los alimentos consiste en la aplicación de diferentes técnicas que mediante el uso de los sentidos permiten llegar a una valoración muy adecuada de los alimentos que son ingeridos. La evaluación sensorial llega a afinar los sentidos usando la fisiología y la psicología de la percepción (según Cornejo y Leverato, citados por KINAST, 2001).

STONE y SIDEL (1995) indican que, además se debe tratar de determinar el nivel de consumo, y el poder comprador del producto. El conocimiento de las características de los productos es importante; para intentar establecer un producto en un mercado es necesario aplicar un test que permita asegurar que va a ser consumido por el grupo de la población al cual está destinado.

Para conocer esta respuesta la evaluación sensorial resulta ser una útil herramienta que permite determinar algunas cualidades que los instrumentos y técnicas analíticas no son capaces de estimar.

La evaluación sensorial trabaja basándose en paneles de degustadores, jueces, que hacen uso de sus sentidos como herramientas de trabajo (WITTIG, 1981).

Una de las propiedades sensoriales más importante para los tecnólogos de alimentos, asociada con el sentido de la vista, es la apariencia; esta propiedad puede hacer que un alimento sea aceptado o rechazado de inmediato por el consumidor, sin ni siquiera haberlo probado (ANZUALDA, 1994)

El color es sin dudas el atributo más importante a la hora de la degustación, el olor afecta muy significativamente a la aceptación de los mismos. El olor es la percepción de sustancias volátiles - fragante o fétidas – por medio de la nariz. En cambio el aroma es la detección después de haber colocado el alimento en la boca. El gusto de un alimento puede ser salado, dulce, amargo o ácido; mientras que el sabor del alimento consiste en una combinación desde gusto y aroma (ANZUALDA, 1994).

3 MATERIAL Y METODO

3.1 Material

- **Lugar:** La investigación se realizó en los laboratorios de procesamiento de frutas y vegetales del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL), de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile, Valdivia.

La deshidratación del producto se realizó en la Estación Experimental Santa Rosa, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

- **Materia Prima:** La materia prima utilizada fue: arándano alto (highbush), (*Vaccinium corymbosum* L.), cv. Elliot, los que se recolectaron de la zona de San José de La Mariquina, Valdivia y se mantuvo congelado a -18° C; manzana (*Malus pumila* Mills) cv. Liberty, (proveniente del fundo Santa Rosa) Valdivia y azúcar granulada comercial (sacarosa).

- **Equipos:** Balanza, despulpadora; deshidratador de bandejas, potenciómetro, estufa, analizador de a_w , calorímetro.

3.2 Método

Mediante pruebas experimentales previas se establecieron las composiciones de los tratamientos a utilizar, variando la composición de los ingredientes para la elaboración de láminas de fruta deshidratada, las cuales se pueden observar en el CUADRO 6.

Las restricciones en el uso de los ingredientes fueron:

Arándano $\geq 50\%$

Manzana $\leq 35\%$

Azúcar $\leq 15\%$

El arándano su contenido debía ser mayor o igual a 50% ya que era el ingrediente principal. para la manzana su cantidad se determinó a un 35% máximo y por último 15% como máximo de sacarosa.

CUADRO 6. Composición de los tratamientos utilizados.

Tratamientos	Arándano (%)	Manzana (%)	Azúcar (%)
T1	80	15	5
T2	70	20	10
T3	50	35	15

3.2.1 Metodología utilizada. El proceso de elaboración de láminas de fruta se realizó en los siguientes pasos, a partir de la fruta congelada se procedió a su deshielo, luego se selecciono la fruta y se pesó, posteriormente se sanitizó, escaldó, despulpó, luego se adicionaron la pulpa de manzana y el azúcar. Después se mezclaron todos los ingredientes. Se concentró por algunos segundos a 80 °C, se vació en moldes de aluminio para su deshidratación, enfriamiento, cortado en láminas de 15 gr y finalmente envasado en celofán y almacenado a temperatura ambiente. El proceso se detalla más abajo en la FIGURA 2.

3.2.2 Determinaciones analíticas. Fueron realizadas para caracterizar, tanto la materia prima como el producto terminado.

3.2.2.1 Materia prima

- Sólidos solubles: mediante un refractómetro Bellingham Stanley RF330. (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1456. 1978).
- Acidez: se determinó por titulación potenciométrica utilizando NaOH 0,1 N. (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1138. 1976).
- pH: se cuantificó a través de potenciómetro Radiometer Copenhagen.
- Humedad: se determinó mediante método gravimétrico (ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. AOAC; 1995).
- Contenido de vitamina C: mediante el método de Tillmans (MATISSEK, *et al.* 1992). El ácido ascórbico es estimado por titulación con el indicador coloreado de oxidación–reducción 2,6–dicloroindofenol. Se adiciona EDTA como agente quelante para remover las interferencias de Fe y Cu.

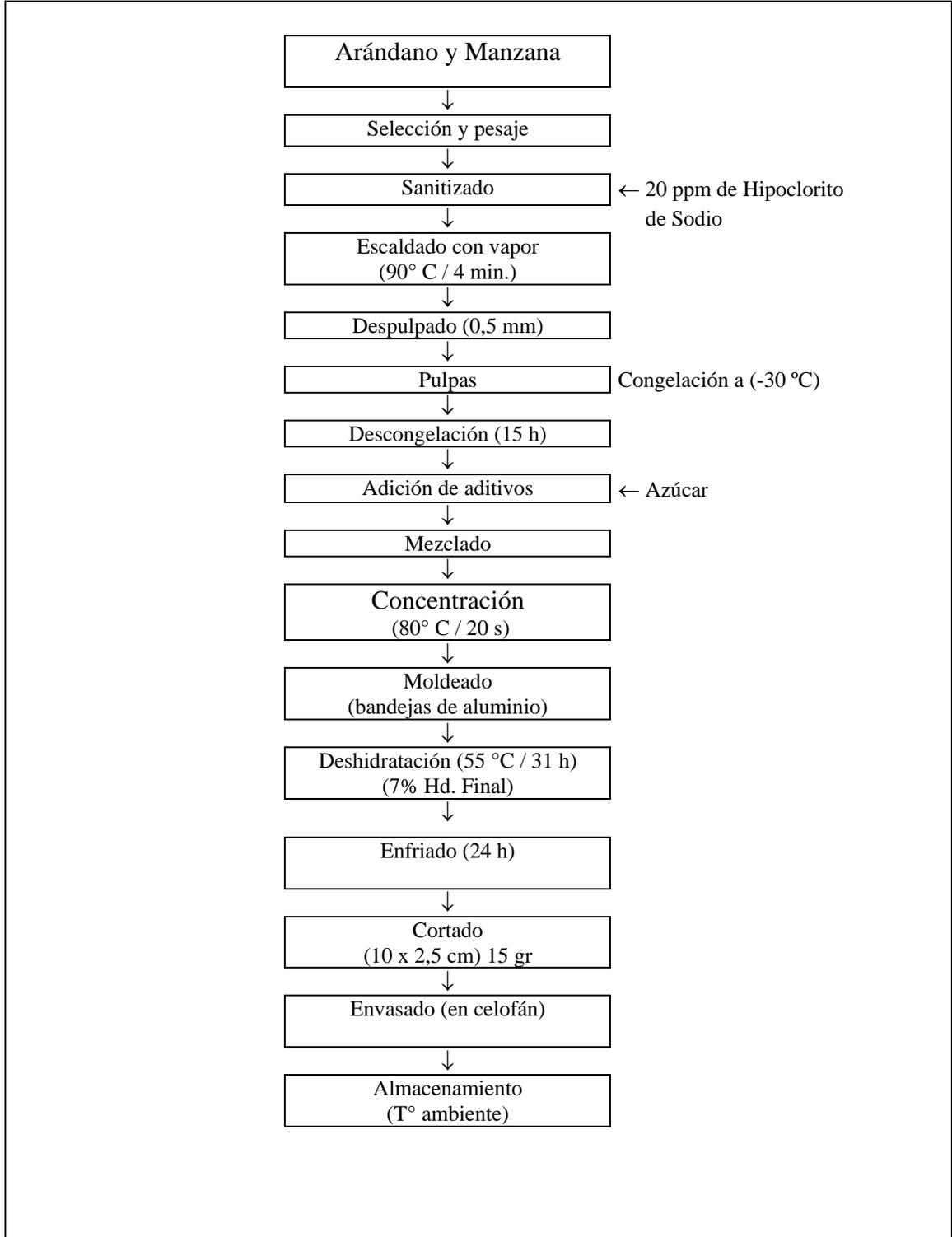


FIGURA 2. Diagrama de flujo de láminas de fruta a partir de arándano.

3.2.2.2 Producto terminado.

- Sólidos solubles: mediante un refractómetro Bellingham and Stanley RF330 (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1456. 1978).
- Acidez se determinó por titulación potenciométrica utilizando NaOH 0,1 N (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 1138. 1976).
- Humedad: se determinó mediante el método gravimétrico (ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. AOAC; 1995).
- Contenido de fibra dietaria soluble e insoluble: mediante el método gravimétrico enzimático MES – TRIS (LEE *et al.*, 1992).
- Actividad de agua (a_w): se determinó mediante un analizador de a_w Lufft 5803.
- Contenido de vitamina C: mediante el método de Tillmans (MATISSEK, *et al.*, 1992).

3.2.3 Evaluación sensorial. Al producto se le sometió a una evaluación sensorial donde se midió aceptabilidad usando una escala hedónica de 1 a 9, y calidad donde se calificó la apariencia, sabor, textura, color, dulzor con una escala de 1 a 7.

3.2.4 Análisis de vida útil. Este análisis se realizó evaluando el desarrollo de hongos en el producto final de dos maneras. La primera consistió en depositar las láminas en placas Petri estéril con agar papa dextrosa, y la segunda en placas Petri estéril sin agar, durante un periodo de ocho meses a temperatura ambiente, comparando resultados.

Las muestras se evaluaron en forma visual, se observó si hubo desarrollo o no de mohos para lo cual se marcó positivo si había desarrollo o negativo si no había crecimiento.

3.2.5 Diseño experimental y análisis estadístico. Se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado, con tres tratamientos y tres repeticiones, es decir, nueve ensayos. Estos fueron distribuidos aleatoriamente para ser deshidratados en tres diferentes procesos de secado bajo las mismas condiciones.

Los resultados de la investigación fueron analizados estadísticamente mediante el programa Statgraphics Plus 5.1 a través de análisis de varianza con un nivel de significancia del 95%. En caso de existir diferencias significativas ($p \leq 0,05$) se realizó el Test de Rango Múltiple de Tukey al 95% de confianza.

4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Determinaciones analíticas

Para la materia prima y mezclas las determinaciones realizadas después de la molienda, y antes de someterlas a deshidratación fueron, contenido de humedad, acidez, sólidos solubles (°Brix), contenido de vitamina C y pH; los resultados obtenidos son el promedio de seis repeticiones, los cuales se muestran en el CUADRO 7 y 8 respectivamente.

CUADRO 7. Caracterización química de la materia prima.

Determinaciones	Arándano	Manzana
Humedad (%)	85,20 ± 0,96	84,60 ± 0,79
Sólidos solubles (°Brix)	14,60 ± 0,29	12,10 ± 0,35
Acidez (%)	1,25 ± 0,09	0,58 ± 0,36
Vitamina C (mg / 100g)	14,00 ± 0,04	5,10 ± 0,03
pH	3,40 ± 0,04	3,50 ± 0,07
a _w	0,96 ± 0,01	0,95 ± 0,01

Las pulpas utilizadas en los tratamientos presentaron adecuadas aptitudes al procesamiento de las láminas, lo cual fue comprobado a través del análisis de acidez y pH. Los cuales correspondieron a valores de pulpas normales (BELITZ, 1999; SENSER y SCHERZ, 1999; SINGH y HELDMAN, 1998; ECK, 1989; SAPERS *et al.*, 1984).

4.1.1 Arándano

Humedad

La humedad de la pulpa de arándano en este estudio fue de 85,20% similar a la encontrada por SAPERS *et al.*, (1984) que obtuvo un 85,15%. Otros autores como SENSER y SCHERZ (1999) indican un 84,60% de humedad y FENG y TANG (1999) encontraron un valor de 82,50%.

Actividad de agua

Se puede observar que la actividad de agua (a_w) 0,95, fue comparable a valores de pulpas encontrados en la literatura, ya que estos son característicos de alimentos tipo purés (BELITZ y GROSCH, 1997; SENSER y SCHERZ, 1999; SINGH y HELDMAN, 1998; ECK, 1989; SAPERS *et al.*, 1984).

Sólidos solubles

En cuanto a sólidos solubles del arándano se obtuvo un valor de 14,60 °Brix, el cual es levemente mayor al rango de 11,20 a 14,30°Brix encontrado por los autores SAPERS *et al.*, (1984) y KALT y McDONALD (1996). Esto puede deberse a factores que dependen del estado de madurez y la condición de la cosecha, lo que influye en la acumulación de azúcares en los frutos (KALT y McDONALD, 1996).

Acidez

Con respecto a la acidez del arándano en la presente investigación se obtuvo un 1,251 % de ácido cítrico, el cual se encuentra dentro del rango encontrado por SAPERS *et al.* (1984) entre 0,40% a 1,31%.

Vitamina C

En cuanto a la composición de ácido ascórbico se ha encontrado autores como SENSER y SCHERZ, (1999), que indican un valor de 30mg/100g en base seca. En el presente estudio se obtuvo un valor que corresponde a un 50% menos: 14mg/100g.

pH

Al analizar los valores de pH de la pulpa de arándano se obtuvo un valor de 3,40; este resultado se encuentra dentro del rango de pH de 2,85 a 3,49 indicado en las especificaciones planteadas por BELITZ y GROSCH, (1997); KALT y McDONALD, (1996); CAMIRE, et al., (1994); ECK, (1989) y SAPERS *et al.*, (1984).

4.1.2 Manzana

Humedad

Con respecto a la humedad de la manzana, se obtuvo un 84,60% valor similar al obtenido por SCHMIDT – HEBBEL *et al.*, (1990) el cual fue de 84,20% (ver CUADRO 4)

Sólidos solubles

En la presente investigación se obtuvo un valor de sólidos solubles de 12,1 °Brix en la manzana, igual al obtenido por MEDEL (1993), como se aprecia en el CUADRO 5.

pH

En cuanto al pH, se obtuvo un valor de 3,5, el cual es comparable al obtenido en la literatura, por el autor MEDEL (1993) con un valor de 3,3 (CUADRO 5).

Acidez

En relación al contenido de acidez, se obtuvo un valor de 0,58% de ácido cítrico mostrado en el CUADRO 7. Este valor es más bajo que el encontrado por MEDEL (1993) el cual obtuvo un 0,83% de acidez.

Vitamina C

La medición de ácido ascórbico fue de 5,10 mg/100g similar al encontrado por SCHMIDT - HEBBEL *et al.*, (1990) el cual obtuvo un 5,60 mg /100g.

4.2 Características físico-químicas de las mezclas de pulpas para elaborar las láminas de fruta

El CUADRO 8 muestra los valores promedio de pH, acidez, sólidos solubles, vitamina C y actividad de agua; parámetros de las mezclas con azúcar previas a su deshidratación.

Actividad de agua

Se puede observar que no existen diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre las mezclas de los diferentes tratamientos para los análisis de a_w que fluctuó entre 0,92-0,94 típicos de alimentos tipo puré reportado en la literatura por SAPERS *et al.*, (1984) y YANG y YANG, (1987).

CUADRO 8. Características de las mezclas.

Trata- miento	Características analíticas					
	Sól. Solubles (°Brix)	Humedad (%)	Vit. C	a_w	pH	Acidez (% Ac. cítrico)
T1	17,30 ± 0,31a	79,47 ± 0,66 a	2,30 ± 0,04 a	0,92 ± 0,01 a	3,39 ± 0,13 a	0,55 ± 0,03 a
T2	22,06 ± 0,38 a	79,55 ± 0,52 a	2,16 ± 0,34 a	0,94 ± 0,05 a	3,41 ± 0,09 a	0,54 ± 0,02 a
T3	27,65 ± 1,89 a	79,34 ± 2,82 a	2,81 ± 0,33 a	0,93 ± 0,01 a	3,46 ± 0,10 a	0,44 ± 0,01 a

Letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas al 95%, según la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey

pH

El pH fluctuó entre 3,39-3,46 no existiendo diferencias significativas ($p \geq 0,05$); SEPÚLVEDA *et al.*, (2000); reportó valores de pH de pulpas a partir de membrillo y pera que fluctuaron entre 3,5 y 4,0.

Acidez

En relación a la acidez no existieron diferencias estadísticamente significativas; como se observa en el CUADRO 8, los resultados fueron valores entre 0,44% y 0,55% de ácido cítrico, SEPÚLVEDA *et al.* (2000) reportó valores de sus mezclas para elaborar las láminas de fruta entre 0,41 y 1,09% de ácido cítrico.

Sólidos solubles

Los sólidos solubles fueron medidos luego de adicionada el azúcar y variaron entre 17,30 y 27,65 °Brix, no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre tratamientos; siendo estos valores similares a los encontrados por VIJAYANAND *et al.*, (2000) el cual obtuvo valores de 25 °Brix luego de adicionar el azúcar para purés de guayabas y mangos.

Vitamina C

En cuanto al contenido de vitamina C no existieron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) y los valores variaron entre 2,30 y 2,81 mg/100g para los tres tratamientos estudiados, la contribución de vitamina C para cada tratamiento se ve favorecida por los porcentajes de pulpa de arándano adicionadas a cada receta presentados en el CUADRO 6.

Valores encontrados por SEPÚLVEDA *et al.*, (2000) en su estudio de láminas de frutas a partir de membrillo y pera, los cuales obtuvieron valores entre 7 a 10 mg/100 gr.

4.3 Características del producto terminado

Los resultados obtenidos para las determinaciones analíticas del producto terminado se muestran en el CUADRO 9, los cuales consisten en la medición de acidez, sólidos solubles, humedad, actividad de agua y contenido de vitamina C.

El producto terminado se puede observar en la FIGURA 3, donde se muestran las fotos de cada tratamiento.

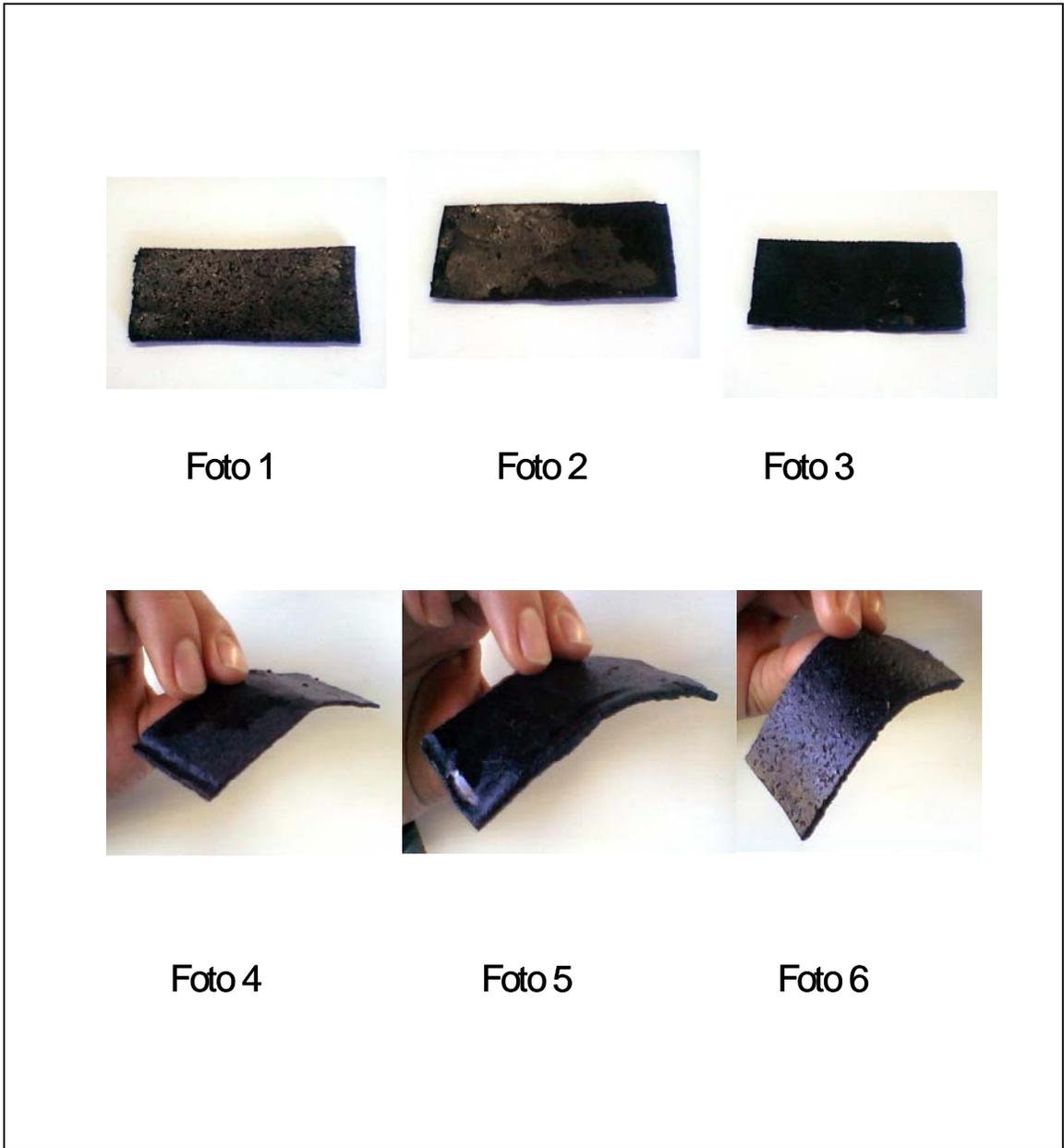


FIGURA 3. Láminas de fruta a partir de arándano. Foto 1 y 4 corresponden a tratamiento 1, Fotos 2 y 5 corresponden a tratamiento 2 y Fotos 3 y 6, corresponden a tratamiento 3

CUADRO 9. Características del producto terminado.

Tratamiento	Características analíticas				
	Sólidos Solubles (°Brix)	Humedad (%)	Vitamina C (mg /100 g de fruta)	a _w	Acidez (% Ac. cítrico)
T1	76,79 ± 2,5 a	5,64 ± 2,23 a	2,67 ± 0,04 c	0,63 ± 0,07 a	1,83 ± 0,03 a
T2	76,62 ± 1,67 a	4,56 ± 0,68 a	5,35 ± 0,9 b	0,60 ± 0,02 a	1,48 ± 0,05 b
T3	75,18 ± 7,89 a	5,82 ± 2,39 a	5,89 ± 0,10 a	0,65 ± 0,05 a	0,91 ± 0,01 c

Letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas al 95%, según la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey.

Humedad y Actividad de agua

La actividad de agua (a_w) de las láminas no presentó diferencia significativa (p≥0,05), se puede afirmar que pertenecen a los alimentos deshidratados, cuyo proceso de secado se dio por finalizado con una a_w promedio de 0,65 similar a la encontrada por CHE-MAN y SIN, (1997) en su estudio de láminas de fruta a partir de “jackfruit” y SEPÚLVEDA *et al.*, (2000) en su estudio con láminas de “cactus y membrillo” obtuvieron valores de a_w entre 0,55 a 0,60.

Con estos resultados de actividad de agua se puede decir que se lograría el control microbiológico de este producto, además el pH de las láminas que fluctuó entre 3,66 y 3,71 que según SPERBER (1983) y TROLLER (1980), se limita el crecimiento de mohos y levaduras es decir se cumplió con el objetivo inicial, de obtener una a_w que le diera estabilidad microbiológica a las láminas elaboradas.

Humedad

En cuanto a la humedad no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (p≥0,05), T2 presentó un contenido promedio de humedad de 4,6% y 5,8%, siendo

inferiores a los encontrados por SEPÚLVEDA, (2000); CHE MAN y SIN, (1997) y CHE MAN y TAUFIK, (1995) con un promedio entre 11% y 15%.

Acidez

El contenido de acidez de las láminas fue más alto que el de las mezclas debido a la concentración durante el secado, esta presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) y varió entre 0,91 y 1,83%, en los distintos tratamientos; el producto con un mayor contenido de arándano (80% arándano/15% manzana), presentó el mayor porcentaje de ácido cítrico (T1 con 1,83%), seguido de la mezcla 70% arándano/20% manzana; (T2 con 1,40%), y en tercer lugar la mezcla con (50% arándano/35% manzana); T3 con 0,91% de ácido cítrico, lo que indica que la mayor acidez proviene del arándano.

Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles aumentó en forma importante en cada tratamiento alcanzando valores entre 75,18 y 76,79 °Brix, pero no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \geq 0,05$), es decir con el proceso de deshidratación, se produjo la concentración esperada.

Vitamina C

Para el parámetro de vitamina C, el tratamiento T3 tuvo el mayor contenido de vitamina con un 5,89 mg/100g, T2 obtuvo 5,35 mg/100g y T1 con 2,67 mg/100g existiendo diferencias significativas entre las tres formulaciones ($p < 0,05$).

El ácido ascórbico, además de su importancia nutricional, cumple un rol como inhibidor del pardeamiento enzimático, así lo determinaron LOZANO DE GONZALEZ et al., (1993). Sin embargo el proceso de deshidratación produce pérdida de vitamina C en el producto (KASAHARA, 1987).

La pérdida de ácido ascórbico en las láminas como se puede observar en el CUADRO 10, se produce durante el secado y está influenciada por dos factores importantes, como son: el tiempo de exposición y la temperatura. En el CUADRO 9 se observa el contenido de ácido ascórbico contenido en las láminas de fruta, se puede decir que se observa un

contenido mayor de ácido ascórbico, en los tratamientos T2 con (70% de pulpa de arándano y 20% de pulpa de manzana) y T3 con (50% de pulpa de arándano y 35% de manzana).

T1 claramente muestra en el CUADRO 9 el menor contenido de vitamina C esto puede deberse a que es el que tiene mayor pérdidas de vitamina en el producto terminado, como se observa en el CUADRO 10.

CUADRO 10 Porcentaje de retención y pérdidas de ácido ascórbico en el producto terminado.

Tratamiento	Retención (%)	Pérdidas (%)
T1	35,2	64,8
T2	54,9	45,1
T3	54,3	45,7

Las pérdidas mostradas en el CUADRO 10, donde T1 presenta el mayor porcentaje de pérdida con un 65%, los tratamientos T2 y T3 perdieron cerca de un 46% de vitamina C, siendo estas dos formulaciones las que retuvieron una mayor cantidad de vitamina alrededor de un 54%, esto se puede deber a que en el proceso de secado, esta retención de vitamina sería factible ya que los factores de temperatura y tiempo de secado no fueron agresivos, es decir, a la temperatura de trabajo que fue de 55 °C considerada leve.

4.4 Fibra dietética

Como es sabida la gran importancia de la fibra en el tracto gastro intestinal del hombre se consideró importante conocer la cantidad de fibra dietética presente en las láminas de fruta. Los resultados que se muestran en el CUADRO 11, corresponden al análisis de una muestra.

Como fue descrito en el capítulo 2 la fibra dietética se divide en: fibra dietética insoluble (FDS), que es la fracción de fibra dietética total (FDT) que es soluble en agua y fibra

dietética insoluble (FDI), que es la fracción de fibra dietética total (FDT) que es insoluble en agua.

CUADRO 11. Contenido de fibra dietética de las láminas de fruta a partir de arándano.

Tratamiento	FDI (%)	FDS (%)	FDT (%)
T1	14,25	3,20	17,45
T2	8,39	3,26	11,65
T3	5,18	2,94	8,12

Nomenclatura: FDI: fibra dietaria insoluble

FDS: fibra dietaria soluble

FDT: fibra dietaria total

En el CUADRO 11 se puede observar que los valores muestran que el tratamiento T1 tuvo el valor más alto de FDI con un 14,25 y en FDT con un 17,45 % siendo los más altos esto puede deberse a que este tratamiento tiene mayor contenido de pulpa de arándano y sería la que más contribuye. Mientras que el tratamiento T2, presenta el valor más alto en FDS con un 3,26%.

Al comparar las láminas de fruta a partir de arándano, con otros alimentos, se evidencia que se trata de un producto con alto contenido de fibra (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO), 1999; RUZ *et al.*, 1996)

4.5 Evaluación sensorial

Las láminas de fruta fueron analizadas, mediante un panel sensorial entrenado de 8 jueces, los cuales debieron evaluar las características de calidad y aceptabilidad del producto final.

4.5.1 Aceptabilidad. En el CUADRO 12 se presentan los resultados de evaluación sensorial donde se midió la aceptabilidad de las láminas de fruta, por medio de la prueba de escala hedónica de nueve niveles; esta prueba se realizó de acuerdo a la planilla de evaluación mostrada en el ANEXO 1.

CUADRO 12. Evaluación de aceptabilidad de las láminas de fruta a partir de arándano.

Tratamiento	Aceptabilidad
T1	6,85 a
T2	7,09 a
T3	7,05 a

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95%, según la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey.

Como se puede observar en el CUADRO 12, los valores de aceptabilidad no presentan diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, variando entre 6,85 y 7,09; los cuales están en la categoría de “me gusta moderadamente” similares resultados encontró SEPULVEDA *et al.*, (2000), con valores de 6,1 a 6,4 y las láminas de guayabas estudiadas por VIJAYANAND *et al.*, (2000), fueron evaluadas con valores de 5,72 a 8,01 utilizando la misma escala.

Se puede apreciar que el tratamiento T2 con una combinación de 70% arándano + 20% manzana + 10 % azúcar, obtuvo una calificación de 7,09; similar al tratamiento T3 con un valor de 7,05 y una combinación de 50% arándano + 35% manzana + 15% azúcar.

Estos valores indican que no hubo rechazo de los productos, debido a que los valores de aceptabilidad están sobre la calificación de cercana a 7, lo que hace pensar que son susceptibles a ser mejorados cambiando algunos aspectos de este producto en cuanto a su composición porcentual.

4.5.2 Atributos de calidad. En el CUADRO 13, se observan los resultados obtenidos en la evaluación descriptiva global donde se evaluó los atributos de color, sabor, dulzor, acidez, textura y pegajosidad por medio de una escala de valores de uno al siete, la cartilla de evaluación se muestra en el ANEXO 2.

CUADRO 13. Evaluación descriptiva global de las láminas de fruta a partir de arándano.

ATRIBUTOS SENSORIALES						
Tratamiento	Sabor	Dulzor	Color	Acidez	Pegajosidad	Textura
T1	4,86 a	4,67a	6,65 a	5,54 a	5,42 b	3,89 a
T2	4,70 a	4,76 a	6,69 a	5,38 a	5,52 b	3,87 a
T3	4,67 a	5,07 b	6,72 a	5,09 a	5,95 a	3,11 a

Letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas al 95%, según la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey.

Sabor

Con respecto al sabor de las láminas de fruta, estas fueron calificadas con valores cercanos a 5 (CUADRO 13), lo cual corresponde a un sabor “marcado”, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas, además se puede decir que las láminas degustadas presentaban el sabor adecuado para este tipo de producto.

Color

El color es una característica fundamental para la aceptabilidad de un producto, ya que debe cumplir con las expectativas del consumidor, es decir, si se elabora una lámina de fruta sobre la base de arándano, el color de ésta deberá ser la esperada.

En el CUADRO 13, se observan los valores obtenidos en la evaluación sensorial para el atributo antes mencionado, el cual no presenta diferencias estadísticamente

significativas. Las láminas fueron calificadas con valores similares con 6,65 (T1), 6,69 (T2) y 6,72 (T3), lo que corresponde a “oscuro”; debido al color que imparte esta baya no se podría esperar una coloración pálida (ver FIGURA 3).

Dulzor

Los valores promedio de “dulzor” para los tres tratamientos en estudio, (CUADRO 13) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p \geq 0,05$) T1 y T2 con un dulzor “moderado” y T3 “notorio”; siendo menor en el tratamiento T1 frente a los otros tratamientos, lo que era lógico esperar ya que era el que contenía menor porcentaje de azúcar (5%). Los resultados del estudio indicarían que la proporción de azúcar disponible para la acción de las reacciones indeseables se vio limitada.

Acidez

La acidez es uno de los sabores básicos del gusto y en el arándano es especialmente relevante, por lo que es importante saber cómo percibió la intensidad de ésta el panel de jueces. En el CUADRO 13 se puede observar que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones ($p \geq 0,05$) presentando valores entre 5,09 – 5,54 siendo evaluadas como “moderadamente ácida”. Cabe destacar que tratamiento 3 obtuvo la calificación menor, lo que concuerda con las determinaciones químicas mostradas en el CUADRO 8.

Textura

En el CUADRO 13 se observan los resultados para la textura, los tres tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$), T1 y T2 presentaron puntajes similares 3,89 y 3,87 respectivamente; evaluados por los jueces como “suave” y el tratamiento T3, presentó el valor más bajo con un 3,11 también juzgado como “suave”.

Pegajosidad

Respecto al atributo “pegajosidad” hubo diferencia significativa ($p < 0,05$), el tratamiento T1 fue juzgado como “pegajoso” y los otros dos tratamientos 2 y 3 como “moderadamente pegajoso” como se puede observar en el CUADRO 13.

4.6 Vida Útil

En relación con lo descrito en el punto 3.2.6, en las placas Petri que contenían agar, se observó desarrollo de hongos a los 10 días de incubación a temperatura ambiente, en aquellas que no contenían agar no hubo desarrollo de hongos durante al menos ocho meses, lo que significaría que, las láminas de fruta pueden auto – conservarse a temperatura ambiente durante un periodo de a lo menos ocho meses.

CUADRO 14. Presencia o ausencia de hongos en producto terminado

Tiempo	Placa Petri (con Agar) T° ambiente	Placa Petri (sin Agar) T° ambiente	Placa Petri (sin Agar) T° a 25 °C
0	(-)	(-)	(-)
10 días	(+)	(-)	(-)
4 meses	(+)	(-)	(-)
6 meses	(+)	(-)	(-)
> 8 meses	(+)	(-)	(-)

(+): presencia; (-): ausencia

Las placas que fueron incubadas en estufa a 25 °C, no mostraron desarrollo de hongos durante cuatro meses, lo que se puede interpretar o entender que indica un alto poder de autoconservación, superior a 8 meses de este producto y su durabilidad bastante aceptable en el tiempo.

4.7 Proceso de deshidratación en la elaboración de las láminas de fruta

En esta etapa, se determinó la cinética de secado de las láminas de fruta bajo condiciones específicas del deshidratador de bandejas utilizado en el estudio, las que se describen a continuación; 55 °C bulbo seco, 40 °C bulbo húmedo y se utilizó aire fresco con un 50% aire de recirculación, a una velocidad de 7 m/s.

Se determinó la variación de humedad (kg agua / kg sólido seco) en función del tiempo (h) de las láminas de fruta. También se calculó la velocidad de secado para cada tratamiento, realizándose las curvas correspondientes a cada uno de ellos. Adicionalmente, se realizó un estudio de la cinética de secado en un sistema de coordenadas adimensional.

A continuación se presenta el estudio realizado con los datos del proceso de secado con el fin de obtener un modelo general del proceso.

En el ANEXO 3 se detallan los datos de medición durante el proceso de secado.

4.7.1 Comportamiento de secado de las distintas mezclas

Las condiciones fueron: estado constante del aire, humedad y temperatura del aire y condiciones de flujo se mantuvieron también constantes.

Una vez que se obtuvieron las curvas de humedad promedio en función del tiempo se encontró el punto crítico el cual se definió como el punto donde se produce el cambio de velocidad constante a velocidad de secado decreciente (McCABE, *et al.*, 1991; IBARZ y BARBOSA - CANOVAS, 1999; GEANKOPOLIS, 1986).

Este punto marca el instante en que el agua líquida que está sobre la superficie es insuficiente par mantener una película continua que cubre toda el área de secado; es el punto crítico de coordenadas de coordenadas (t_{cr} , X_{cr}); en este caso (3,0; 1,62) del tratamiento 2 (promedio de tres repeticiones) en la FIGURA 4.

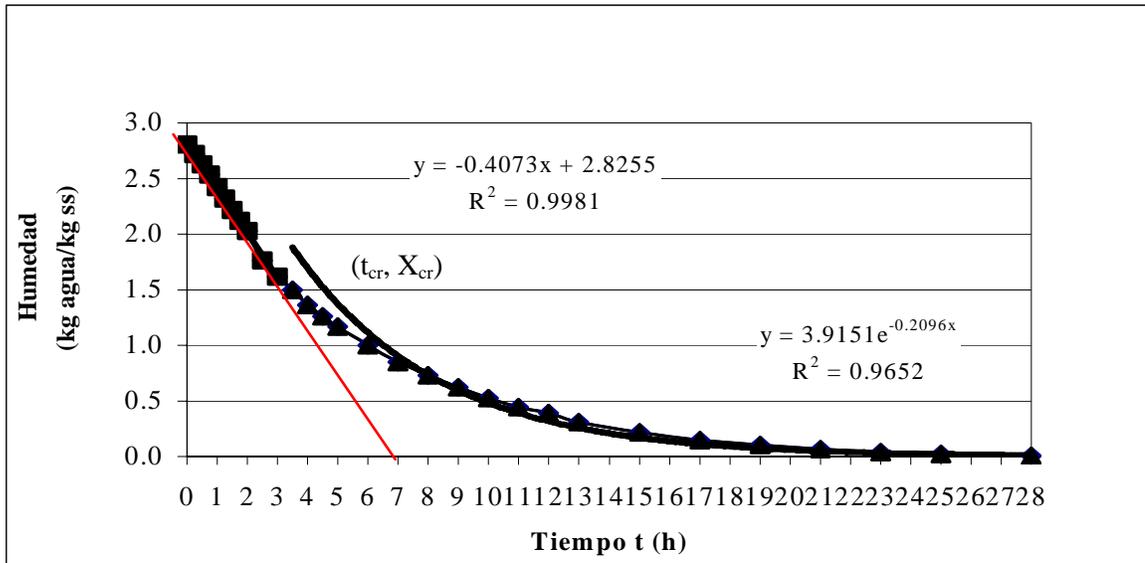


FIGURA 4. Determinación del punto crítico para la Humedad promedio en función del tiempo.

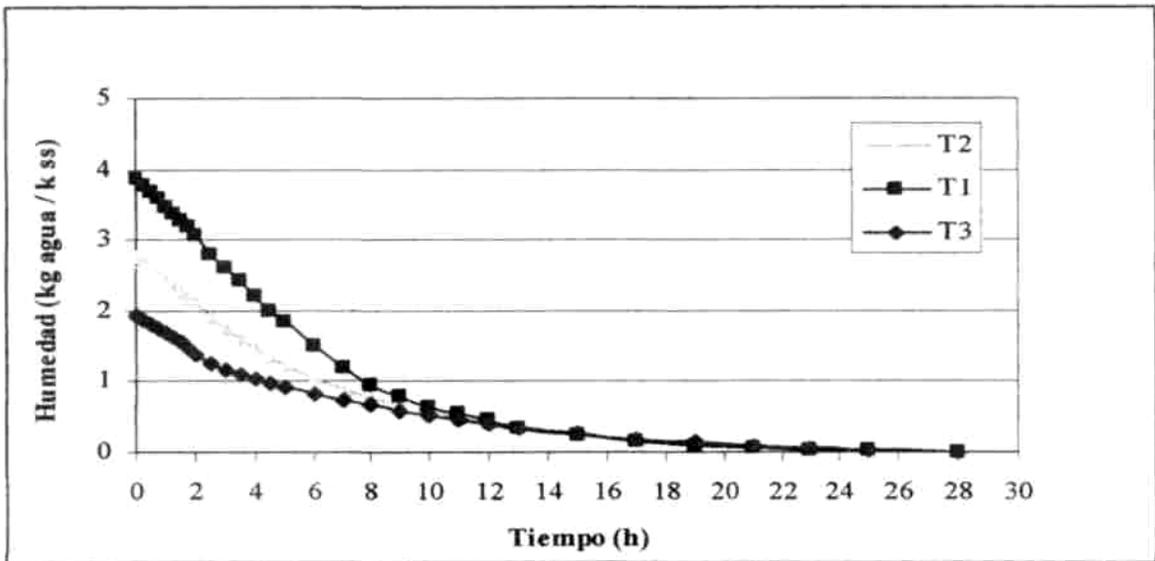
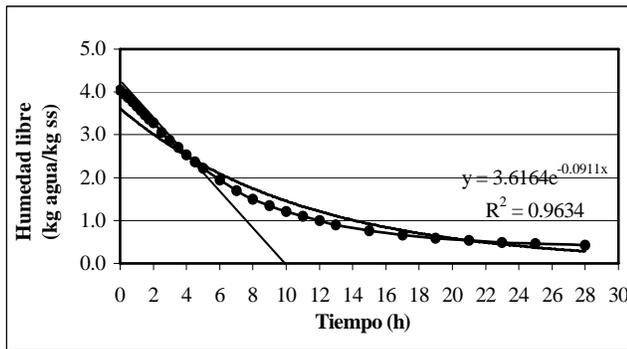
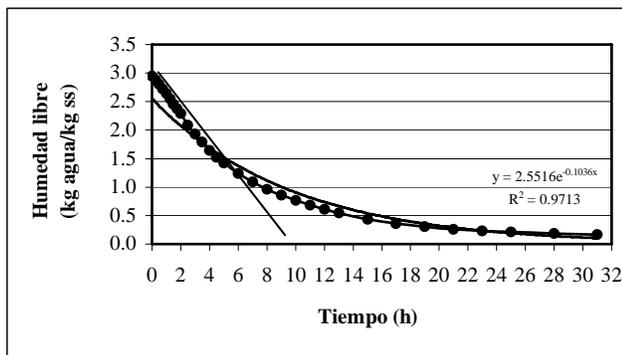


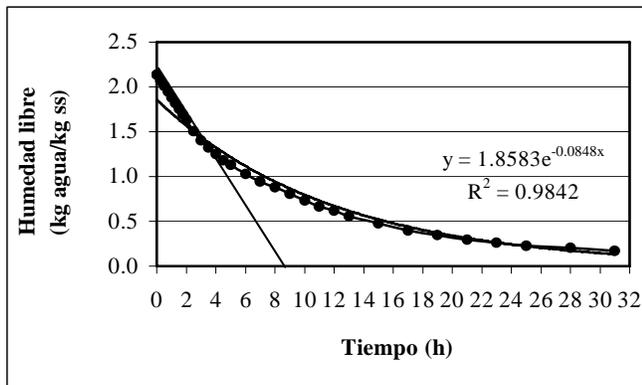
FIGURA 5. Humedad promedio en función del tiempo.



(a) Tratamiento 1

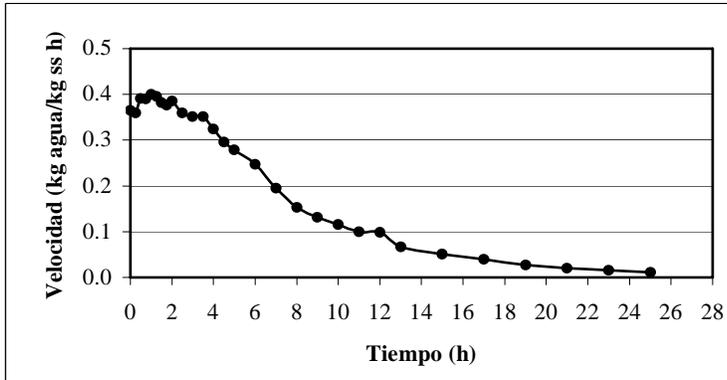


(b) Tratamiento 2

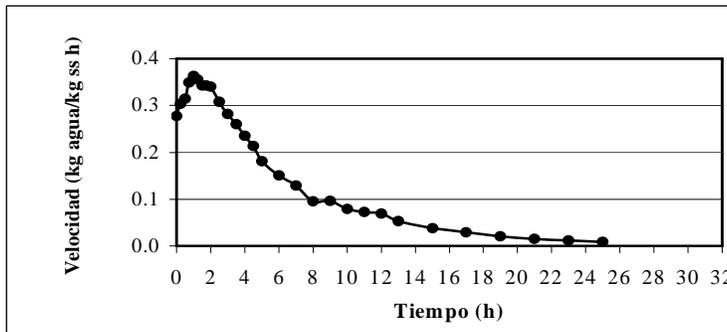


(c) Tratamiento 3

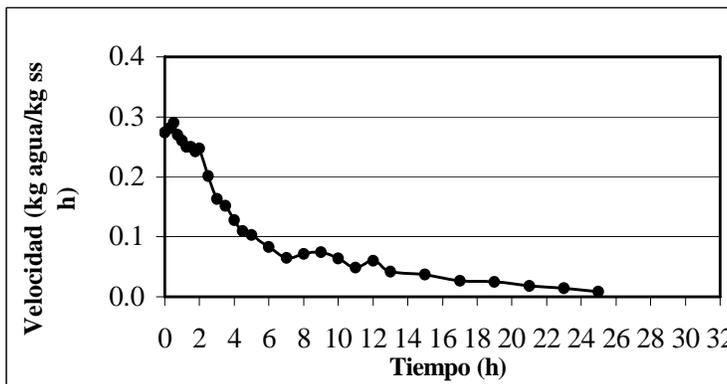
FIGURA 6. Contenido de humedad en función del tiempo de secado para los tres tratamientos.



(a) Tratamiento 1

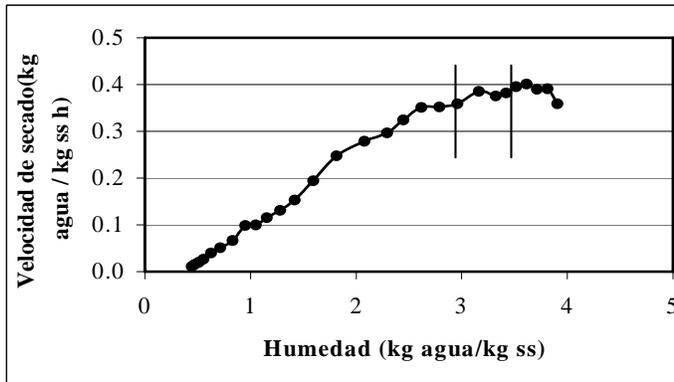


(b) Tratamiento 2

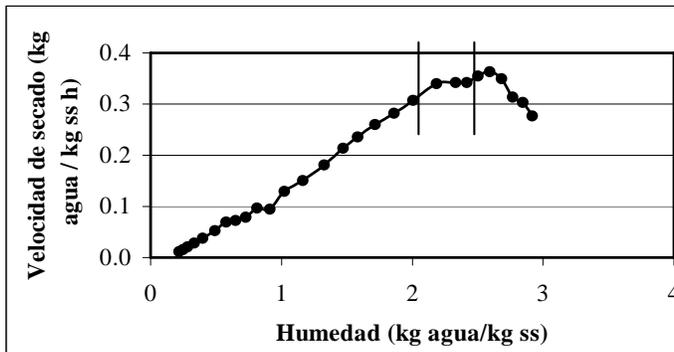


(c) Tratamiento 3

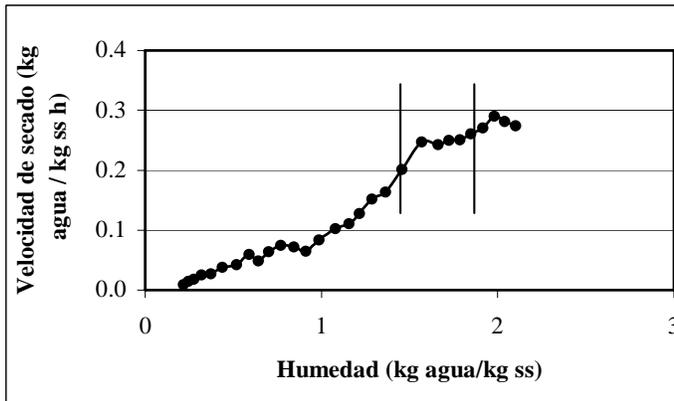
FIGURA 7. Gráficos de velocidad de secado versus tiempo de secado.



(a) Tratamiento 1



(b) Tratamiento 2



(c) Tratamiento 3

FIGURA 8. Curvas de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

En el comportamiento de secado se visualizó que las curvas de secado, muestran la tendencia de forma exponencial a una curva de secado correspondiente a un sólido no poroso, los cuales contienen líquido en su interior (McCABE *et al.*, 1991).

Fue notable y rápida la disminución de peso (GINSBURG *et al.*, 1982; GEANKOPOLIS, 1986; McCABE *et al.*, 1991) debido a que en la primera etapa de secado esta asociada a la eliminación de agua no ligada al producto, y el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente (GEANKOPOLIS, 1986; IBARZ y BARBOSA- CANOVAS, 1999).

Los gráficos (a), (b) y (c) de la FIGURA 6, se obtienen al representar el contenido de humedad frente al tiempo de secado. La representación gráfica muestra las 4 horas iniciales una rápida pérdida de humedad, aproximadamente 1,0 (kg de agua/ kg ss). Posteriormente se curva hacia el eje de las abscisas y finalmente tiende a ser horizontal, donde se puede ver que prácticamente a las 28 horas se llegó a la humedad de equilibrio.

Se puede observar que las ecuaciones correspondieron según sus coeficientes de correlación cercanos a 1 a tal modelo exponencial.

Existe una clara similitud de las curvas en su comportamiento exponencial, pero las ecuaciones poseen diferente exponente, lo que se debe a su contenido inicial de humedad, movimiento del líquido dentro de la lámina y la distribución de la humedad en la lámina.

Observando la FIGURA 6, se aprecia que si el proceso de secado contara con un solo periodo, vale decir periodo de velocidad decreciente, este tomaría un promedio de 10 horas aproximadamente de secado.

Las curvas (a), (b) y (c) de la FIGURA 7 muestra la velocidad de secado en función del tiempo, al inicio del secado los puntos se calientan hasta la temperatura de vaporización, comenzando así el periodo de velocidad de secado constante, el cual presenta un tiempo

entre 1 y 2 horas; luego se curva hacia abajo, dando inicio al periodo de velocidad decreciente, el cual representa la mayor cantidad de tiempo, aproximadamente 27 horas, en el proceso de secado.

Las líneas verticales de color negro que se muestran en la FIGURA 8, indican el periodo de velocidad constante. Se puede observar luego el punto de humedad crítica.

En la FIGURA 8 a, se puede observar que el periodo de calentamiento entre 4,00 kg agua / kg ss y 3,62 kg de agua / kg ss. Comienza la velocidad decreciente cuando la lámina tiene un contenido de humedad de 2,96 kg agua / kg ss, se aprecia un punto de cambio de velocidad decreciente, cuando el agua superficial de la lámina se termina y empieza la difusión del líquido en el sólido.

En la FIGURA 8 b, el periodo de calentamiento está entre 3,00 kg agua / kg ss h y 2,59 kg agua / kg ss h y en 2,19 kg agua / kg ss h comienza el periodo de velocidad decreciente.

En la FIGURA 8 c, se puede observar que el periodo de velocidad decreciente comienza en 1,91 kg agua / kg ss y existe un segundo periodo de velocidad decreciente que comienza en 1,57 kg agua / kg ss.

Las FIGURAS 6, 7 y 8 muestran las curvas con la tendencia y forma que coincide con las curvas de los periodos de secado señalados por McCABE *et al.*, (1991) y GEANKOPLIS, (1986).

En la FIGURA 5, se observan las curvas de humedad promedio en función del tiempo para cada tratamiento, se puede apreciar que se distinguen contenidos de humedad iniciales y es con esta gráfica que se obtienen los puntos críticos para elaborar las curvas de velocidad adimensionales.

4.7.2 Representación del proceso de secado en función de parámetros normalizados.

Las fórmulas (2), (3) (4) y (5) más abajo descritas se definen para obtener los datos del ANEXO 3 y se presentan para hacer los gráficos de las FIGURAS 9 y 10.

En la FIGURA 9, se representan el promedio de las repeticiones de los tres tratamientos con su respectiva curva de velocidad relativa del periodo decreciente en función del tiempo, es decir, la velocidad de secado adimensional

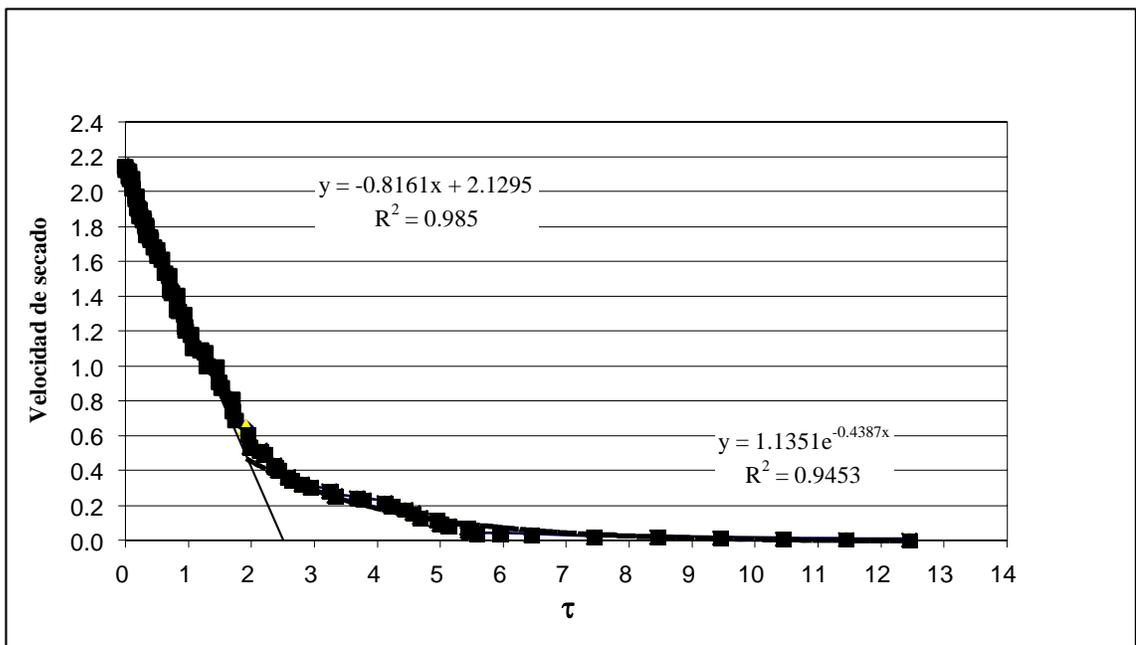


FIGURA 9. Velocidad de secado adimensional en función del tiempo.

Se define la humedad estándar como: $\bar{\mu} = \left(\frac{X - X^*}{X_{cr} - X^*} \right)$ (2)

Y tiempo estándar como: $\tau = \left(\frac{t}{t^* - t_{cr}} \right)$ (3)

Se obtiene una velocidad estándar de secado $\psi = \left(\frac{-d\bar{X}/dt}{(d\bar{X}/dt)_o} \right)_Y = \left(\frac{-du}{d\tau} \right)_Y$ (4)

El uso de parámetros adimensionales permite relacionar los datos de los diferentes ensayos una curva común. Para este estudio se propuso trabajar con el promedio de las repeticiones de cada formulación por tener distinta composición cada tratamiento (T1, T2 y T3).

Esto permite que el gráfico de la FIGURA 9 muestre los resultados de un experimento cinético clásico en un sistema normalizado de coordenadas de humedad estándar versus tiempo adimensional y en el cual se obtiene para todas las curvas de:

$$\bar{X} = \bar{X}(\tau) \text{ una sola curva de } \bar{\mu} = f(\tau).$$

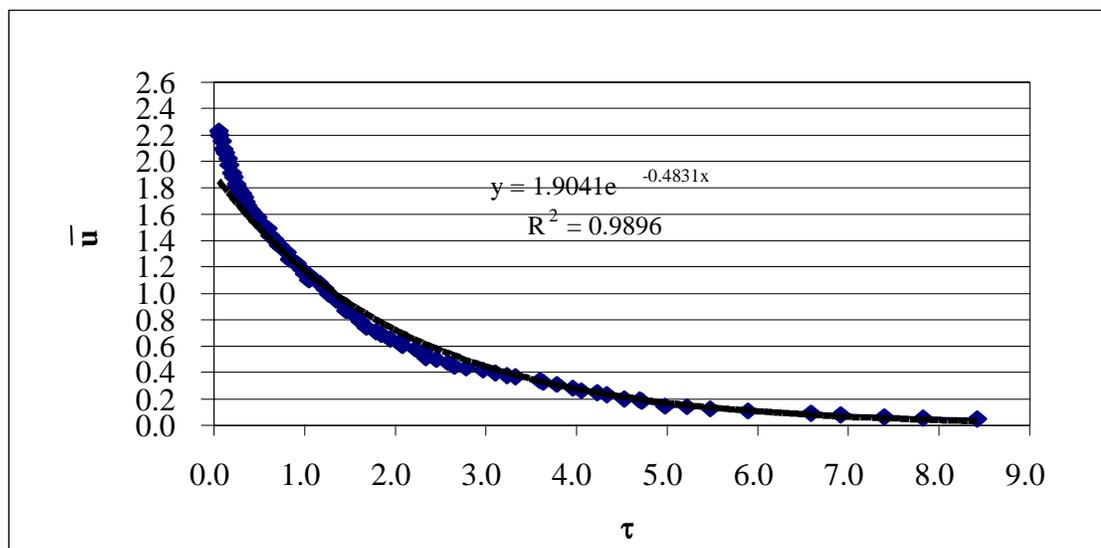


FIGURA 10. Promedio de la curva general en función del tiempo y la humedad adimensionales.

En la FIGURA 10, se compara el comportamiento de los tres tratamientos en un sistema normalizado de coordenadas adimensional versus τ , el uso de parámetros adimensionales permite relacionar los datos de los diferentes ensayos en una curva común, lo que hace posible describir el segundo periodo de secado sólo como la variación de humedad en función del tiempo τ . Se obtiene así un modelo exponencial para la descripción del segundo periodo de secado para todos los tratamientos.

Este procedimiento de cálculo de parámetros adimensionales es muy útil para predecir y evaluar económicamente un proceso de envergadura como lo es el secado de en procesos industriales.

4.8 Rendimientos

En primer lugar se determinó el rendimiento del proceso de despulpado a partir de fruta entera (arándano), lo que entregó como resultado un rendimiento de 70,4% para la pulpa de arándano y 72,2% para la pulpa de manzana. Este rendimiento se puede considerar como bastante alto si se toma en cuenta, que se procesó aproximadamente 21 kg de manzanas y 12 kg de arándanos, en una despulpadora semi – industrial, donde existe una pérdida inherente en el procesamiento.

En segundo lugar, se determinó el rendimiento del producto terminado para cada uno de los tratamientos, el cual se expresa como producto final, es decir, lámina de fruta deshidratada a partir de mezcla utilizada. El rendimiento se calculó a una a_w de 0,65 para todos los tratamientos. Los resultados obtenidos se observan en el CUADRO 15.

CUADRO 15. Rendimientos de los ensayos de deshidratación.

Tratamiento	Rendimiento (%)
T1	24,90% c
T2	30,20% b
T3	37,60% a

Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 5%, según la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey.

Se puede observar que en el CUADRO 15, existieron diferencias estadísticamente significativas, en los resultados de rendimientos de producto terminado respecto a las mezclas. Para T1 se obtuvo un rendimiento de 24,9%, T2 con un 30,2% y 37,6% para T3. La formulación 3 (50% arándano, 35% de manzana y 15% de azúcar), obtuvo el mayor rendimiento debido a su mayor contenido de sacarosa lo cual hace ligar más agua en su estructura.

5 CONCLUSIONES

- La hipótesis general planteada se acepta, por lo tanto las láminas de fruta elaboradas en el presente trabajo, son un producto natural sin adición de preservantes químicos, contienen un alto contenido de sacarosa, una baja actividad de agua, pH ácido y un bajo contenido de humedad, lo cual permite asegurar la estabilidad microbiológica, beneficiando su conservación durante un periodo de tiempo prolongado incluso mayor a ocho meses.
- La pulpa de arándano y manzana puede ser exitosamente utilizada para preparar “láminas de fruta” deshidratada. La formulación mejor evaluada fue el tratamiento T2, con 70% de arándano, 20% de manzana y 10% de azúcar.
- La adición de manzana contribuye a mejorar la aceptación del producto en general y permite obtener el mejor balance entre disminuir los costos y mantener en gran medida las propiedades organolépticas propias de este producto. Por lo que se propone esta metodología de elaboración para utilizarla en los procesos a escala en el ámbito industrial.
- Las láminas de fruta a partir de arándano y manzana, son un producto con un alto contenido de fibra dietaria total, al igual que su contenido energético ya que poseen altos contenidos de azúcar.
- La determinación de la cinética de secado utilizando parámetros adimensionales resultó ser un método efectivo que permite modelar adecuadamente el proceso de secado bajo distintas condiciones de secado.

6 RESUMEN

El arándano, originario de Norteamérica, introducido a nuestro país en la década de los 80, presenta sus frutos aroma suave y sabor perceptible ácido leve. El objetivo de esta investigación fue elaborar láminas naturales de fruta, sin preservantes, que puedan autoconservarse. Se preseleccionaron tres formulaciones con 50, 70 ó 80% de pulpa de arándano; 15, 20 ó 35% de pulpa de manzana y 5, 10 ó 15% de azúcar. El procedimiento de elaboración consistió en la selección, el lavado, el escaldado y el despulpado de la fruta; la mezcla de los ingredientes, la deshidratación, los cálculos de rendimientos y el envasado. Las láminas de fruta se deshidrataron a 55 °C durante 31 horas, hasta obtener una humedad aproximada de 7%.

A las materias se les determinó sólidos solubles, acidez, el pH, actividad del agua, la vitamina C, la humedad y; adicionalmente, al producto terminado, se le midió el contenido de fibra dietaria soluble e insoluble. Se realizó, además, evaluación sensorial, de aceptabilidad y calidad. En las mezclas, la acidez disminuyó a medida que se incorporó manzana fluctuando entre 0,44% y 0,55% de ácido cítrico y la humedad de los tratamientos 1 y 2 se mantuvo cercana al 80% en cambio el tratamiento 3 con el mayor contenido de azúcar obtuvo una humedad cercana al 75%.

En el producto terminado, el rendimiento, respecto de las mezclas, fluctuó entre 24,9% y 37,6%; la acidez entre 0,91% y 1,83% de ácido cítrico; los sólidos solubles entre 75,18 y 76,79 °Brix; la actividad de agua entre 0,60 y 0,69; y la vitamina C entre 2,67 y 5,89 mg ac. Ascórbico/ 100 g, perdiéndose de esta última alrededor de un 65% por la deshidratación. El tratamiento con mayor contenido de fibra dietaria fue el tratamiento (1) con 80% de arándanos, 15% de manzana y 5% de azúcar.

Sensorialmente, los tres tratamientos obtuvieron una aceptación promedio de 7 en una escala hedónica de 9 puntos, el mejor evaluado fue el tratamiento (2) con un 7,09 y una composición de 70% de arándano, 20% de manzana y 10% de azúcar.

SUMMARY

The blueberry, native from North America, introduced to our country in the decade of the 80, presents his fruits soft aroma and flavor perceptible light acid. The objective of this investigation was to elaborate natural sheets of fruit, without preservatives that you/they can autoconservarse. You preseleccionaron three formulations with 50, 70 or 80% of blueberry pulp; 15, 20 or 35% of apple pulp and 5, 10 or 15% of sugar. The elaboration procedure consisted on the selection, the laundry, the one scalded and the despulpado of the fruit; the mixture of the ingredients, the dehydration, the calculations of yields and the one packed. The fruit sheets became dehydrated to 55 °C during 31 hours, until obtaining an approximate humidity of 7%.

To the matters they were determined soluble solids, acidity, the pH, activity of the water, the vitamin C, the humidity and; additionally, to the finished product, he/she was measured the content of fiber soluble and insoluble dietaria. He/she was carried out, also, sensorial evaluation, of acceptability and quality. In the mixtures, the acidity diminished as he/she incorporated apple fluctuating between 0,44% and 0,55% of citric acid and the humidity of the treatments 1 and 2 he/she stayed near to 80% the treatment 3 with the biggest content of sugar obtained a near humidity on the other hand to 75%.

In the finished product, the yield, regarding the mixtures, fluctuated between 24,9% and 37,6%; the acidity between 0,91% and 1,83% of citric acid; the soluble solids between 75,18 and 76,79 °Brix; the activity of water between 0,60 and 0,69; and the vitamin C between 2,67 and 5,89 mg ac. Ascorbic / 100 g, getting lost of this last one around 65% for the dehydration. The treatment with more content of fiber dietaria was the treatment (1) with 80% of blueberries, 15 apple% and 5% of sugar.

Sensorially, the three treatments obtained an acceptance average of 7 in a scale hedónica of 9 points, the best evaluated it was the treatment (2) with a 7,09 and a composition of 70% blueberry, 20% apple and 10% of sugar.

7 BIBLIOGRAFIA

- ANÓNIMO. 1998. Fruit Leathers. Food Chain (23): 23.
- AGROANÁLISIS. 2001. Arándanos frescos. Situación actual en Chile y el mundo. Edición N° 197 Enero 2001. 33-36.
- AGROECONÓMICO. 2004. El negocio del arándano. Fundación Chile. Edición N° 82 Septiembre 2004/ ISSN 0716 - 0941
- ANGLAND, E. 1994. Cultivo del arándano. El Campesino (Chile). 125 (11): 28-36.
- ANZALDUA, A. 1994. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la teoría y la práctica. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza. España. 198 p.
- ARTHEY, D. 1996. Procesado de frutas. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España. 273 p.
- ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. 1995. A.O.A.C. Official Methods of Analysis of AOAC International. Vol. II. 16th Edition. Cap. 37.
- BARRIENTOS, T. 1999. Fenología en dos cultivares de manzano (*Malus pumila* Mill.) Liberty y Prima, y reproducción en el cultivar Liberty. Tesis Licenciado en Ciencias Agrarias. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 98 p.
- BELITZ, H. y GROSCH, W. 1997. Química de los Alimentos. Segunda Edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España 1087 p.
- BERNAL, I. 1993. Análisis de alimentos. Editora Guadalupe Ltda. Santafé de Bogotá, D.C. 313 p.
- BUZETA, P., CHAVEZ, F., CHAVEZ, R., GUSTAVSSON, B. y MUÑOZ, C. 1997. Chile. Berries para el 2000. Departamento Agroindustrial. Fundación Chile. Santiago, Chile. 135 p.
- CAMIRE, M., ISMAIL, S.; WORK T., BUSHWAY A. y HALTEMAN W., 1994. Improvements in Canned Lowbush Blueberry Quality. Vol. 59 (2): 394 – 415.

- CASP, A. y ABRIL, J. 1999. Tecnología de Alimentos. Procesos de Conservación de Alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. España 494 p.
- CHAN, H. y CAVALETTO, C. 1978. Dehydration and Storage Stability of Papaya Leather. *Journal of Food Science*. Vol. 43 (1723- 1725).
- CHEFTEL, J. y CHEFTEL, H. BESANÇON, P. 1976. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Vol. 1. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 333 p.
- CHEMAN, Y. y SIN. K. 1997. Processing and Consumer Acceptance of Fruit Leather from the Unfertilized Floral Parts of Jackfruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 75 (1): 102-108.
- CHEMAN, Y. y TAUFIK, 1995. Development and stability of jack fruit leather. *Tropical Science* 35 (3): 245-250.
- CHILE, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA. 2003. SEMINARIO PRODUCCIÓN MODERNA DE ARANDANOS. Aula magna Monseñor Valdés. 16 de Octubre de 2003. Osorno
- CHILE, FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA, FIA. 2002. Estrategia de Innovación Agraria para la Producción de Berries. Gobierno de Chile. Santiago de Chile. Octubre de 2002. 65 p.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1976. Productos de frutas y vegetales - Determinación de acidez. Santiago. Chile. NCh 1138. n76. 6 p.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1978. Productos de frutas y hortalizas - Determinación de sólidos solubles – Método refractométrico. Santiago. Chile. NCh 1456. Of 78. 7 p.
- CHILE, CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (CORFO) 1980. Estudio de alternativas para la Industrialización de la Manzana. 326 p.
- ECK, P. 1989. Blueberry Culture. Editorial Rutgers University. New Brunswick. New Jersey. London. 359 p.
- EWALDAH, E. y HASSAN, B. 1992. Prickly pear sheets: a new fruit product. *International Journal of Food Science and Technology*. 27 (3): 353-358.

- ESPERBER, W. 1983. Influence of water Activity on Foodborne Bacteria – A Review. *Journal of Food Protection* 46 (2) 142 – 150.
- ESTEBAN, M. y MARCOS, A. 1989. Determinación de la actividad de agua en el control de calidad de alimentos de humedad intermedia y alta. *Alimentaria* 27
- FENNEMA, O. 1993. *Química de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España 1095 p.
- FENG, H. y TANG, J. 1999. Microwave and Spouted bed drying of frozen blueberries: The effect of drying and pretreatment methods on physical properties and retention of flavor volatiles. *Journal of Food Processing Preservation* 23: 463-479.
- GEANKOPLIS, C. 1986. *Procesos de transporte y operaciones unitarias* Editorial Continental, S.A De C. V. México. 759 p.
- GINSBURG, A., KRASNIKOW, W. y MILITZER, K. 1982. Durchführung und Auswertung von Trocknungsversuchen, *Wiss. Z. TU Dresden* 31, Heft 3, 19 – 24.
- GUARDA, A. y ALVAREZ, P. 1991. Evaluación estadística de un método rápido y sencillo para determinar la actividad de agua en los alimentos. *Alimentos*, 3(16) 9-1.2
- IBARZ, A. y BARBOSA - CANOVAS, G. 1999. *Operaciones unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Technomic Publishing Company. Inc. 882 p.
- KALT, W. y McDONALD, J. 1996. Chemical Composition of Lowbush Blueberry Cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(1): 142-146.
- KASAHARA, I. 1987. Frutales menores. Alternativas para la industrialización de algunas especies. *El Campesino* (7): 60-68.
- KAYA, S. y MASKAN, A. 2002. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). *Journal of Food Engineering* 54 (1): 81 – 88.
- KAYA, S. y MASKAN, A. 2003. Water vapor permeability of pestil (a fruit leather) made from boiled grape juice with starch. *Journal of Food Engineering* 57 (3): 295 – 299.

- KINAST, C. 2001. Efecto del tipo de envase sobre las principales características de calidad de miel almacenada durante cinco meses. Tesis Licenciado en Ingeniería en Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 159 p.
- LEE, S., PROSKY, L. y VRIES, J. 1992. Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in food-enzymatic-gravimetric method, MES- TRIS beffer: collaborative study. *Journal of AOAC International* 75 (3):395-416.
- LIM, L., TANG J., HE, J. 1995. Moisture Sorption Characteristics of Freeze Dried Blubberies.
- LOZANO DE GONZÁLEZ, P., BARRETT D., WROLDSTAD, R. y DURST P. 1993. Enzimatic browning inhibited in fresh and dried apple rings by pineapple juuice. *Journal Food Science* 58 (2): 399 – 404.
- LODGE, N. 1981. Kiwifruit. Two novel processed products. *Food Technology of New Zealand* 16 (7): 35 – 43.
- McCABE, W., SMITH, J. y HARRIOTT, P. 1991. Operaciones básicas de Ingeniería Química. Cuarta Edición. McGraw - Hill, Inc. 1112 p.
- MASKAN, A., KAYA, S. y MASKAN, M., 2002. Effect of concentration and drying processes on color change of grape juice and leather (pestil). *Journal of Food Engineering*. 54 (1): 75 – 80.
- MATISSEK, R., SCHNEPEL, F. y STEINER, G. 1992. Análisis de los alimentos. Fundamentos – Métodos – Aplicaciones. Editorial Acribia, S.A.Zaragoza España. 416 p.
- MEDEL, F. 2001. Fruticultura en el sur de Chile. In: Agenda del Salitre. SOQUIMICH. Pp 1007 – 1026.
- _____, MEDEL, R., HEINSOHN, G. Y ZAVALA, J. 1998. Calidad y rendimientos de manzanos cv. Prima sobre portainjertos M.26, MM 106 y Franco. *Rev. Frutícola* 19 (3): 111 – 117.
- _____. 1992. Nuevos cultivares de manzano para el sur de Chile. *Revista Frutícola* 13 (3): 100 – 106.

- _____. 1993. Estimaciones de calidad y rendimiento de cuatro cultivares de manzano en el sur de Chile. *Revista Frutícola* 14 (1): 31 - 35.
- MOYLS, D. 1981. Drying of Apple Purees. *Journal Food Science*. 46:939 - 942
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. 1999. Los carbohidratos en la nutrición humana. Informe de una consulta mixta FAO/OMS de expertos. Roma 14 – 18 de Abril de 1997. Roma 152 p.
- PALTRINIERI, N. y FIGUEROLA, F. 1998. Manual técnico: Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. Segunda edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 241 p.
- PENNACCHIOTTI, I. 1988. El ácido ascórbico en la nutrición y en la tecnología de alimentos. *Alimentos* 13 (3): 56-57.
- POTTER, N. 1999. *Ciencia de los Alimentos*. Editorial Acribia S.A. ZARAGOZA (España) pp 80-94, 221.
- RUZ, M., ARAYA, H., ATALAH, E. y SOTO, D. 1996. *Nutrición y salud*. Primera edición. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 454 p.
- SANTERRE, C., CASH, J. y VANNORMAN, D. 1988. Ascorbic acid/citric acid combination of frozen apple slices. *J. Of Food Science* 53 (6): 1713-1716.
- SALUNKHE, D., y DO, J. 1974. Developments in Technology and nutritive value of drying awated fruits, vegetables, and their products pp 39-78. En: *Store, Processing and Nutritional quality of fruits and vegetables* by CRC press, Inc.
- SAPERS, G., MILLER, R., DOUGLAS, F. y HICKS, K. 1991. Uptake and Fate of Ascorbic Acid – 2 Phosphate in Infiltrated Fruit and Vegetable Tissue. *Journal of Food Science* 56 (2): 419 – 422.
- SAPERS, G., BURGHER, A., PHILLIPS, J., JONES, S. y STONE, E. 1984. Color and composition of highbush blueberry cultivars. *Journal of American Horticultural Science* 109 (1): 105-111.
- SENER, F. y SCHERZ, H. 1999. *Tablas de composición de alimentos*. El pequeño “Souci – Fachmann – Kraut”. Edición del Deutsche Foerschungsanstalt für

- Lebensmittelchemie, Garching bei München. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España. 430 p.
- SCHMIDT – HEBBEL, H., PENNACCHIOTTI, I., MASSON, L. y MELLA, M. 1990. Tabla de composición química de los alimentos. Octava edición. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología química. Universidad de Chile. 62 p
- SCHMIDT – HEBBEL, H. y PENNACCHIOTTI, I. 1979. Tabla de composición química de los alimentos chilenos. Sexta edición. Editorial Antártica S.A. 20 p.
- SEPÚLVEDA, E., SÁENZ, C. y ALVAREZ, M. (2000). Physical, Chemical And Sensory Characteristics Of Dried Fruit Sheets Of Cactus Pear (*Opuntia Ficus Indica (L) Mill*) And Quince (*Cydonia Oblonga Mill*). Italian Journal Food Science 1 (12): 47-54 .
- SINGH, R. y HELDMAN, D. 1998. Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia, S.A. 543 p.
- SPERBER, W., 1983. Influence of Water Activity on Foodborne Bacteria – A Review. Journal of Food Protection, Vol. 46.
- STIER, A. 1996. Elaboración y caracterización de láminas deshidratadas de pulpa, de kiwi y manzana. Tesis Magíster en Ciencias Agropecuarias. Santiago. Universidad de Chile, Facultad de ciencias Agrarias y Forestales. 60 p.
- STONE, H. y SIDEL, J. 1995. Strategic Applications for Sensory Evaluation in a Global Market. Food Technology 49 (2): 80- 89.
- SUMMERS, S. 1994. Getting the most out of apple. Cereal Foods World. 39(10): 746, 749, 751.
- SUDZUKI, F. 2002. Cultivo de Frutales Menores. Editorial Universitaria. 194 p.
- TELIS, V. y SOBRAL, P. 2001. Glass Transitions and Statate Diagram for Freeze-dried Pineapple. Academics Press 2001.
- TETTWEILER, P. 1991. Snack food Worldwide. Food Technology 45 (2) 59-62.
- TORRES, E. 1988. “Snack”, alimento muchas veces controvertido. Alimentos Procesados 7 (10): 14 – 16.

- TROLLER, J. 1980. Influence of water activity on microorganisms in foods. Food Technology.
- TROLLER, J. 1983. Methods to Measure Water Activity. Journal of Food Protection. Vol. 46.
- USDA. 2002. National Database for Standard Reference (blueberries, raw). Release 15 (August 2001).
- VIJAYANAND, P., YADAV, A.,BALASUBRAMANYAM, N. Y NARASIMHAM, P. 2000. Storage Stability of Guava Fruit Bar Prepared Using a New Process. Lebensmittel - Wissenschaft und - Technologie 33 (2): 132-137.
- WESTWOOD, M. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ediciones Mundiprensa. Madrid. España. 461 p.
- WITTIG, E. 1981. Evaluación sensorial. Talleres Universidad de Santiago. Santiago. Chile. 124 p.
- WONG, D. 1995. Química delos Alimentos : Mecanismos y Teoría. EditorialAcribia, S. A. Zaragoza. España. 476 p.
- YANG, C. y YANG, P. 1987. Effect of pH, certain chemicals and holding time-temperature on the color of Lowbush blueberry puree. Journal of Food Science 52 (2) 346-352.

ANEXOS

ANEXO 1

Planilla de evaluación sensorial para aceptabilidad

PRUEBA DE ESCALA HEDONICA

NOMBRE:

FECHA:

Instrucciones

Sírvase evaluar las siguientes muestras de “Láminas de Fruta”.

Marque con una **X** aquel lugar que con mayor exactitud interpreta la magnitud de agrado o desagrado que le producen las muestras.

		MUESTRAS					
PUNTAJES	CATEGORIAS						
9	Me gusta extremadamente						
8	Me gusta mucho						
7	Me gusta moderadamente						
6	Me gusta levemente						
5	No me gusta ni me disgusta						
4	Me disgusta levemente						
3	Me disgusta moderadamente						
2	Me disgusta mucho						
1	Me disgusta extremadamente						

ANEXO 2

Planilla de evaluación sensorial para atributos de calidad.

EVALUACION DESCRIPTIVA GLOBAL

NOMBRE:

FECHA:

Instrucciones

Sírvase degustar las siguientes muestras de “Laminas de Fruta” en sus atributos de color, sabor, dulzor, acidez, textura y pegajosidad. Evalúe según la escala de valoración presentada.

Deje transcurrir 2 minutos entre muestra y no olvide enjuagar su boca.

ATRIBUTOS	CALIFICACION	MUESTRAS					COMENTARIOS
1) Color	1. Muy pálido 2. Moderadamente pálido 3. Pálido 4. Ni pálido ni oscuro 5. Moderadamente oscuro 6. Oscuro 7. Muy oscuro						
2) Sabor	1. Débil 2. Suave 3. Leve 4. Moderado 5. Marcado 6. Intenso 7. Muy intenso						

3) Dulzor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Insípido 2. Suave 3. Leve 4. Moderado 5. Notorio 6. Intenso 7. Muy intenso 						
4) Acidez	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muy débil 2. Moderadamente débil 3. Débil 4. Ni débil ni ácida 5. Moderadamente ácida 6. Ácida 7. Muy ácida 						
5) Textura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muy suave 2. Medianamente suave 3. Suave 4. Ni suave ni dura 5. Moderadamente dura 6. Dura 7. Muy dura 						
6) Pegajosidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muy seca 2. Moderadamente seca 3. Seca 4. Ni seca ni pegajosa 5. Moderadamente pegajosa 6. Pegajosa 7. Muy pegajosa 						

ANEXO 3

Contenido de humedad con respecto a la masa seca en función del tiempo de secado para los tres tratamientos T1, T2 y T3.

Datos de humedad libre en función del tiempo

t (h)	XT₁	XT₂	XT₃
0,00	3,87	3,89	3,84
0,25	3,79	3,76	3,80
0,50	3,69	3,65	3,72
0,75	3,58	3,54	3,62
1,00	3,48	3,42	3,54
1,25	3,38	3,32	3,44
1,50	3,28	3,21	3,34
1,75	3,18	3,11	3,24
2,00	3,08	3,01	3,14
2,50	2,81	2,68	2,93
3,00	2,60	2,47	2,73
3,50	2,41	2,29	2,53
4,00	2,21	2,07	2,34
4,50	2,01	1,88	2,13
5,00	1,83	1,70	1,95
6,00	1,50	1,40	1,59
7,00	1,21	1,14	1,26
8,00	0,97	0,94	0,99
9,00	0,79	0,76	0,81
10,00	0,66	0,62	0,69

(Continuación ANEXO 3)

11,00	0,54	0,50	0,58
12,00	0,45	0,42	0,47
13,00	0,36	0,31	0,39
15,00	0,24	0,20	0,28
17,00	0,16	0,12	0,19
19,00	0,10	0,08	0,11
21,00	0,07	0,05	0,08
23,00	0,04	0,03	0,05
25,00	0,02	0,01	0,03

Datos obtenidos de tiempo critico, humedad crítica y velocidad máxima.

t_{cr}	5	5	6
X_{cr}	1,83	1,86	1,8
X^*	0,02	0,01	0,03
$(-dX/dt)_{m\acute{a}x}$	4,081E-01	4,063E-01	3,401E-01
t^*	9	10	8

Obtención de humedad estándar y tiempo estándar

τ_1	\bar{u}_1	τ_2	\bar{u}_2	τ_3	\bar{u}_3
0	2,127	0	2,098	0,000	2,153
0,056	2,081	0,055	2,027	0,125	2,132
0,113	2,027	0,110	1,968	0,250	2,083
0,169	1,968	0,165	1,906	0,375	2,027
0,225	1,914	0,220	1,843	0,500	1,982
0,282	1,858	0,275	1,788	0,625	1,926
0,338	1,802	0,329	1,732	0,750	1,870
0,395	1,746	0,384	1,675	0,875	1,814

(Continuación ANEXO 3)

0,451	1,690	0,439	1,620	1,000	1,758
0,564	1,541	0,549	1,441	1,250	1,641
0,676	1,428	0,659	1,331	1,500	1,524
0,789	1,323	0,769	1,232	1,750	1,412
0,902	1,210	0,878	1,113	2,000	1,307
1,015	1,099	0,988	1,009	2,250	1,188
1,127	1,002	1,098	0,916	2,500	1,087
1,353	0,817	1,318	0,749	3,000	0,883
1,578	0,656	1,537	0,613	3,500	0,695
1,804	0,524	1,757	0,500	4,000	0,543
2,029	0,426	1,976	0,406	4,500	0,440
2,255	0,353	2,196	0,328	5,000	0,373
2,480	0,290	2,416	0,264	5,500	0,311
2,706	0,239	2,635	0,223	6,000	0,251
2,931	0,185	2,855	0,165	6,500	0,202
3,382	0,123	3,294	0,102	7,500	0,140
3,833	0,078	3,733	0,062	8,500	0,090
4,284	0,044	4,173	0,037	9,500	0,047
4,735	0,025	4,612	0,020	10,500	0,026
5,186	0,013	5,051	0,009	11,500	0,011
5,637	0,000	5,490	0,000	12,500	0,000