

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

**Estudio de la Conservación de Arándanos (*Vaccinium  
corymbosum*) cv. Elliot, mediante Deshidratación Osmótica  
y Secado por Aire. Determinación de Condiciones  
Experimentales Óptimas de Procesamiento**

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

**ALEJANDRO ARTURO HARO VERA**

VALDIVIA – CHILE

2004

**PROFESOR PATROCINANTE**

Fernando Figuerola Rivas

Ingeniero Agrónomo, Master of Food Science  
Instituto de Ciencia y Tecnología en Alimentos

**PROFESOR INFORMANTE**

Erwin Carrasco Ruiz

Ingeniero Civil Químico  
Instituto de Ciencia y Tecnología en Alimentos

**PROFESOR INFORMANTE**

Kong Shun Ah-Hen

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

Doctor en Ingeniería

Instituto de Ciencia y Tecnología en Alimentos

## **DEDICATORIA**

A mi Padres, Arturo y Carolina y a mi Hermano Marcelo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por su sacrificio, confianza, apoyo y amor incondicional a través de toda mi vida.

A mi hermano por su constante apoyo, cariño y comprensión en todas las situaciones.

Al profesor Fernando Figuerola, por su incondicional ayuda y apoyo para lograr el término exitoso de este trabajo. Gracias por la comprensión y todos sus aportes a este trabajo y a mi vida profesional en general.

A los profesores Erwin Carrasco, Kong Shun Ah-Hen y Fernando Asenjo por toda su ayuda, consejos y aportes para lograr que este trabajo pudiera ser realizado en forma completa.

A la UACH y a todos los profesores del ICYTAL, por ayudarme a la formación profesional en mi carrera como Ingeniero.

A Mauricio Ruiz-Clavijo, Enrique Moretti, y Clemente Ruiz-Clavijo, por permitirme compatibilizar mi trabajo profesional con el desarrollo y redacción final de este trabajo.

A todos mis amigos y compañeros por todo su apoyo, buenos momentos y tolerancia.

## INDICE DE MATERIAS

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BLIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Antecedentes generales	3
2.1.1	Producción nacional de arándanos	3
2.1.2	Composición química del arándano	5
2.2	Actividad de agua ( $A_w$ )	7
2.2.1	Actividad de agua y estabilidad de los alimentos	8
2.3	Deshidratación osmótica	9
2.3.1	Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica	10
2.3.2	Cinética de la deshidratación osmótica	11
2.3.2.1	Factores que afectan la deshidratación osmótica	11
2.3.2.2	Fase de contacto en la deshidratación osmótica	14
2.3.2.3	Duración del proceso de deshidratación osmótica	14
2.3.2.4	Transferencia de masa en la deshidratación osmótica	14
2.3.2.4.1	Aceleración de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica	15
2.4	Secado	16
2.4.1	Tipos de secadores	16
2.4.2	Curvas de velocidad de secado	17
2.4.3	Secado durante el periodo de velocidad constante	20
2.4.4	Secado durante el periodo de velocidad decreciente	20
2.5	Cambios en la microestructura del fruto debido a la deshidratación osmótica y secado	21
3	MATERIAL Y MÉTODO	22
3.1	Lugar de ensayo	22
3.2	Materiales	22

3.2.1	Materia prima	22
3.2.2	Agente osmótico	22
3.2.3	Equipos y materiales utilizados en la deshidratación osmótica	22
3.2.4	Equipos y materiales utilizados en la etapa de secado	23
3.3	Método	24
3.3.1	Diseño experimental para la deshidratación osmótica	24
3.3.2	Procedimiento	25
3.3.3	Mediciones experimentales	26
3.3.3.1	Determinación de humedad	26
3.3.3.2	Determinación de sólidos solubles	26
3.3.3.3	Determinación de la actividad de agua ( $A_w$ )	27
3.3.3.4	Análisis de microscopía electrónica	27
3.3.4	Análisis de datos	28
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	29
4.1	Deshidratación osmótica	29
4.1.2	Variación de humedad y sólidos solubles en la deshidratación osmótica	29
4.1.2.1	Análisis de varianza para la pérdida de humedad en la deshidratación osmótica	37
4.1.2.2	Optimización de la reducción de humedad en el proceso de deshidratación osmótica	38
4.1.2.3	Análisis de varianza para la ganancia de sólidos solubles en la fruta durante la deshidratación osmótica	40
4.1.2.4	Optimización de la ganancia de sólidos solubles en el fruto durante la deshidratación osmótica	41
4.2	Secado	43
4.2.1	Curvas de secado	43
4.2.2	Curvas de velocidad de secado	47
4.2.3	Curvas de velocidad de secado adimensional	49
4.2.4	Análisis de varianza para la pérdida de humedad en el proceso de secado	50
4.2.5	Optimización de la pérdida de humedad en la etapa de	51

	secado, según los factores involucrados en el pretratamiento osmótico de la fruta	
4.2.6	Análisis de varianza para el contenido final de humedad en la fruta en el proceso de secado	53
4.2.7	Optimización del contenido final de humedad en el fruto en el proceso de secado	54
4.2.8	Optimización de la actividad de agua final en el fruto luego del proceso de secado	55
4.3	Exploración microscópica del fruto durante el proceso de deshidratación osmótica y secado	57
5	CONCLUSIONES	61
6	RESUMEN	62
	SUMMARY	63
7	BIBLIOGRAFÍA	64

**INDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Composición química del arándano cultivado para 100 g	5
2	Composición de microelementos para 100 g de porción comestible de arándano cultivado	6
3	Actividad de agua y crecimiento de microorganismos en los alimentos	8
4	Diseño experimental para la deshidratación osmótica	24
5	Diseño experimental nominal para la deshidratación osmótica	24



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Evolución de la superficie y producción de arándanos en Chile	4
2	Esquema de transferencia de masa en la deshidratación osmótica	14
3	Curva típica de secado en función del tiempo	19
4	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad	19
5	Esquema del equipamiento para la deshidratación osmótica	23
6	Secador de bandejas	23
7	Diagrama de flujo del experimento	26
8	Procedimiento de observación y exploración microscópica	27
9	Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una temperatura del medio osmótico de 40 °C	30
10	Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una temperatura del medio osmótico de 50 °C	31
11	Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una temperatura del medio osmótico de 55 °C	32
12	Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una concentración del medio osmótico de 55 °Brix	34
13	Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una concentración del medio osmótico de 60 °Brix	35
14	Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una concentración del medio osmótico de 65 °Brix	36
15	Valores promedios de $\Delta W$ según $T^\circ$ del medio osmótico	37
16	Superficie de respuesta estimada para el proceso de deshidratación osmótica, en relación a la disminución de la humedad inicial	38
17	Contornos de la superficie de respuesta para la DO.	39

18	Comparación de promedios para $\Delta SS$ según temperatura y concentración de la solución osmótica	40
19	Superficie de respuesta para $\Delta SS$ durante la deshidratación osmótica.	41
20	Contornos de la superficie de respuesta para el proceso de deshidratación osmótica. Variable de respuesta $\Delta SS$	42
21	Curvas de secado para fruta pretratada osmóticamente a 40 °C; 55,60 y 65 ° Brix en el agente osmótico	44
22	Curva de secado para ruta pretratada osmóticamente a 50 °C; 55, 60 y 65 °Brix en el agente osmótico	45
23	Curva de secado para fruta pretratada osmóticamente a 55 °C; 50, 60 y 65 °Brix en el agente osmótico	46
24	Curvas de velocidad de secado según temperatura y concentración de la solución osmótica	48
25	Curva de secado adimensional	49
26	Comparación de promedios para la pérdida de humedad ( $\Delta W$ ) en la fruta según temperatura y concentración de la solución osmótica	50
27	Superficie de respuesta estimada para la pérdida de humedad en la etapa de secado	52
28	Contornos de la superficie de respuesta para el proceso de secado. Variable de respuesta $\Delta$ Humedad	52
29	Comparación múltiple de promedio para humedad final del fruto en el proceso de secado	53
30	Superficie de respuesta para el contenido de humedad final en la etapa de secado	54
31	Contornos de la superficie de respuesta para el proceso de secado. Variable de respuesta Humedad final	55
32	Superficie de respuesta para la $A_w$ final en el proceso de secado	56
33	Exploración microscópica del arándano congelado utilizado como materia prima para el estudio de deshidratación osmótica y secado	57

34	Microestructura del arándano después de 5 horas de deshidratación osmótica	58
35	Microestructura del arándano después de 5 horas de tratamiento osmótico y 10 horas de secado por aire	59

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo nacional de arándanos ha experimentado un gran crecimiento en los últimos 10 años, impulsado por las exportaciones a Norteamérica y Europa; lugares donde Chile es el líder en el abastecimiento de contra estación. En la actualidad, se estima que Chile cuenta con una superficie plantada de 1.590 ha con una producción del orden de las 5.500 toneladas, las cuales tienen como principal destino la exportación como producto fresco.

Debido al gran auge que está experimentando el arándano en el mercado externo, se deberían buscar alternativas de procesamiento para el remanente de exportación de esa fruta, que permitan incorporar un mayor valor agregado al producto. Además, mediante la industrialización del arándano se incentiva el cultivo de esta fruta a través de pequeños agricultores, lo cual, ayudaría a mejorar la situación actual de éstos en la X Región.

Entre las alternativas de procesamiento para este tipo de fruta destacan: el congelado, la fabricación de jugos y concentrados, la fabricación de colorantes y la deshidratación osmótica. Este último, es un proceso ampliamente conocido en frutas sobre el cual se ha trabajado mucho alrededor de todo el mundo; sin embargo, la deshidratación osmótica de arándanos es un proceso poco trabajado y mínimamente conocido en Chile. Debido a lo anterior, se hace necesario una investigación para lograr condiciones óptimas de procesamiento que permitan, en un futuro próximo, contar con la deshidratación osmótica de arándanos como una alternativa viable de industrialización para la X Región.

Hipótesis:

La temperatura y la concentración de la solución osmótica influyen directamente en la deshidratación de arándanos.

Con la finalidad de conocer la magnitud de la influencia de la temperatura y la concentración de la solución osmótica en la deshidratación de arándanos de plantearon los siguientes objetivos.

Objetivo general:

- Estudiar la deshidratación osmótica y secado de arándanos para la determinación de las mejores condiciones de procesamiento que generen una mayor conservación del producto final.

Objetivos específicos:

- Determinar la concentración ideal de sacarosa para ser usada como solución osmótica en la deshidratación de arándanos.
- Determinar la temperatura ideal para llevar a cabo la deshidratación osmótica de arándanos.
- Determinar condiciones ideales donde se logra la mejor penetración de azúcar en el fruto.
- Estudiar las curvas de secado para el fruto pretratado osmóticamente.
- Estudiar los cambios en la microestructura del fruto por efecto de los procesos de deshidratación osmótica y secado.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

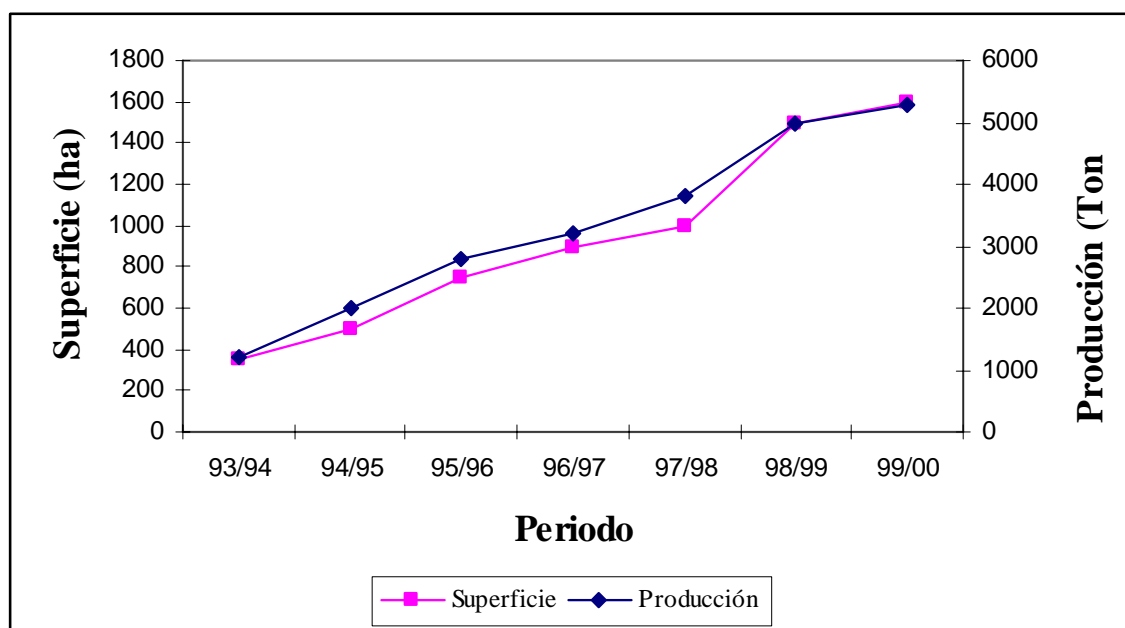
### 2.1 Antecedentes generales

Desde hace algunas décadas, los arándanos han sido reconocidos como frutas saludables para el organismo humano. En la actualidad, se ha demostrado científicamente la alta capacidad antioxidante de los arándanos y sus efectos neutralizantes sobre los radicales libres que atacan las células humanas y dañan el DNA. El flavonoide presente en el pigmento del arándano, llamado antocianina, está siendo estudiada por su capacidad de mejorar la visión y reducir la incidencia de enfermedades relacionadas con la edad. (NORTH AMERICAN BLUEBERRY COUNCIL, 2000).

**2.1.1 Producción nacional de arándanos.** En Chile, el cultivo de arándanos se inicia a fines de los 80, presentando luego un rápido desarrollo impulsado por las exportaciones. En 1999 las ventas externas de este producto generaron retornos por US\$ 24 millones FOB, el triple del valor exportado tres años atrás y muy superiores a los US\$ 1,6 millones que se obtenían a principios de la década pasada (URRUTIA, 2000).

La superficie cultivada de arándanos se ha duplicado entre 1996 y el año 2000 motivados por los buenos resultados económicos obtenidos por el cultivo de la especie (FIGURA 1).

Las plantaciones de arándanos están concentradas en la zona sur, específicamente desde la VII a la X región. Las variedades plantadas son mayoritariamente del tipo High Bush (Bluecorp, Blueray, Berkeley) y en las zonas climáticas más templadas Rabbiteye. En la actualidad los cultivares más demandados son O'Neal y Duke (tempranas) y Elliot (tardía). El periodo de cosecha en Chile se extiende desde Noviembre hasta Abril (URRUTIA, 2000).



**FIGURA 1. Evolución de la superficie y producción de arándanos en Chile.**

FUENTE: URRUTIA (2000).

El arándano obtenido en forma silvestre y de cultivos, presenta un mercado en expansión, verificándose incrementos en las plantaciones y un creciente interés en su consumo a nivel mundial. En Europa los principales productores son Francia, España, Holanda, Alemania y Polonia, proyectándose para la presente década un aumento sostenido de la producción para los tres primeros y una disminución tanto para Alemania como para Polonia. Para Norteamérica se proyectan cosechas abundantes y crecientes a niveles similares a los registrados en los periodos 2000-2001.

Considerando otros países del hemisferio sur, no existe hasta ahora una competencia importante para Chile en los principales mercados consumidores. Por ejemplo en el 2001, la venta total de arándanos frescos de los países que producen en contra estación respecto al hemisferio norte, solo representó 4% de lo adquirido por la Unión Europea desde terceros países, destacándose ampliamente Chile en este grupo seguido por Australia.

De Argentina no se dispone de cifras productivas, pero se sabe que existe mucho interés al igual que en Nueva Zelanda.

**2.1.2 Composición química del arándano.** La composición química del arándano, según la NORTH AMERICAN BLUEBERRY COUNCIL y según SENSER y SCHERZ (1999) se muestra en el CUADRO 1. Se aprecia que existen diferencias en los datos reportados en ambas publicaciones, en relación a los componentes principales para 100 g de porción comestible.

En relación a los microelementos presentes en la estructura interna de la fruta, estos se presentan en el CUADRO 2. Aquí, destaca por su importancia relativa el hierro en los minerales, el triptófano en los aminoácidos, el ácido linolénico y linoleico en los ácidos grasos, y el ácido málico y cítrico como ácidos orgánicos presentes en el arándano.

**CUADRO 1 Composición química del arándano cultivado para 100 g.**

Nutriente	Unidad	Cantidad (1)	Cantidad (2)
Humedad	g	85,15	84,6
Proteína	g	1,12	0,6
Grasa	g	0,02	0,6
Ceniza	g	0,19	0,3
Azúcares	g	10,65	6,0
Fibra dietética total	g	2,86	4,9
Ácidos orgánicos	g	-----	1,4

FUENTES: (1) NORTH AMERICAN BLUEBERRY COUNCIL (2000)

(2) SENSER y SCHERZ (1999)

En el CUADRO 1, se observan diferencias significativas entre ambos autores, sobretodo en el contenido de azúcares y en la fibra dietética total. El contenido de agua promedio informado por ambos autores se encuentra alrededor del 85 %.

Los proporciones de los constituyentes del arándano pueden variar debido al cultivar y a la zona de cultivo (clima, suelo, etc). En Chile no se encontraron publicaciones que describan con detalle esta variabilidad respecto de lo anterior, pero en publicaciones especialmente originadas en USA, se hace patente dicha situación como se puede observar en los CUADROS 1 y 2.



**CUADRO 2 Composición de microelementos para 100 g de porción comestible de arándano cultivado.**

<b>Sales Minerales</b>			
Sodio	1 mg	Cobre	110 ug
Potasio	65 mg	Cinc	100 ug
Magnesio	2 mg	Fósforo	13 ug
Calcio	10 mg	Cloro	5 ug
Manganeso	300 – 5000 ug	Flúor	2 ug
Hierro	740 ug		
<b>Vitaminas</b>			
Carotenos	130 ug	Acido pantoténico	160 ug
Vitamina B1	20 ug	Vitamina B6	60 ug
Vitamina B2	20 ug	Biotina	1 ug
Nicotinamida	400 ug	Acido fólico	6 ug
Vitamina C	30 ug		
<b>Aminoácidos</b>			
Triptófano		10 mg	
<b>Hidratos de carbono</b>			
Glucosa	2.460 mg	Fructosa	3.340 mg
Sacarosa	190 mg	Xilitol	2 mg
Sorbitol	4 mg		
<b>Lípidos</b>			
Ácido palmítico	15 mg	Ácido esteárico	Trazas
Ácido oleico	70 mg	Ácido linoleico	175 mg
Ácido linolénico	220 mg		
<b>Otros componentes</b>			
Ácido málico	850 mg	Ácido cítrico	525 mg
Ácido tartárico	220 ug	Ácido clorogénico	120 mg

FUENTE: SENSER y SCHERZ (1999).

## 2.2 Actividad de agua ( $A_w$ )

Desde hace mucho tiempo se sabe que existe una relación, aunque imperfecta, entre el contenido de agua de los alimentos y su alterabilidad. Los procesos de concentración y deshidratación se emplean primariamente con el objeto de reducir el contenido de agua de un alimento, incrementando simultáneamente la concentración de solutos y disminuyendo de este modo su alterabilidad (FENNEMA, 1993).

Sin embargo, también se ha observado que diversos alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su susceptibilidad a la alteración. En consecuencia, el contenido de agua por sí solo, no es un indicador fiable de la alterabilidad. Esta inadecuación puede atribuirse, en parte, a diferencias en la intensidad con que las moléculas de agua se asocian con los constituyentes no acuosos, ya que el agua que interviene en asociaciones fuertes es menos capaz de participar en actividades degradativas, tales como el crecimiento de los microorganismos y las reacciones químicas hidrolíticas (POTTER, 1999). El término actividad de agua ( $A_w$ ) fue desarrollado para tener este factor en consideración y se correlaciona suficientemente bien con las velocidades de muchas reacciones degradativas como para que su uso sea valioso (FENNEMA, 1993).

La actividad de agua se define de la siguiente manera (BELITZ y GROSCH, 1997)

$$A_w = \text{HRE}/100 = p/p_o$$

Donde:

$A_w$  = Actividad de agua.

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

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

HRE = Humedad relativa en el equilibrio.

**2.2.1 Actividad de agua y estabilidad de los alimentos.** La estabilidad de los alimentos y la actividad de agua están estrechamente relacionadas en muchas situaciones ( CUADRO 3).

**CUADRO 3 Actividad de agua y crecimiento de microorganismos en los alimentos.**

Rango de Aw	Microorganismos generalmente inhibidos por la Aw mas baja de este rango	Alimentos comprendidos dentro de este rango
1,00-0,95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , algunas levaduras.	Alimentos altamente perecederos (frescos), frutas enlatadas, verduras, carne, pescado, leche, salchichas cocidas, pan.
0,95-0,91	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrioparahaemolyticus</i> , <i>C. Botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , algunos mohos y levaduras	Algunos quesos (Cheddar, Swiss, provolone), carne curada (Jamon de York), algunos zumos de frutas concentrados.
0,91-0,87	Muchas levaduras ( <i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i> ), <i>Micrococcus</i>	Embutidos fermentados (salame), dulces esponjosos, quesos secos, margarina.
0,87-0,80	Mayoría de mohos (penicilios micotoxigénicos), <i>Sthaphylococcus aureus</i> , mayoría de sp <i>Saccharomyces (Bailli)</i> .	Mayoría de zumos de frutas concentrados, leche condensada edulcorada, jarabe de chocolate, harina, arroz, legumbres
0,80-0,75	Mayoría de bacterias halófilas, aspergilos micotoxigénicos	Compota, mermelada, mazapán, frutas glaseadas.
0,75-0,65	Mohos xerofíticos ( <i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>A. Candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i> ) <i>Saccharomyces bisporus</i>	Productos de avena, dulce de chocolate, jaleas, azúcar de caña sin refinar, algunaa frutas secas.
0,65-0,60	Levaduras osmofílicas ( <i>Saccharomyces rouxii</i> ), pocos mohos ( <i>Aspergillus echinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i> )	Frutas desecadas conteniendo 15-20 % de humedad, algunos toffes, caramelos y miel.
0,5	No existe proliferación microbiana	Pastas conteniendo 12% de humedad.
0,40	No existe proliferación microbiana	Polvo de huevo entero con 10% de humedad.
0,30	No existe proliferación microbiana	Galletas, cortezas de pan y similares conteniendo entre 3-5% de humedad
0,20	No existe proliferación microbiana	Leche entera en polvo conteniendo 2-3% de humedad, verduras desecadas conteniendo 5% de humedad, palomitas de maíz.

FUENTE: FENNEMA (1993)

Además de las reacciones químicas y crecimiento microbiano, la  $A_w$  también influye en la textura de los alimentos secos y semisecos. La  $A_w$  máxima que puede tolerarse en los productos secos sin inducir la pérdida de propiedades deseables oscila desde 0,35 hasta 0,50, dependiendo del producto. Además, para evitar el endurecimiento indeseable de los alimentos texturados blandos se necesitan actividades de agua adecuadamente altas (FENNEMA, 1993).

### **2.3 Deshidratación osmótica.**

La remoción de humedad de los productos alimenticios es uno de los métodos de preservación más antiguos (SINGH y HELDMAN, 1992).

El proceso de deshidratación se define como la aplicación de calor bajo condiciones controladas para remover la mayoría del agua presente normalmente en un alimento. Esta definición excluye otras operaciones unitarias como separaciones mecánicas, concentración por membranas y evaporación. El principal objetivo de la deshidratación es extender la vida útil de los alimentos, a través de una reducción de la actividad de agua (FELLOWS, 1998).

En la actualidad, la inmensa mayoría de la producción alimentaria se conserva mediante sistemas que incluyen varios métodos simultáneamente, lo que se denomina tecnología de obstáculos o métodos combinados. Además, la creciente demanda del consumidor por productos lo más parecido a alimentos frescos, ha llevado a una reducción en la severidad de los tratamientos de conservación dando lugar a alimentos con un mínimo deterioro de los atributos sensoriales en comparación a la materia prima (GARCIA, 1994).

La deshidratación osmótica es, en la actualidad, uno de los procedimientos más usados en la tecnología de obstáculos. El proceso consiste en eliminar parte del agua que contiene un alimento, poniéndolo en contacto directo con una solución altamente concentrada del soluto apropiado, con lo que el alimento puede perder hasta el 50% de su peso original (Salunke y col. 1973; citados por MATA, 1992). La inmersión del fruto provoca una depresión de la actividad de agua y un aumento de la concentración de azúcares al pasar estos de la solución al fruto, obteniéndose un producto semielaborado

con tiempos de conservación mayor y características organolépticas aceptables por el consumidor (COSENTINO *et al.* 1994).

Los flujos de masa que se originan en el proceso son principalmente dos y en sentido contrario: uno de agua de la fruta a la solución y otro de sólidos (azúcar) de la solución a la fruta, hasta alcanzar el equilibrio termodinámico. El agente osmótico, además de contribuir a la reducción de peso, tiene un función importante en la protección de algunas propiedades del producto tales como color, aroma, textura, etc (ROSELL y LLUCH, 1994).

**2.3.1 Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica.** En la literatura se citan las principales ventajas del proceso de deshidratación osmótica en contraposición a los tratamientos tradicionales de secado utilizados en la industria alimentaria. Algunas de las principales son las siguientes:

- Debido a que la osmosis puede realizarse a temperaturas medias (55-65 °C) el daño en el color y sabor de los alimentos es mínimo (MATA, 1992)
- El sabor “fresco” de los productos como las frutas se mantiene mejor si éstas se someten a deshidratación osmótica, que a los tratamientos de secado tradicional para la elaboración de productos autoestables de humedad intermedia (COSENTINO *et al.* 1994).
- La alta concentración de soluto alrededor de la fruta previene el desarrollo de oscurecimiento evitando el uso de aditivos químicos como sulfitos (COSENTINO *et al.* 1994).
- La estructura de los alimentos se conserva más adecuadamente debido a que la eliminación de agua se realiza sin cambio de estado (Shipman et al; 1972; citado por MATA 1992).
- Si se considera al proceso de deshidratación osmótica como un pretratamiento del secado por aire caliente, permitiría reducir los costos de esta última operación, debido a que la masa de agua a extraer sería de una magnitud menor. (MATA, 1992).

Aunque, como se mencionó anteriormente, el proceso de deshidratación osmótica posee muchas ventajas; también se presentan algunas desventajas que se mencionan a continuación:

- En la mayoría de los casos, es necesario una etapa posterior a la deshidratación osmótica para estabilizar completamente el producto (RAMASWAMY y NSONZI, 1998).
- La lentitud del proceso de deshidratación osmótica puede representar un problema en algunos casos (Judson, 1974; citado por MATA 1992)
- Puede formarse una capa de azúcar en los productos después del secado complementario que no favorezca la textura final de los mismos. Además, la alta retención de aceites esenciales en las frutas tratadas osmóticamente puede propiciar la oxidación de los mismos en pocas semanas deteriorando el sabor de los mismos (RICO *et al.*, 1994).

**2.3.2 Cinética de la deshidratación osmótica.** El modelamiento del proceso de deshidratación osmótica puede ser realizado mediante el estudio de la influencia que factores extrínsecos tales como: temperatura, concentración de la solución osmótica y tiempo de contacto; e intrínsecos como: tipo de alimento, tamaño y forma tienen sobre el fenómeno de transferencia de masa (pérdida de humedad y ganancia de sólidos). Todas las condiciones anteriores, influyen las características del producto final y por tanto su calidad (RAMASWAMY y NSONZI, 1998).

**2.3.2.1 Factores que afectan la deshidratación osmótica.** Los principales factores son los siguientes:

- **Especie, variedad y grado de madurez.** La especie, variedad y el grado de madurez tienen un efecto significativo sobre la estructura natural del tejido en términos de composición de la pared celular; por lo tanto afecta sustancialmente el intercambio de masa entre el producto y el medio osmótico (LAZARIDES, *et al.* 1999). Además, la compactación del tejido, el contenido inicial de material

insoluble y el tamaño de los espacios intercelulares son características importantes en la cinética de deshidratación osmótica (MATA, 1992).

GARCIA y SERRA, 1994, señalan que la firmeza de la materia prima afecta las características de calidad de la deshidratación osmótica y posterior secado de rodajas de Kiwi.

HARTAL (1967), encontró que bajo condiciones de proceso similares; diferentes variedades de tomate generaron pérdidas de agua sustancialmente distintas en el proceso de deshidratación osmótica.

- **Superficie específica de contacto.** El tamaño y la forma juegan un rol muy importante en el proceso de transferencia de masa debido a que determinan al área específica de contacto. (LAZARIDES *et al.* 1999).

Al aumentar la superficie específica de la fruta sometida a tratamiento osmótico, aumenta la pérdida de agua y por lo tanto la ganancia de solutos se torna mayor (ROSELL y LLUCH, 1994).

- **Pretratamiento del producto.** El pretratamiento del producto y las condiciones de proceso, afectan la integridad del tejido natural y tienen por lo tanto un severo efecto sobre el proceso de transferencia de masa. La disrupción de las barreras estructurales mejoran la difusividad del agua y del soluto al interior del producto, resultando en un equilibrio más rápido en favor de la ganancia de soluto. El escaldado, la congelación, sulfatación, acidificación y procesos de alta temperatura favorecen la penetración de sólido al interior del fruto (LAZARIDES *et al.* 1999).

- **Temperatura del proceso.** Las temperaturas comprendidas entre los 20 y 60 °C son comúnmente usadas en el tratamiento osmótico de frutas. En tales condiciones se aumenta la velocidad de transferencia de masa y se reduce considerablemente el tiempo de tratamiento, lo que permite obtener pérdidas de humedad más elevadas; esto se debe a que en general la transferencia de agua

ocurre a tasas mayores durante las dos primeras horas de tratamiento y prácticamente se anula pasado ese tiempo, en cambio la transferencia de soluto continúa aumentando regularmente, agregando de esta manera, una mayor cantidad de masa a la fruta (MATA, 1992).

Por otro lado, las temperaturas por sobre los 60 °C pueden afectar las propiedades de los tejidos vegetales, favoreciendo la ganancia de solutos pero afectando la calidad organoléptica (SALVATORI *et al.* 1998).

- **Composición de la solución osmótica.** Este es otro factor clave del proceso de deshidratación osmótica. La sacarosa y el cloruro de sodio son los solutos mayormente utilizados, aunque se han utilizado otros como glucosa, lactosa, almidón de baja dextrosa, etc. Los solutos usados en deshidratación deben ser baratos, no tóxicos, de solubilidad elevada y poco viscosos (MATA, 1992).

La composición y concentración de la solución osmótica predetermina su potencial químico, el cual proporciona la fuerza para la transferencia de masa entre el medio osmótico y el producto (LAZARIDES *et al.* 1999).

Cuando se aumenta el tamaño molecular de los solutos se puede disminuir la transferencia de estos a la fruta y por lo tanto impedir una ganancia excesiva de masa. Además, la transferencia de solutos a la fruta puede ser buscada con otros fines como: la estabilización (antifúngicos, antioxidantes), interés nutricional (vitaminas, minerales), fines organolépticos (aroma, sabor, textura), etc. (FITO *et al.* 1998).

- **Concentración de la solución osmótica.** La transferencia de masa se favorece generalmente al utilizar soluciones muy concentradas (50 a 70 °Brix) (RAMASWAMY, 1998). Además, un aumento en la diferencia inicial de concentración entre el producto y la solución tiene un efecto favorable importante en la pérdida de agua y más débil o casi nulo en la ganancia de solutos, de ahí una reducción de peso creciente con la concentración del soluto (HAWKES y FLINK, 1978).



**2.3.2.2 Fase de contacto en la deshidratación osmótica.** La fase de contacto es determinada principalmente por 2 factores:

- Tasa producto/solución.
- Movimiento relativo de la solución hacia la superficie del producto.

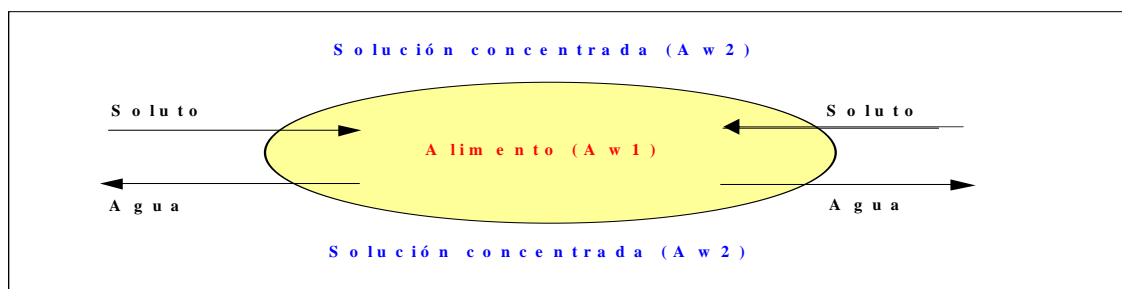
Usualmente se utiliza una tasa producto solución  $< 1/30$  para lograr que el efecto de dilución causado por la remoción de agua se torne despreciable (LAZARIDES *et al.* 1999).

**2.3.2.3 Duración del proceso de deshidratación osmótica.** Para alcanzar el equilibrio (caracterizado por una igualdad en el potencial químico del agua en el producto y la solución) se necesitan por lo general grandes períodos de tiempo. Sin embargo, se ha encontrado que la transferencia de masa no es significativa después de 4 a 5 horas (LENART y FLINK, 1984a).

El tiempo de proceso, depende de la profundidad de los cambios que se quiera lograr en la fruta: Impregnación, pretratamiento osmótico, deshidratación osmótica, producción de fruta confitada, etc (FITO *et al.* 1998).

**2.3.2.4 Transferencia de masa en la deshidratación osmótica.** Cuando un trozo de fruta con actividad de agua  $A_w1$  se introduce en una solución con actividad de agua  $A_w$  más baja, se suceden dos flujos simultáneos en contracorriente (FIGURA 2):

1. El agua se transporta desde el interior del alimento hacia la solución.
2. El soluto se transporta de la solución al alimento.



**FIGURA 2. Esquema de transferencia de masa en la deshidratación osmótica.**

FUENTE: MATA (1992)

La transferencia de masa se producirá hasta que se igualen las actividades de agua del alimento y la solución osmótica, posiblemente por la salida simultánea de agua y una penetración en menor proporción de sólidos al alimento, lo que da como resultado una mayor pérdida de agua (deshidratación) y un aumento en el contenido de sólidos solubles. Además, existe una salida de sustancias hidrosolubles nativas en pequeña cantidad, que frecuentemente es insignificante, y por lo general no se toma en cuenta (MATA, 1992).

En el movimiento de agua desde el interior del alimento hasta la superficie de este, la microestructura de la pieza de alimento y la interrelación de los componentes de este con el agua, son de suma importancia para la naturaleza y velocidad de salida de este compuesto. Por otro lado, la transferencia de agua hacia la solución concentrada, es facilitada por la turbulencia (agitación) de ésta que se encuentra rodeando al alimento, ya que con esto se evita que se forme una película de jarabe menos concentrado alrededor del producto. (FITO *et al.* 1998).

Según MAGEE *et al.* (1983), tres pasos principales están implicados en el proceso de difusión del soluto en la deshidratación osmótica:

1. La transferencia de masa de la solución concentrada a la superficie del alimento.
2. Difusión interna
3. Adsorción en un punto activo situado en el interior de la estructura.

**2.3.2.4.1 Aceleración de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica.** El proceso de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de frutas, ha sido estudiado ampliamente en orden de acelerar y facilitar mediante pretratamientos o tratamientos conjuntos.

RASTOGHI y NIRANJAN (1998), demostraron que en rodajas de piña pretratadas a presiones superiores a 400 MPa la difusividad de agua y soluto fue significativamente superior al control (muestra sin pretratamiento). Lo anterior se debe a que el tratamiento a altas presiones quiebra las paredes celulares suavizando el tejido de la fruta.

En lo referente al uso de pulsos de campos eléctricos de alta densidad, RASTOGI *et al.* (1999) los utilizaron en el pretratamiento de zanahorias para deshidratación osmótica en

el rango de 0,22 a 1,6 KV/cm. Los resultados obtenidos evidenciaron un aumento del índice de desintegración celular. Además se comprobó que los coeficientes de difusión incrementaron exponencialmente con la fuerza del campo eléctrico aplicado.

En relación a la utilización de microondas en la deshidratación osmótica, PROTHON et al. (2001) estudiaron la aplicación de este tratamiento en manzanas; demostrándose el efecto beneficioso en la apariencia final y en la tasa de rehidratación de la fruta.

## **2.4 Secado.**

El termino secado se refiere a la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. En general el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de un cierto material y se utiliza como técnica de preservación (GEANKOPLIS, 1986).

**2.4.1 Tipos de secadores.** Entre los secadores más comunes, destacan los siguientes:

- Secador de bandejas: este tipo de secador, contiene bandejas que se cargan y descargan de un gabinete. Un ventilador hace recircular el aire calentando con vapor sobre la superficie de las bandejas, paralelamente a las mismas. También se utiliza calor obtenido con electricidad, es especial cuando el calentamiento es bajo. Más o menos entre el 10-20 % del aire que pasa sobre las bandejas es aire nuevo, siendo el resto aire recirculado (GEANKOPLIS, 1986)
- Secador de cinta transportadora perforada: Este tipo de secador opera con recirculación transversal. La capa de material a secar se transporta lentamente sobre una tela metálica a través de un largo túnel o cámara de secado. La cámara esta formada por una serie de secciones separadas, provistas cada una de su propio ventilador y calentador de aire (MC CABE *et al.* 1991).
- Secadores por pulverización: Aquí, un líquido o una suspensión se pulveriza o se rocía en una corriente de gas caliente para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se vaporiza de dichas gotas con rapidez, obteniéndose partículas secas del sólido que se separan de la corriente del gas (GEANKOPLIS, 1986).

- Secadores rotatorios: este tipo de secadores, están formado por una carcasa cilíndrica giratoria horizontal o ligeramente inclinada hacia la salida. La alimentación húmeda se introduce por un extremo del cilindro y el producto seco se descarga por el otro. Cuando gira la carcasa unas placas elevan los sólidos y los esparcen en el interior de la misma. Los secadores rotatorios se calientan por contacto directo de aire o gases con el sólido, por medio de gases calientes que circulan a través de un encamisado que cubre la carcasa, o por medio de vapor que condensa en un haz de tubos longitudinales que están montados en la superficie interna de la carcasa (MC CABE *et al.* 1991).
- Secadores de tambor: Consiste en un tambor de metal calentado, en cuyo exterior se evapora la capa delgada de un líquido o una suspensión hasta lograr secarla. El sólido seco final se raspa del tambor que gira lentamente. Los secadores de tambor son adecuados para el procesamiento de suspensiones o pastas de sólidos finos, así como para soluciones verdaderas (GEANKOPLIS, 1986).
- Secador de tornillo sin fin: este tipo de secador es del tipo continuo de calentamiento indirecto, formado esencialmente por un transportador de tornillo sin fin horizontal (o un transportador de paletas) encerrado dentro de una carcasa cilíndrica encamisada. La alimentación que entra por un extremo se transporta lentamente a través de la zona caliente y se descarga por el otro extremo. El vapor generado, se extrae a través de conducciones colocadas en la parte superior de la carcasa (MC CABE *et al.* 1991).

**2.4.2 Curvas de velocidad de secado.** Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se coloca una muestra en una bandeja. La pérdida en peso de humedad durante el secado, puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado (SHARMA *et al.* 2000).

Es necesario considerar que la muestra no debe ser demasiado pequeña y debe introducirse en una bandeja similar a la que se utilizará en producción. La humedad,

temperatura, velocidad y dirección del aire deben ser los mismos y constantes para simular un secado en condiciones invariables (GEANKOPLIS, 1986).

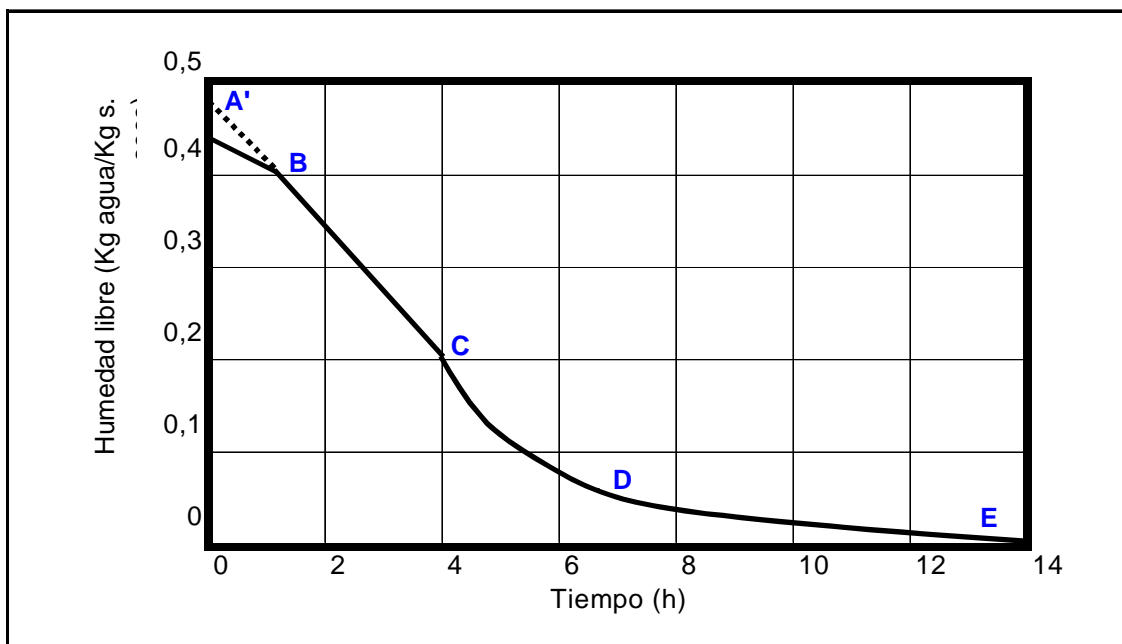
En la FIGURA 4 se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante empezando con un tiempo cero, el contenido de humedad libre corresponde al punto A. Al principio el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto B la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al comenzar la operación la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. Este periodo inicial de ajuste con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado.

La curva de la FIGURA 3 es recta entre los puntos B y C por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la FIGURA 4.

En el punto C de ambas gráficas la velocidad de secado comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente la velocidad corresponde a la línea CD en la FIGURA 4, y por lo general es lineal.

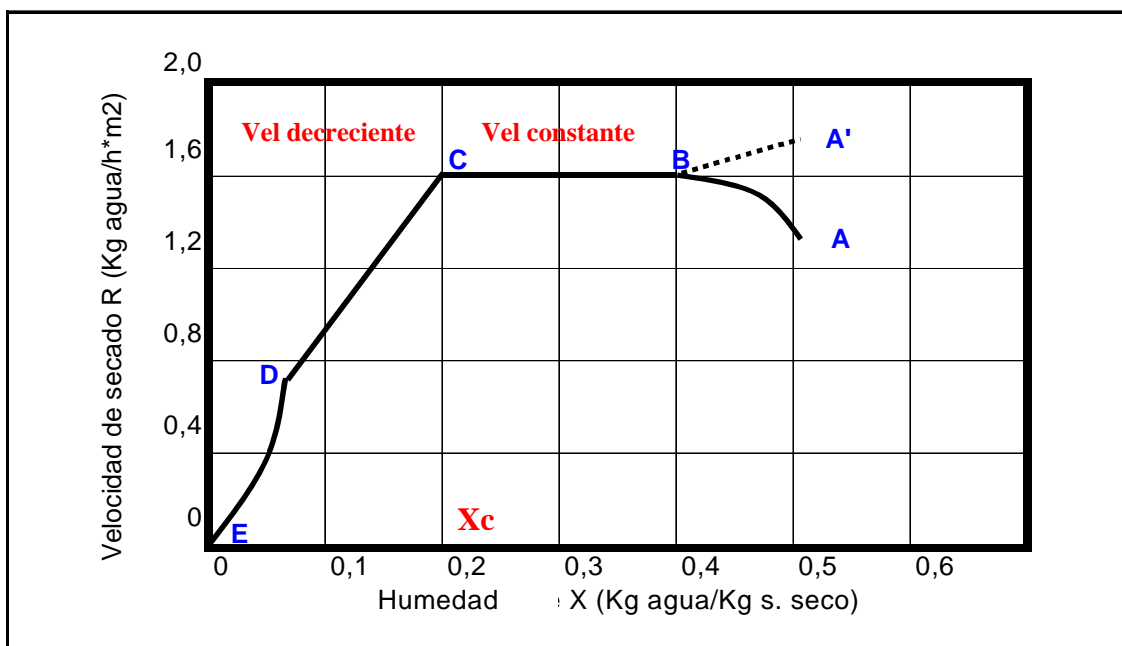
En el punto D la velocidad de secado disminuye con mayor rapidez aun, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio es  $X^*$  y  $\Delta X = X_t - X^* = 0$ . En el secado de algunos materiales la región CD puede no existir o bien constituir la totalidad del periodo de velocidad decreciente (GEANKOPLIS, 1986).

Debido a la naturaleza de los materiales a secar, pueden existir pronunciadas diferencias en la forma de las curvas debido al mecanismo de flujo de humedad en las capas internas de los materiales de secado. El estudio experimental de la distribución de humedad durante el secado es también muy importante para la interpretación de los mecanismos antes mencionados (MC CABE, 1991).



**FIGURA 3** Curva típica de secado en función del tiempo.

FUENTE: GEANKOPLIS (1986).



**FIGURA 4** Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad.

FUENTE: GEANKOPLIS (1986).

**2.4.3 Secado durante el periodo de velocidad constante.** El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado casi siempre produce curvas de formas variables en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las 2 zonas principales de la curva de velocidad de secado: el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente (SHARMA *et al.* 2000).

Durante el primer periodo, la superficie del sólido, está al principio muy mojada y sobre ella existe una película de agua continua. Esta capa esta siempre sin combinar y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y es esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Sin embargo, las oscilaciones y hendiduras en la superficie del sólido ayuda a obtener una velocidad más alta que la que tendría una superficie completamente plana (MC CABE, 1991).

Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene del interior del sólido. Este periodo continuará mientras el agua continúe llegando a la superficie con la misma rapidez con que se evapora. La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo, y en ausencia de transferencia de calor por radiación o conducción, la temperatura de la superficie equivale en forma aproximada a la temperatura de bulbo húmedo (GEANKOPLIS, 1986).

**2.4.4 Secado durante el periodo de velocidad decreciente.** El punto C de la FIGURA 4, corresponde al contenido crítico de humedad libre ( $X_c$ ). En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no esta totalmente mojada, y la porción mojada comienza a disminuir durante este periodo de velocidad decreciente, hasta que la superficie queda seca en su totalidad en el punto D de la FIGURA 4.

El segundo periodo de velocidad decreciente comienza en el punto D cuando la superficie esta seca en su totalidad. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor para la evaporación se transfiera a través

del sólido hasta la zona de vaporización. El agua vaporizada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire.

En algunos casos no hay una discontinuidad definida en el punto D, y el cambio de condiciones de secado de una superficie con humedad parcial a una superficie completamente seca, es tan gradual que no se detecta un punto de inflexión.

Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea bastante pequeña, no obstante, el tiempo requerido puede ser bastante largo (GEANKOPLIS, 1986).

## **2.5 Cambios en la microestructura del fruto debido a la deshidratación osmótica y secado.**

No existe en la literatura una gran variedad de trabajos específicos relacionados a el estudio microscópico de la deshidratación osmótica y secado de frutas. Sin embargo, BARAT *et al.* 1998, estudió el efecto que la deshidratación osmótica tenía sobre la microestructura de la manzana, obteniendo resultados que dicen relación a la relajación y deformación relativa de las células del tejido interno del vegetal.

SALVATORI *et al.* 1998a, señala y muestra gráficamente el daño y cambios celulares que se manifiestan en la manzana tratada osmóticamente a distintos niveles bajo la superficie externa del fruto.

MUNTADA *et al.* 1998 demostró a través de la observación microscópica de Kiwi pretratado osmóticamente, que se produce una degradación de la pared celular, disminuyendo el contacto intercelular al interior del fruto.

ROSELL y LLUCH, 1994 señala que las modificaciones estructurales más importantes que se observan entre la manzana fresca y la deshidratada osmóticamente son: el colapsamiento de las paredes celulares y los apoplastos más elípticos y alargados. Además, este mismo autor menciona que el tamaño celular aumenta a medida que las células se van alejando del corazón, y que el tamaño de las células cerca de la piel (zona periférica) de la manzana fresca es mayor que el de la deshidratada, hecho que no sucede con la zona más próxima al corazón (zona central) de ambas.



### 3. MATERIAL Y METODO

#### 3.1 Lugar de ensayo

El acondicionamiento de la materia prima y la deshidratación osmótica se realizaron en los laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL) pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia.

El secado del producto fue llevado a cabo en las dependencias de la Unidad experimental Santa Rosa. Universidad Austral de Chile. Valdivia.

#### 3.2 Materiales

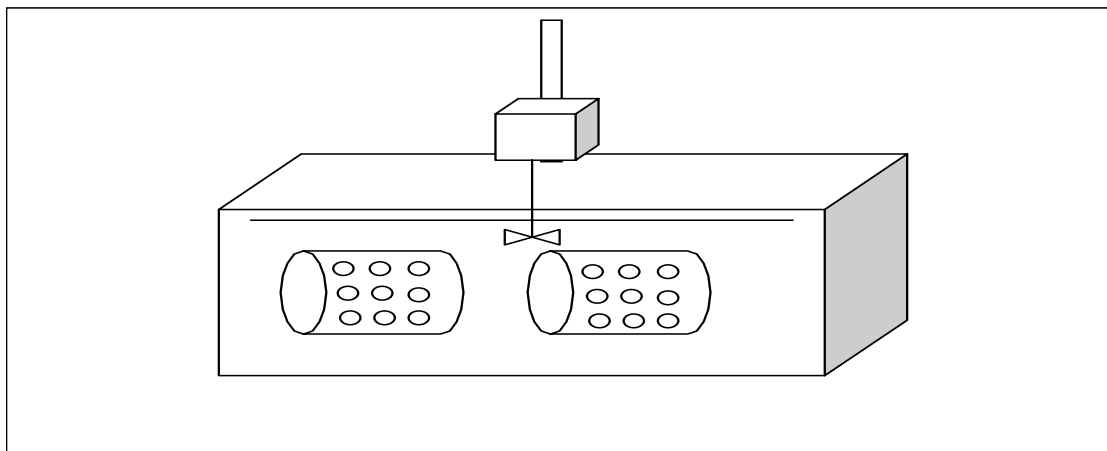
**3.2.1 Materia prima.** La materia prima utilizada para la realización de este estudio fueron arándanos (*Vaccinium corymbosum*) cv. Elliot previamente congelados. Fueron adquiridos al Sr. Cristian Krarup en la localidad de San José de la Mariquina.

**3.2.2 Agente osmótico.** El agente osmótico utilizado fue sacarosa de grado comercial adquirida en el mercado local.

**3.2.3 Equipos y materiales utilizados en la deshidratación osmótica.** Entre los principales equipos utilizados en esta etapa destacan:

- Balanzas con precisión de 0,1 g
- Refractómetro digital
- Baño termoregulado (Cap. 20 l)
- Agitador eléctrico
- Malla plástica fija (PVC)
- Pedestal metálico
- Papel absorbente
- Agua destilada

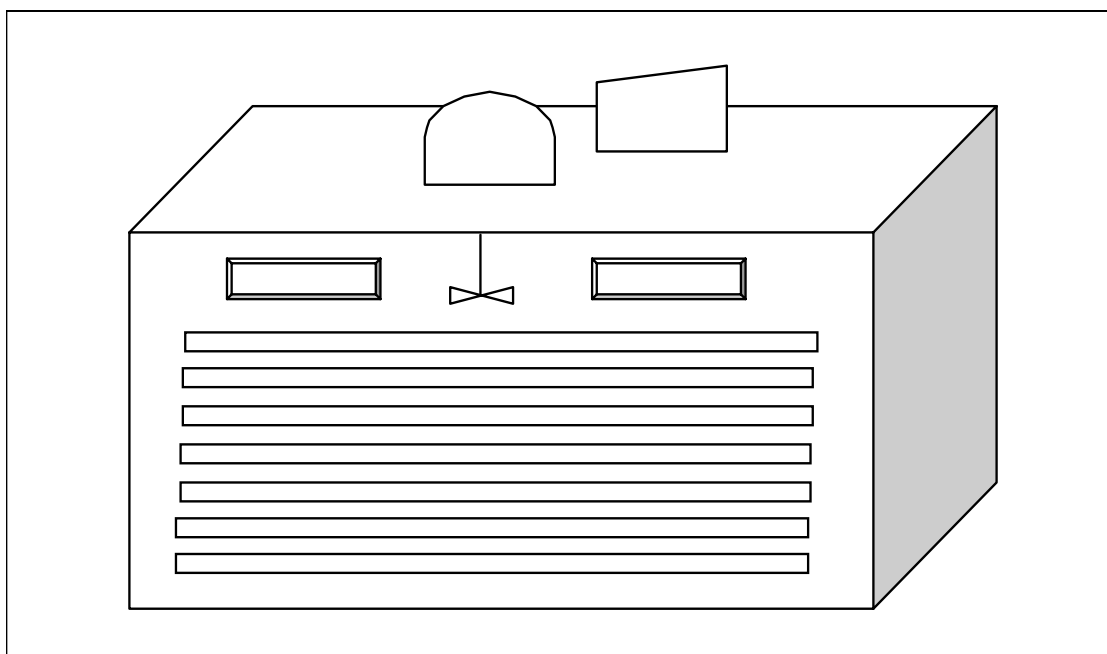
La forma en que fueron utilizados estos materiales se describe en la FIGURA 5.



**FIGURA 5. Esquema del equipamiento para la deshidratación osmótica.**

**3.2.4 Equipos y materiales utilizados en la etapa de secado.** Entre los principales equipos utilizados en esta etapa destacan:

- Balanzas con precisión de 0,1 g
- Mallas plásticas (15 x 15 cm) con marco metálico
- Secador de bandejas (FIGURA 6)



**FIGURA 6. Secador de bandejas.**

### 3.3 Método

De acuerdo a experiencias anteriores consultadas en la bibliografía y a recomendaciones de diversos autores, se determinaron los niveles para cada uno de los factores que intervinieron en la deshidratación osmótica.

**3.3.1 Diseño experimental para la deshidratación osmótica.** El diseño experimental corresponde a un diseño en bloques  $3^2$  completamente aleatorizado. El número de repeticiones utilizado fue de 2; por lo cual se realizaron 27 ensayos en total. El detalle de cada tratamiento se muestra en el CUADRO 4 con los valores reales y en el CUADRO 5 con los valores nominales.

**CUADRO 4. Diseño experimental para la deshidratación osmótica.**

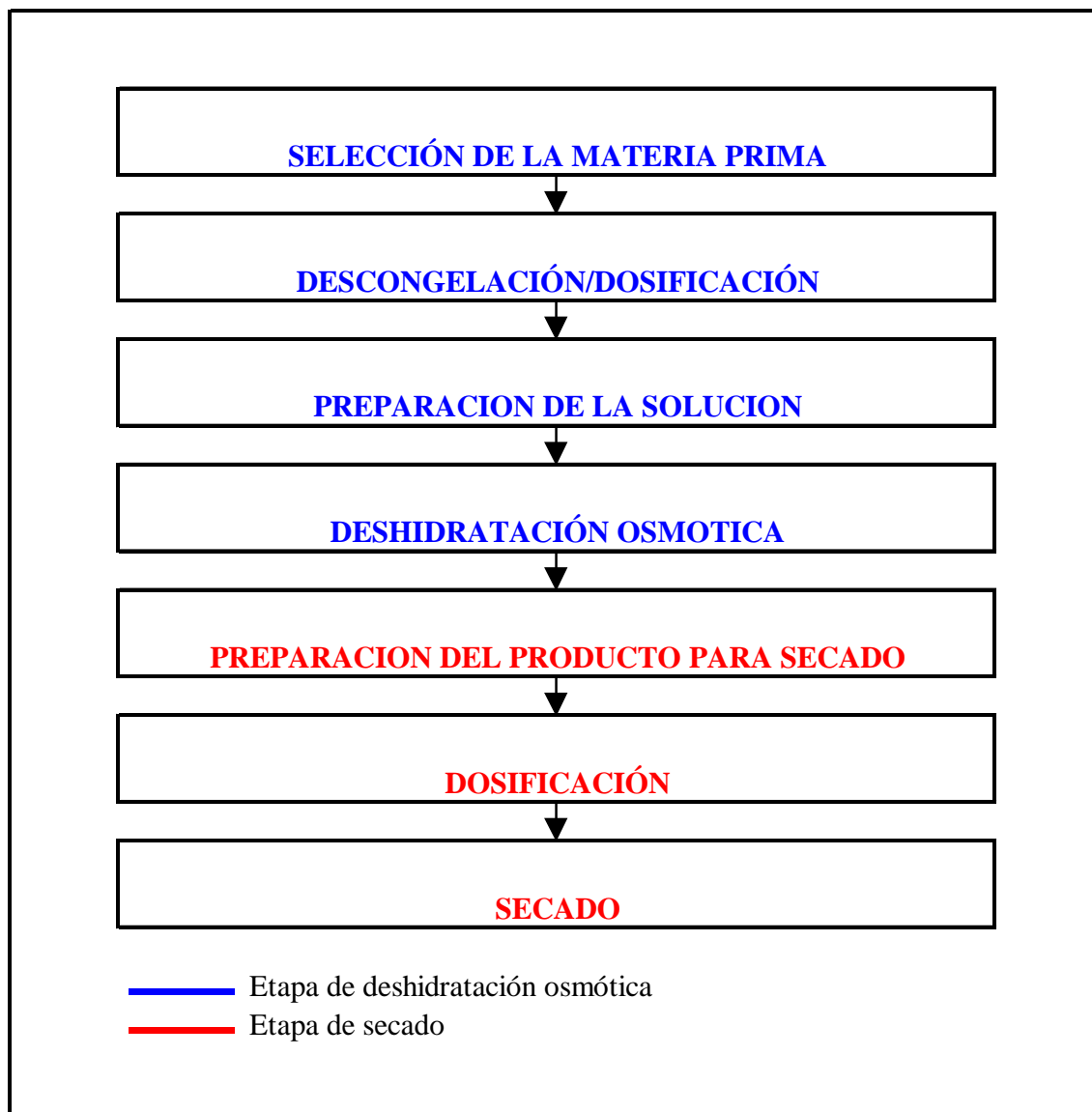
Tratamiento	Temperatura de la solución (°C)	Concentración de la solución (°Brix)
1	40	55
2	40	60
3	40	65
4	50	55
5	50	60
6	50	65
7	55	55
8	55	60
9	55	65

**CUADRO 5. Diseño experimental nominal para la deshidratación osmótica.**

Tratamiento	Temperatura de la solución (°C)	Concentración de la solución (°Brix)
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1

**3.3.2 Procedimiento.** El procedimiento aplicado al proceso cuenta con las siguientes etapas (FIGURA 7).

- i. Selección de la materia prima: los arándanos fueron clasificados según su tamaño con lo que se llegó a un diámetro equivalente promedio de 13,6 mm (medido por desplazamiento de líquido).
- ii. Descongelación/dosificación: Aquí se procede a la descongelación de los arándanos (12 h, T° ambiente) y el lavado superficial con agua destilada, de manera de eliminar el hielo superficial. Luego, se dosifica en 125 g en cada contenedor de malla para realizar el proceso de deshidratación osmótica.
- iii. Preparación de la solución: se prepara una solución de sacarosa según indique el ensayo del experimento (CUADRO 4). La cantidad de solución es de 17 Kg la cual debe llegar a la temperatura del ensayo en el baño termoregulado. Antes de comenzar el experimento, se verifica la concentración de la solución (°Brix) y de ser necesario se corrige hasta llegar al valor nominal exigido.
- iv. Deshidratación osmótica: se da comienzo al proceso en el cual se van tomando muestras a los: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 y 300 minutos. Con estas muestras se determina humedad y °Brix en la fruta.
- v. Preparación del producto para secado: El producto deshidratado osmóticamente por 5 horas, es lavado con agua destilada para eliminar la capa superficial de azúcar y luego se guarda por 12 h a 5 °C.
- vi. Dosificado: los arándanos son dosificados entre 90-100 en mallas plásticas para su posterior secado con aire caliente.
- vii. Secado: se realiza el proceso de secado por un tiempo estándar de 10 horas en un secador de bandejas a 55 °C bulbo seco, 40 °C bulbo húmedo, aire con 50 % de recirculación y una velocidad de 7 (m/s). Se toman muestras para verificar pérdida de peso y se devuelve a proceso. Los tiempos de muestreo son: 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,25; 1,50; 1,75; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,7; 8,0; 9,0; 10,0 horas.



**FIGURA 7. Diagrama de flujo del experimento**

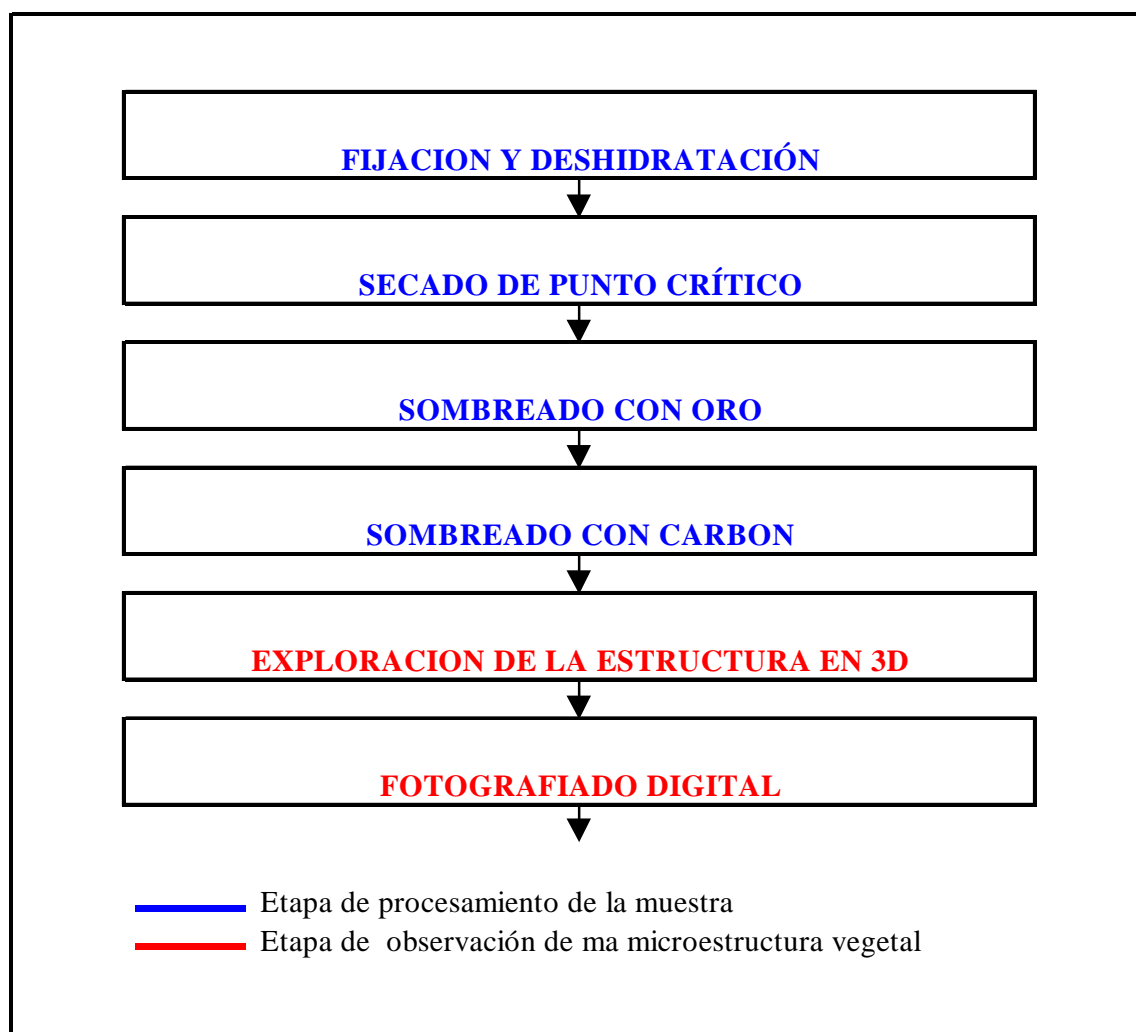
**3.3.3 Mediciones experimentales.** Las mediciones realizadas son las siguientes:

**3.3.3.1 Determinación de humedad.** Se realizó para distintos tiempos en la fruta tratada osmóticamente y también para la etapa de secado. El método usado fue el 20.013 de la AOAC (1995), especial para frutas ricas en azúcares.

**3.3.3.2 Determinación de sólidos solubles.** Esta medición se realizó mediante el refractómetro digital.

**3.3.3.3 Determinación de la actividad de agua (Aw).** Se realizó para los tiempos 0 y 10 horas en la etapa de secado. Se realizó por medio del equipo analizador de Aw Lufft 5803.

**3.3.3.4 Análisis de microscopía electrónica.** Se realizó en la Unidad de microscopía electrónica de Universidad Austral de Chile. Se observaron muestras de materia prima congelada, después del proceso osmótico y al final del secado. Lo anterior se llevó a cabo a través de la microscopía electrónica de barrido (SEM) en el equipo Leo 420. El procedimiento para esta análisis se observa en la FIGURA 8.



**FIGURA 8. Procedimiento de observación y exploración microscópica.**

**3.3.4 Análisis de datos.** Los datos fueron analizados mediante el apoyo de los software: MS Excel 2000, y Statgraphics plus 5.0. Los análisis realizados fueron:

- Análisis de varianza multifactorial.
- Comparación múltiple de promedios.
- Análisis de regresión simple y múltiple.
- Optimización mediante estimación de superficie de respuesta.

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.1 Deshidratación osmótica.

En esta etapa del proceso se determinaron la pérdida de humedad en el fruto y la ganancia de sólidos solubles en el fruto a través del tiempo en los distintos tratamientos efectuados según indica el diseño experimental (CUADRO 4).

**4.1.2 Variación de humedad y sólidos solubles en la deshidratación osmótica.** En las FIGURA 9,10 y 11, se observa el comportamiento de la humedad y los sólidos solubles en la fruta a través del tiempo para los promedios de cada repetición separados por temperatura del medio osmótico. En los diagramas de estas figuras, se observa un comportamiento zigzageante en la primera hora de proceso lo que concuerda con los estudios realizados en arándanos por RAMASWAMY y NSONZI (1998).

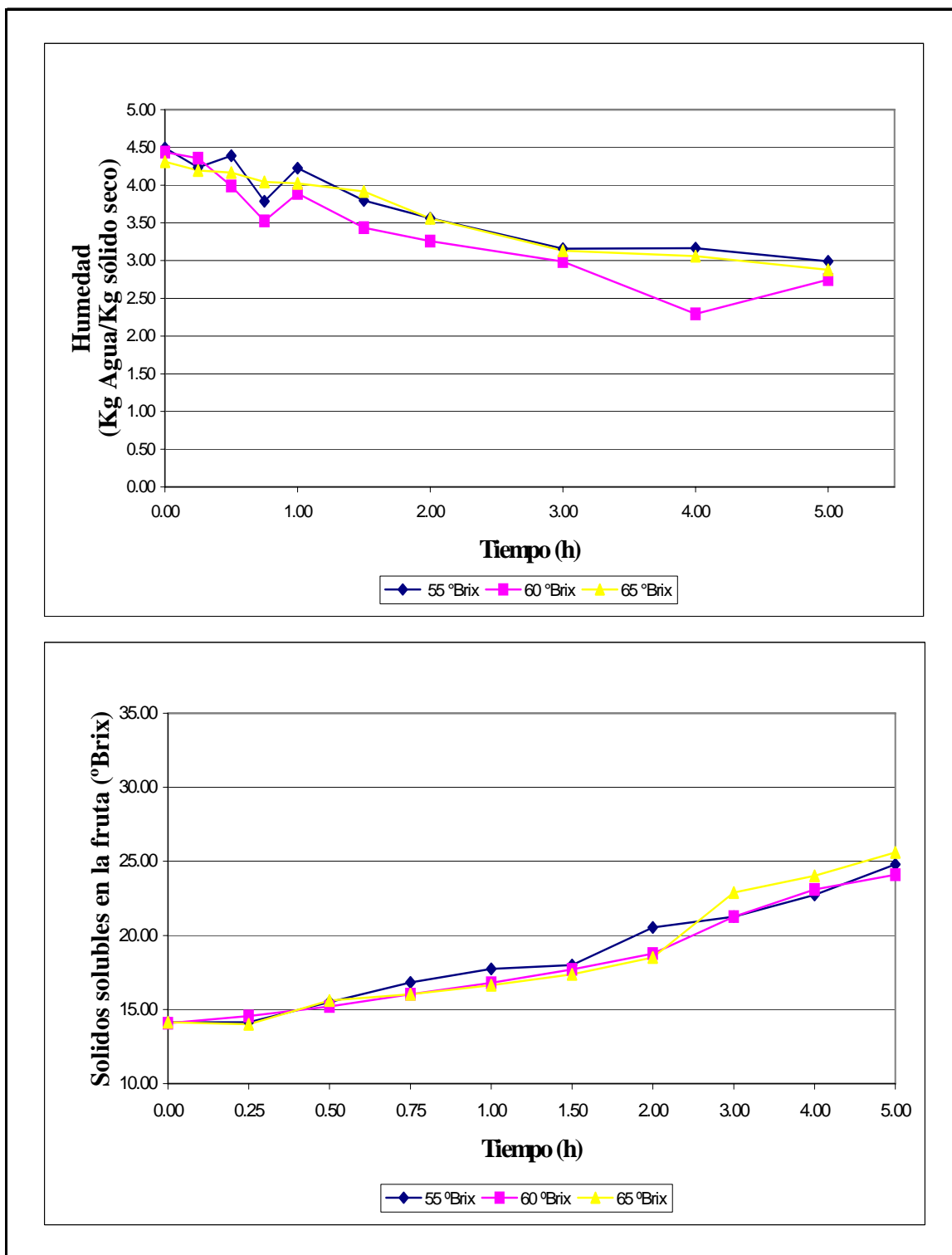
En la FIGURA 9, se observa que para una temperatura del medio de 40 °C la humedad final y la ganancia de sólidos solubles en la fruta tiene un comportamiento similar para las tres concentraciones del medio osmótico utilizadas.

En la FIGURA 10 y 11, se observan mayores ganancias de sólidos solubles en la fruta por efecto de la temperatura. Esto concuerda con los resultados informados por BARAT et al. 1998 en manzanas.

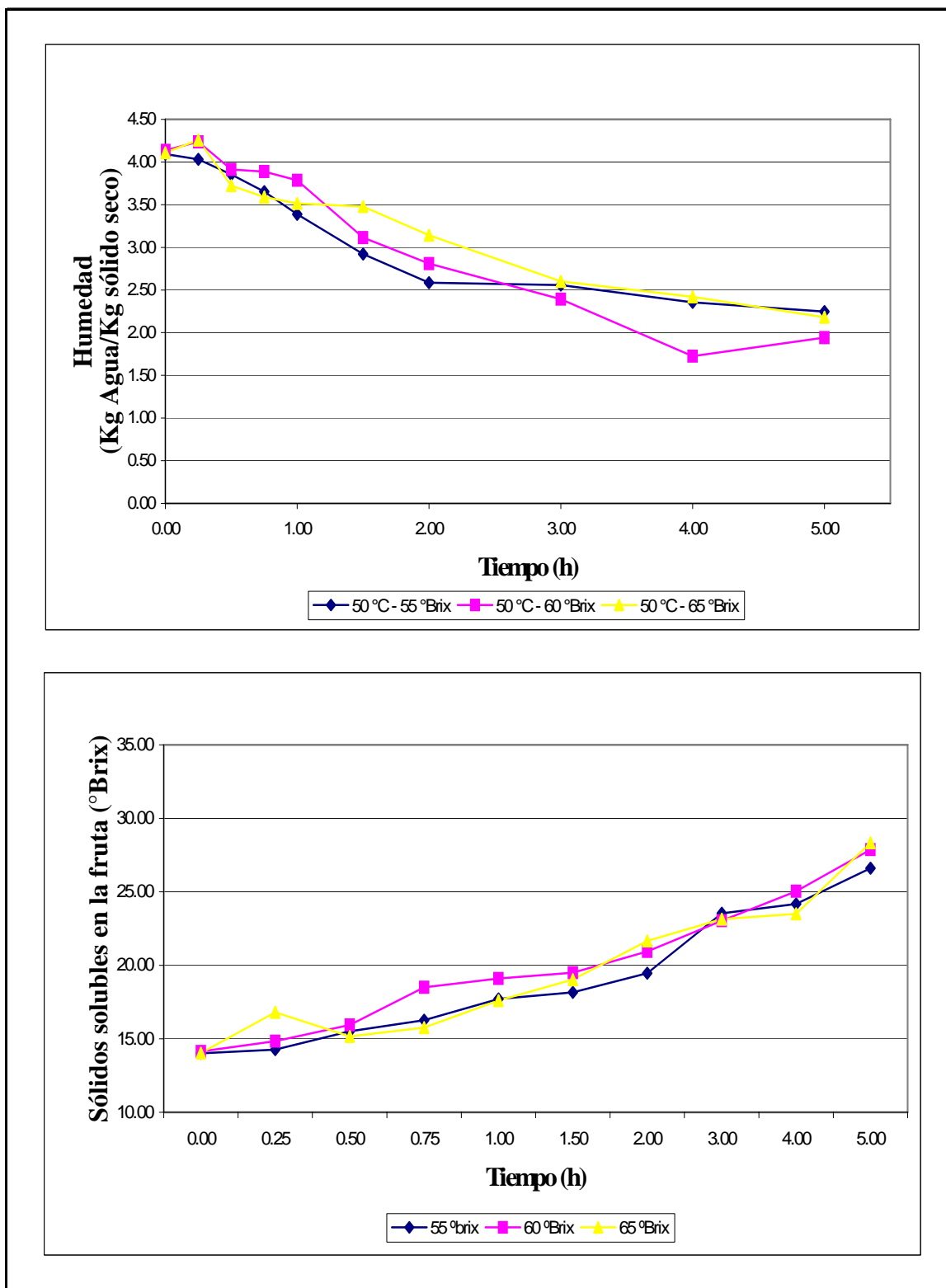
Respecto de la pérdida de humedad, esta se hace mayor cuando aumenta la temperatura pero no se ve que la concentración de la solución osmótica ejerza un efecto mayor que permita establecer diferencias al final del experimento.

Según muestra la gráfica de los experimentos en las FIGURAS 9, 10 y 11 en la ganancia de sólidos solubles existe un comportamiento inicial menos zigzagueante que para la pérdida de humedad; hecho que puede deberse a la migración superficial inicial de agua en la fruta, estructura cavernosa propia del vegetal y tiempo en que el experimento alcanza las condiciones de estabilidad. Este hecho también fue informado por FITO et al. 1998 y por MUNTADA et al 1998 en el procesamiento de Kiwi.

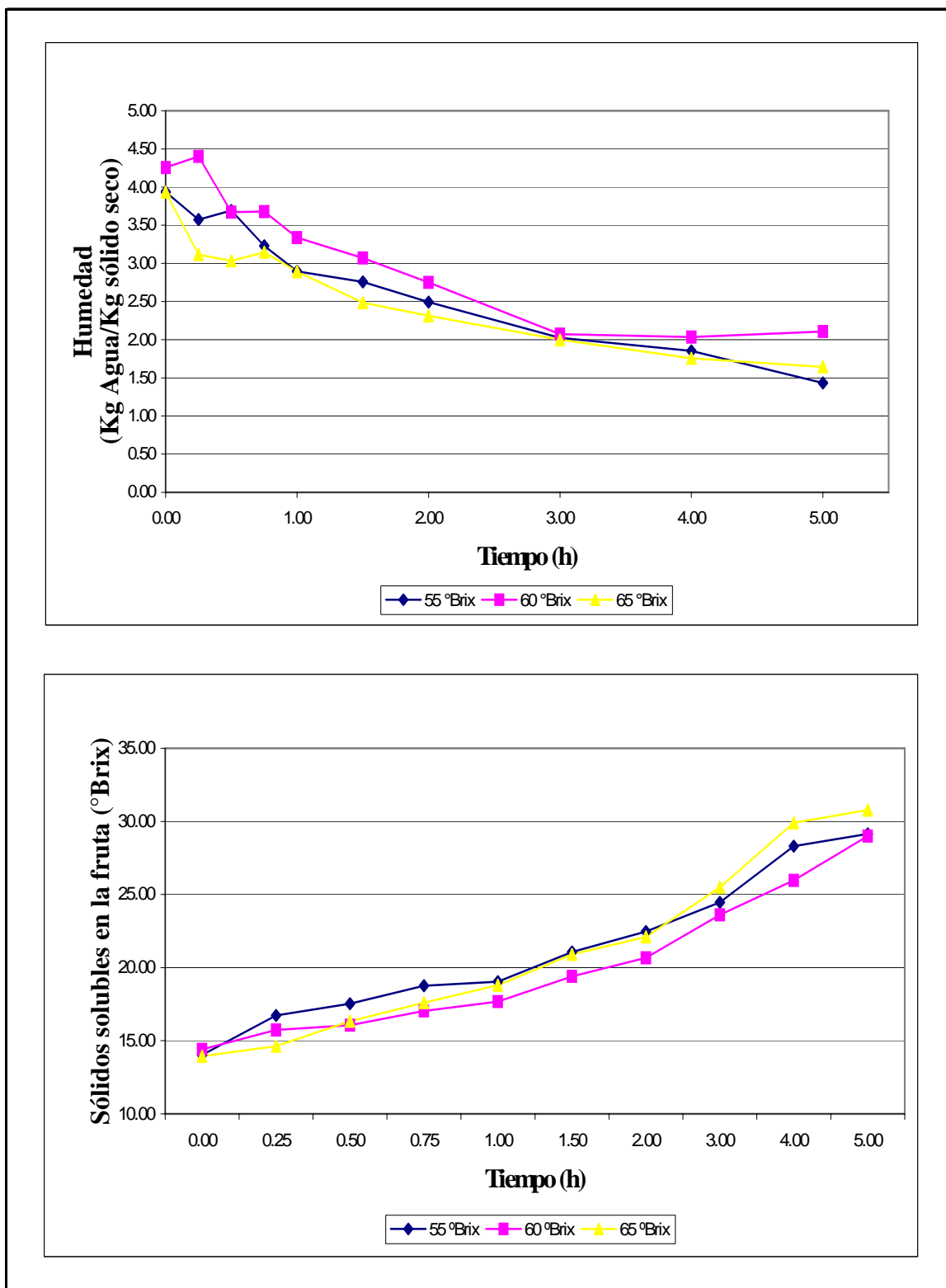




**FIGURA 9. Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una temperatura del medio osmótico de 40 °C.**



**FIGURA 10. Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una temperatura del medio osmótico de 50 °C.**



**FIGURA 11. Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una temperatura del medio osmótico de 55 °C.**

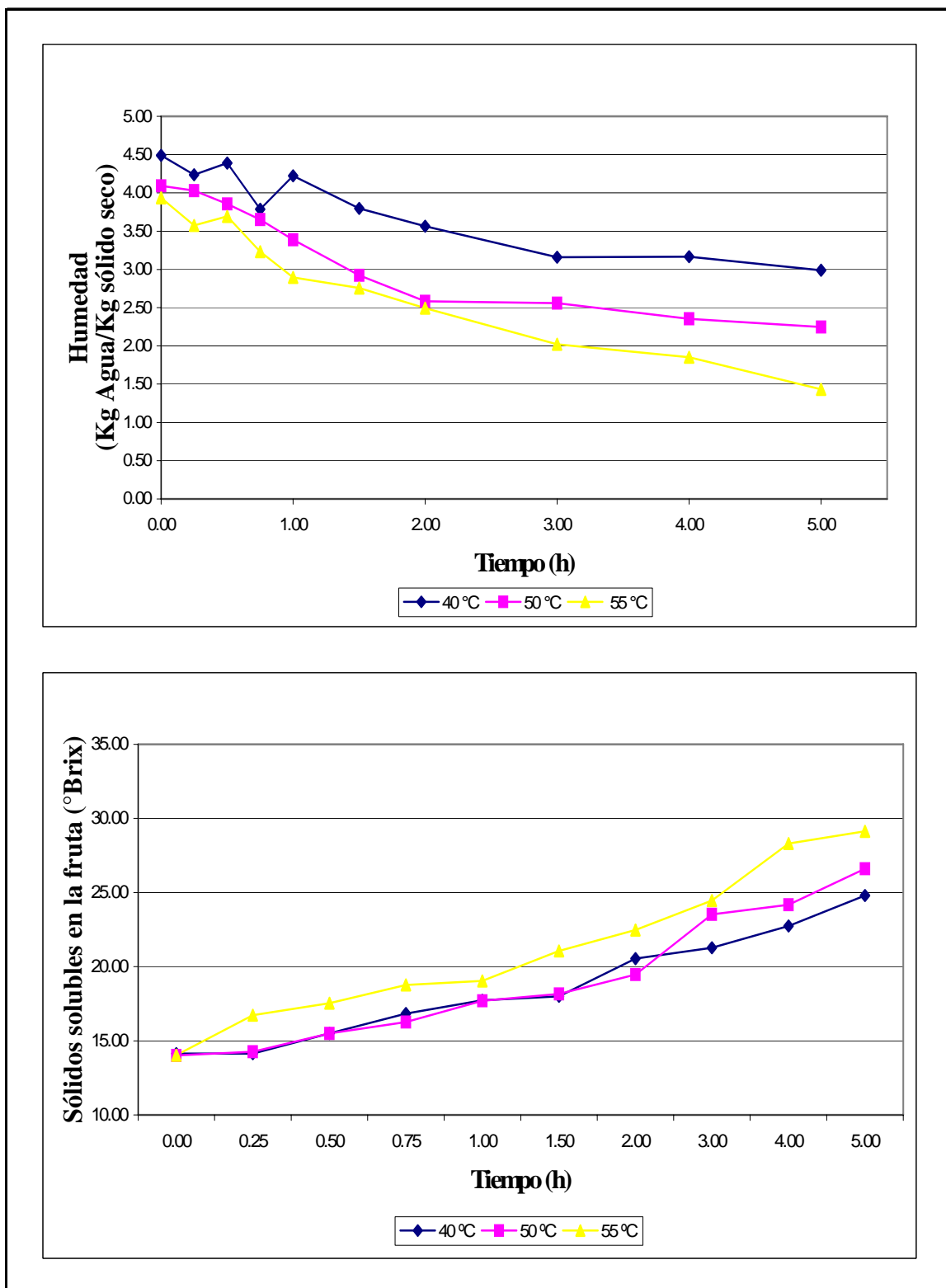
En las FIGURAS 12, 13 y 14, se observan las gráficas de pérdida de humedad y ganancias de sólidos separados por concentración de la solución osmótica. En este caso se observa para las 3 concentraciones diferencias marcadas según la temperatura de la solución.

En la FIGURA 12, se observan diferencias marcadas en el contenido final de humedad lográndose una relación directa entre la temperatura y la tasa de deshidratación. Para la ganancia de sólidos, si bien existen diferencias marcadas, la tasa de diferenciación entre tratamiento es menor que la observada en la pérdida de humedad. En la FIGURA 13, para los tratamientos realizados a una concentración del medio osmótico de 60 °Brix no se observan diferencias tan marcadas como las vistas en los tratamientos efectuados a 55 °Brix (FIGURA 12). En la pérdida de humedad se observa que no existe una relación directa respecto de la temperatura, hecho que si se manifiesta en la ganancia de sólidos solubles en la fruta. En la FIGURA 14, para los tratamientos realizados a una concentración del medio osmótico de 65 °Brix se observan diferencias marcadas tanto para la pérdida de humedad como para la ganancia de sólidos solubles. Se observa además que existe una relación directa en ambos casos respecto de la severidad del tratamiento aplicado a la fruta.

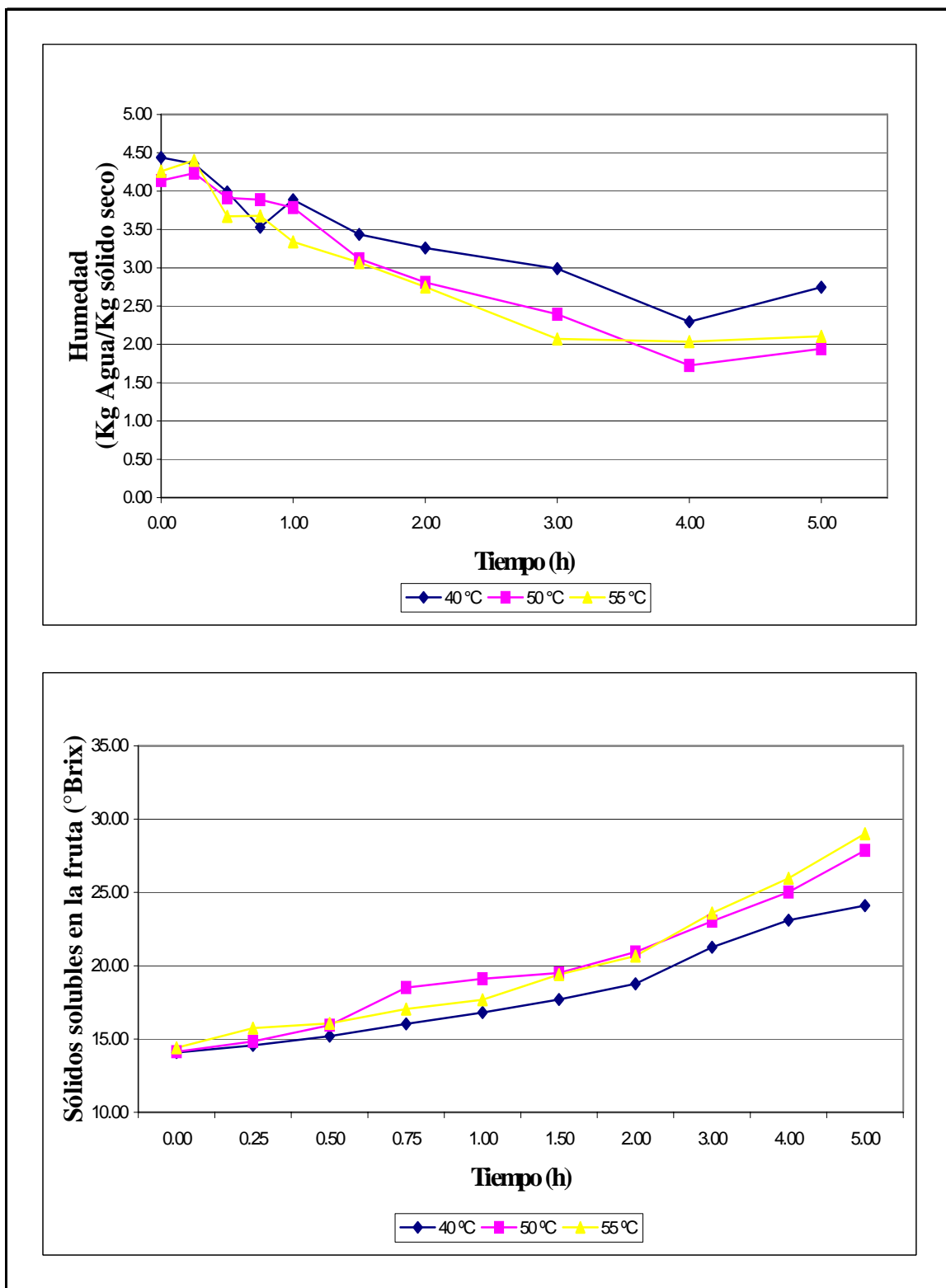
El comportamiento observado FIGURAS 12, 13 y 14 coincide plenamente con los experimentos realizados por ROSELL y LLUCH, 1994 en manzanas el cual indica que el contenido de sacarosa aumenta con la temperatura y el tiempo de deshidratación. Además, este autor también hace referencia al comportamiento zigzageante de la ganancia de sólidos solubles y la rápida velocidad de la salida de agua desde la fruta hacia la superficie.

Los resultados que se observan en la FIGURA 14, coinciden con lo señalado por LAZARIDES *et al.* 1999, respecto del tipo de gráfica que se debería encontrar para frutas en las diferentes etapas del proceso de deshidratación osmótica.

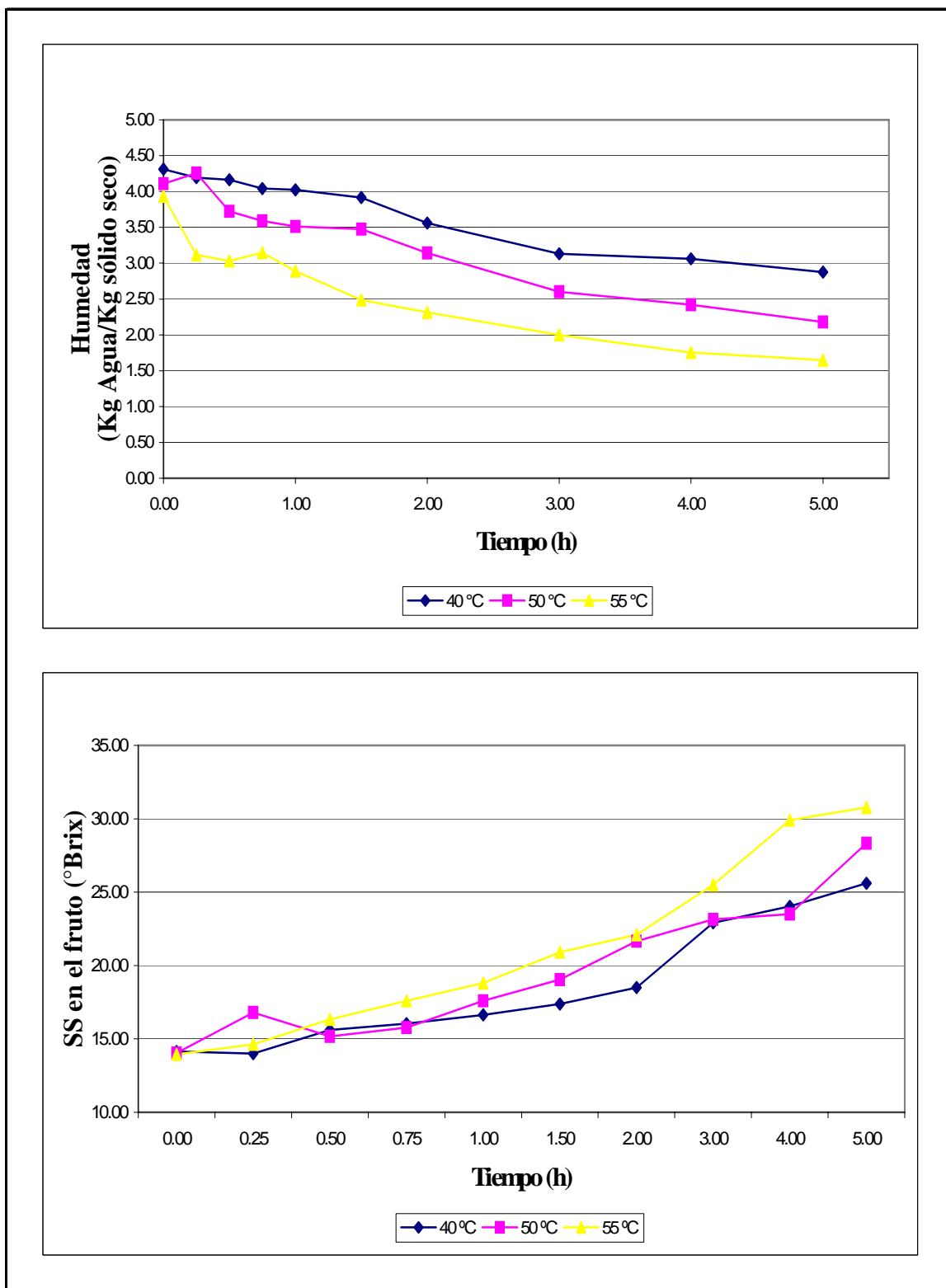
El comportamiento no directo encontrado en la variación de humedad para 60 °Brix (FIGURA 13) puede deberse a las condiciones experimentales o variabilidad de la materia prima. FITO *et al.* 1998 señala que tales resultados se pueden dar cuando la variabilidad de la materia prima (fruta) es marcada.



**FIGURA 12.** Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una concentración del medio osmótico de 55 °Brix.



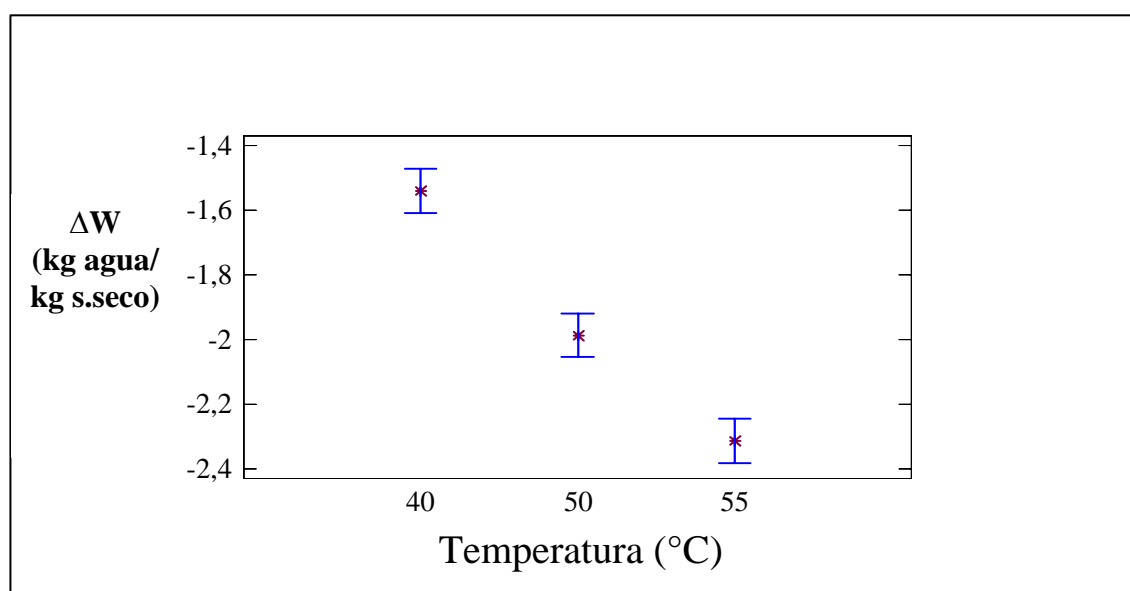
**FIGURA 13. Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una concentración del medio osmótico de 60 °Brix.**



**FIGURA 14. Variación en el contenido de humedad y sólidos solubles en el fruto a una concentración del medio osmótico de 65 °Brix.**

**4.1.2.1 Análisis de varianza para pérdida de humedad en la deshidratación osmótica.** Este análisis va a determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en relación a su capacidad para disminuir la cantidad de agua en el fruto. Para esto se utilizó la variable diferencia de humedad ( $\Delta W$ ), es decir (Humedad final- Humedad inicial). Por lo tanto, mientras más negativo llegue ser este valor la capacidad de disminuir la humedad inicial será mayor.

Según al análisis de la varianza aplicado, solo el factor temperatura tiene significancia ( $p < 0,05$ ) en orden a reducir el contenido de humedad inicial en el fruto. Por otro lado el factor concentración de la solución no es significativo para la variable de respuesta  $\Delta W$ . En la FIGURA 15, se observa gráficamente los promedio según la temperatura a un nivel de confianza del 95%.



**FIGURA 15. Valores promedios de  $\Delta W$  según  $T^\circ$  del medio osmótico.**

En la FIGURA 15 se observan claramente las diferencias; los tratamientos más efectivos en reducir la humedad inicial de fruto fueron los efectuados a 55 °C con un promedio general de  $-2,31$  (kg agua/kg s. seco).



**4.1.2.2 Optimización de la reducción de humedad en el proceso de deshidratación osmótica.** Mediante la metodología de optimización, se debe determinar cual es el tratamiento ideal para lograr minimizar el valor de la variable  $\Delta W$ . La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de DO en arándanos es la siguiente:

$$\Delta W = -2,05 - 0,386667*T + 0,0316667*C + 0,06*T^2 + 0,035*T*C + 0,095*C^2$$

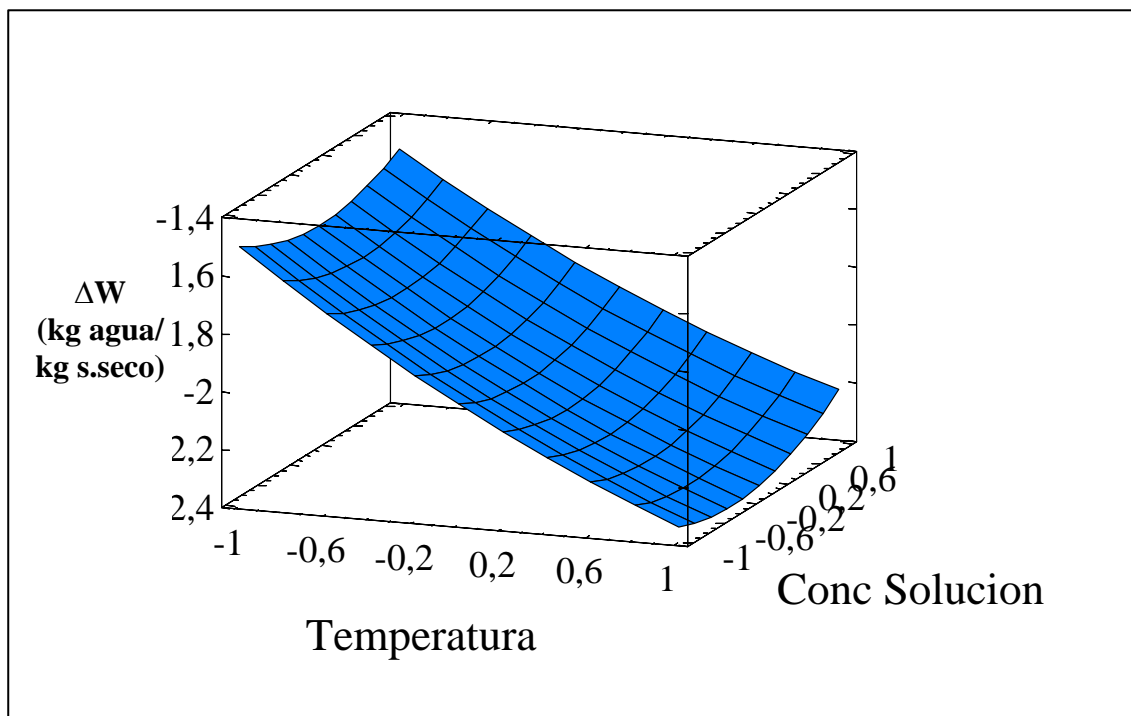
Donde:

T = Temperatura (°C).

C = Concentración de la solución (°Brix).

W= Diferencia de humedad (Humedad final- Humedad inicial); (kg agua/kg s.seco)

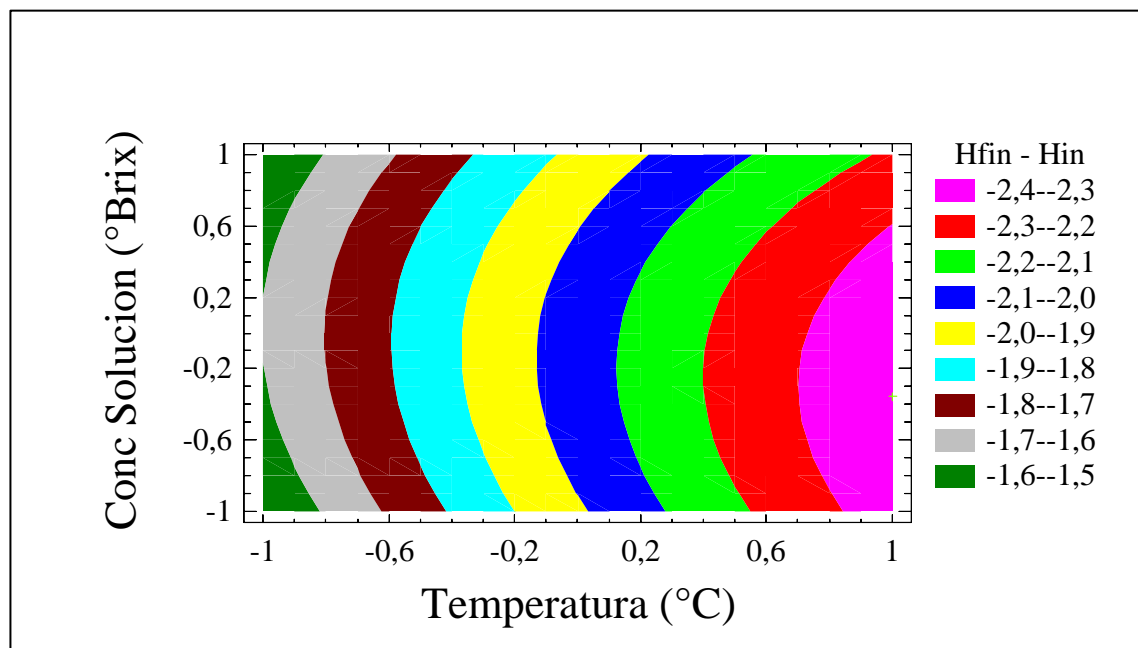
La superficie de respuesta que genera el modelo de regresión anterior, se observa en la FIGURA 16.



**FIGURA 16. Superficie de respuesta estimada para el proceso de deshidratación osmótica, en relación a la disminución de la humedad inicial.**

El punto óptimo de la superficie donde se minimiza  $\Delta W$  es a una temperatura de 55 °C (1) y a una concentración de la solución de 58,25 °Brix (-0,35). En este punto se alcanza un valor óptimo de  $-2.39$  (kg agua/kg s. seco).

Lo anterior se observa más claramente en la FIGURA 17, la cual muestra los contornos de la superficie de respuesta. La región de color rosado, muestra le región en el plano donde se obtuvieron los mayores descensos en la humedad inicial del fruto. Contrariamente a lo anterior, la región verde oscuro muestra la combinación de puntos que generan un tratamiento menos eficaz en la reducción de humedad en el fruto.



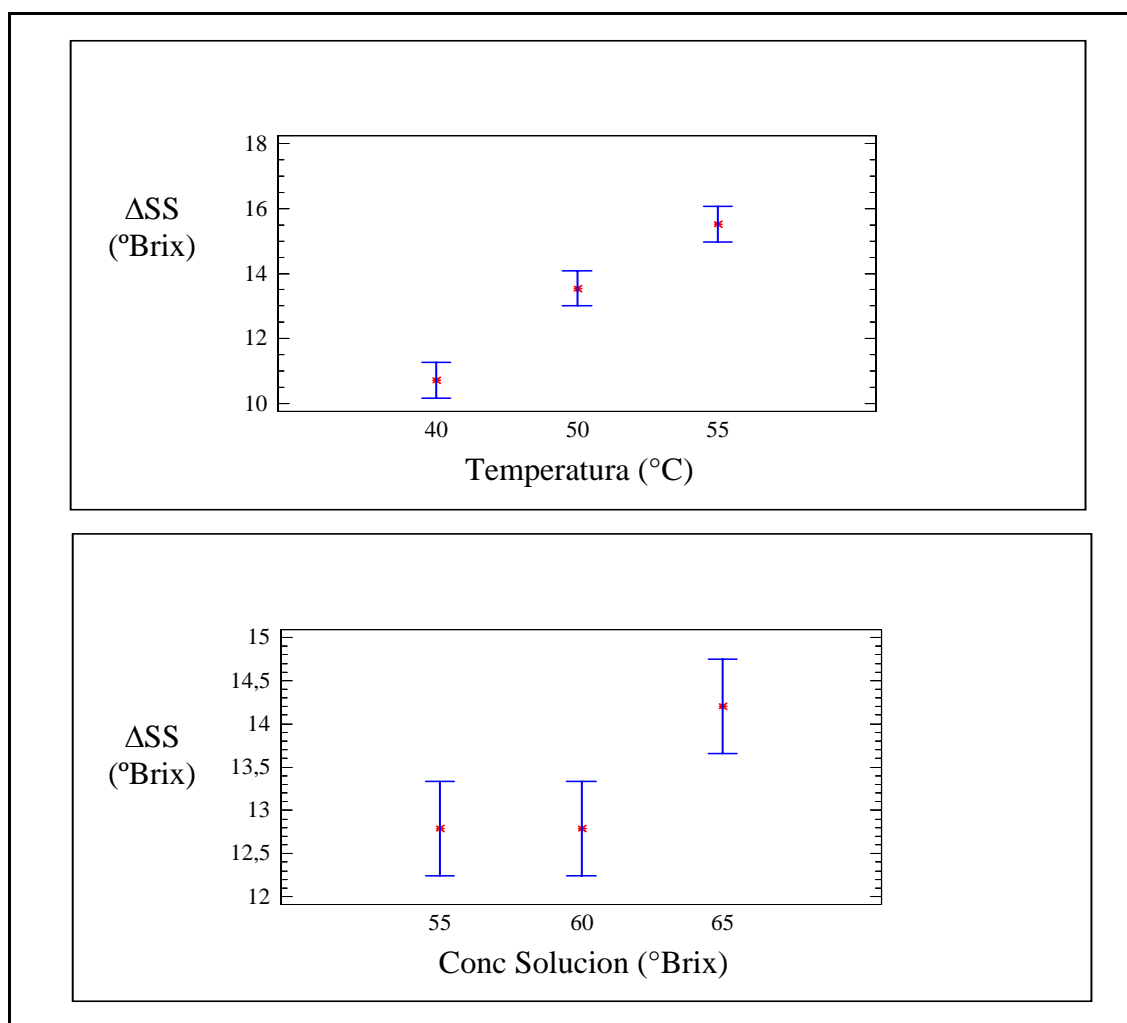
**FIGURA 17. Contornos de la superficie de respuesta para el proceso de deshidratación osmótica.**

Finalmente, el contenido de humedad mínimo óptimo al que se logró llegar en el fruto fue de 1,63 (kg agua/kg s.seco) en un tiempo total de 5 horas de proceso. Este valor es muy cercano al encontrado por RAMASWAMY y NSONZI (1998) para algunos tratamientos aplicados en deshidratación osmótica de arándanos en 5,5 h de proceso a 60 °C y 70 °Brix.

**4.1.2.3 Análisis de varianza para la ganancia de sólidos solubles en la fruta durante la deshidratación osmótica.** Se realizó un análisis de varianza multifactorial para determinar la significancia de los factores: concentración de la solución y temperatura del medio osmótico, sobre la ganancia de sólidos solubles en la fruta. Se utilizó la variable  $\Delta^{\circ}\text{SS}$ , es decir SS final – SS inicial ( $^{\circ}\text{Brix}$ )

Según el análisis realizado, los 2 factores mencionados anteriormente ejercen un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la variable  $\Delta^{\circ}\text{SS}$ .

La comparación de promedios, se observa gráficamente en la FIGURA 18.



**FIGURA 18. Comparación de promedios para  $\Delta^{\circ}\text{SS}$ , según temperatura y concentración de la solución osmótica.**

En la FIGURA 18, se observa el resultado de la comparación de promedios en la cual según la temperatura (40, 50,55 °C) se obtiene una ganancia de sólidos solubles distinta en cada caso. En relación a la significancia del factor “concentración de la solución osmótica”, a 55 y 60 ° Brix, se obtiene una ganancia de SS estadísticamente igual en la fruta y significativamente más baja de la obtenida a 65 °Brix.

**4.1.2.4 Optimización de la ganancia de sólidos solubles en el fruto durante la deshidratación osmótica.** La ecuación cuadrática de regresión múltiple que modela el proceso de ganancia de sólidos solubles en el fruto durante la deshidratación osmótica se muestra a continuación:

$$\Delta SS = 13,0741 + 2,3944 * T + 0,705556 * C - 0,427778 * T^2 + 0,233333 * T * C + 0,7055 * C^2$$

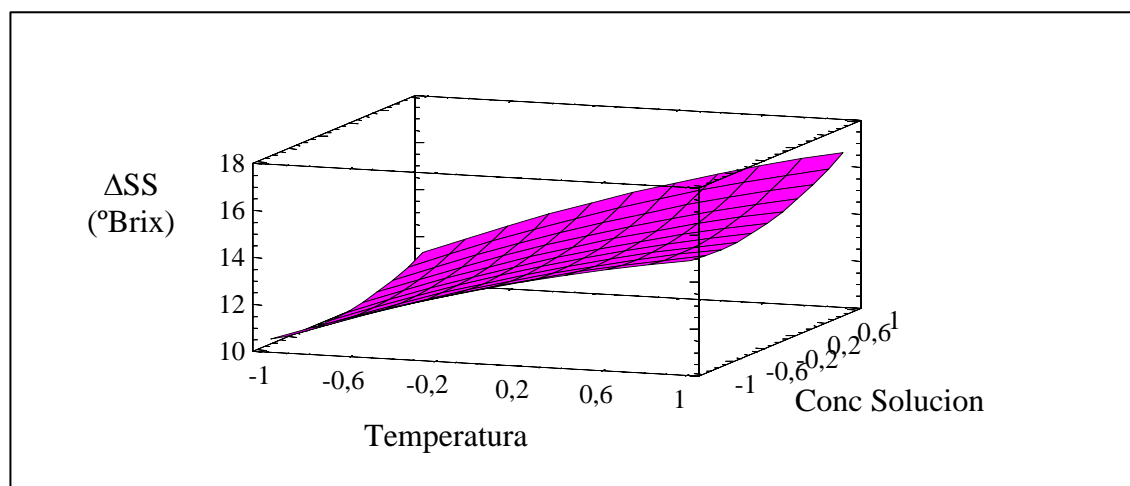
Donde:

T= Temperatura (°C)

C = Concentración de la solución osmótica (°Brix)

$\Delta SS$ = Ganancia de sólidos solubles (°Brix)

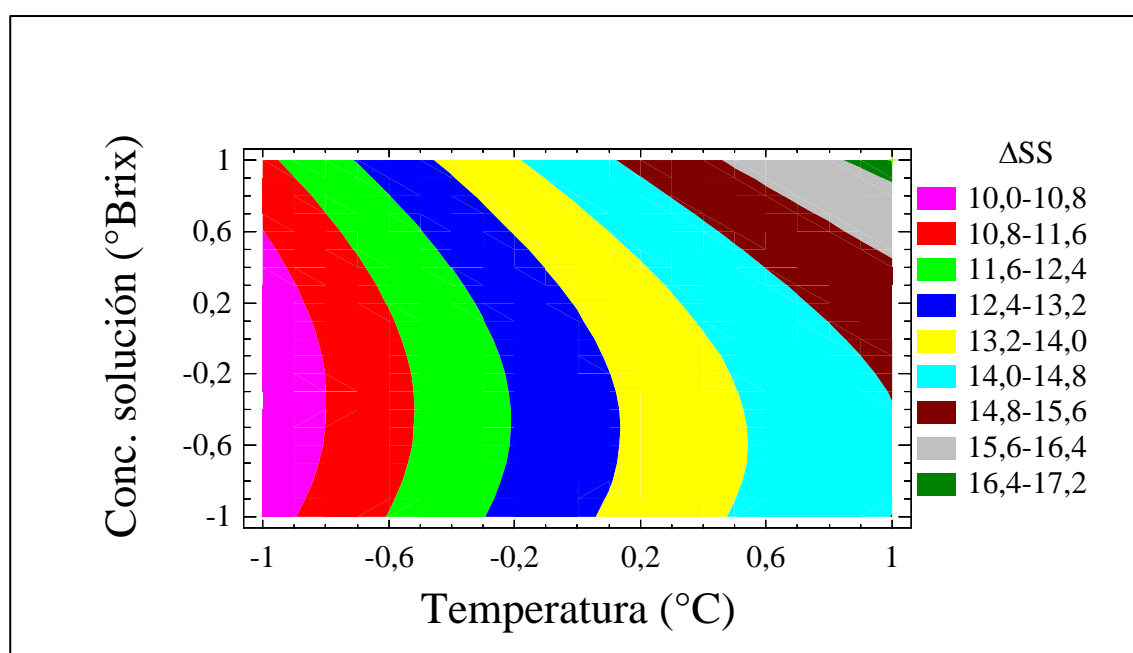
La superficie de respuesta que genera el modelo de regresión múltiple anterior se muestra en la FIGURA 19.



**FIGURA 19. Superficie de respuesta para  $\Delta SS$  durante la deshidratación osmótica.**

El punto óptimo de la superficie donde se maximiza  $\Delta SS$  es a una temperatura de 55 °C (1) y a una concentración de la solución de 65 °Brix (1). En este punto se alcanza un valor óptimo con una ganancia de 16,7 °Brix en el fruto.

Lo anterior se observa más claramente en la FIGURA 20, la cual muestra los contornos de la superficie de respuesta. En esta figura, se observa que la región verde oscuro genera mayores ganancias de sólidos solubles entre 16,4 y 17,2 °Brix y posee una combinación de puntos en el plano muy limitada respecto de las demás. Se observa además, que la región rosada de la figura representa las combinaciones que generan una mayor ineficiencia en la ganancia de sólidos solubles en los arándanos.



**FIGURA 20. Contornos de la superficie de respuesta para el proceso de deshidratación osmótica. Variable de respuesta  $\Delta SS$ .**

Finalmente, el contenido de sólidos solubles máximo óptimo al que se logró llegar en el fruto fue de 31,4 °Brix en un tiempo total de 5 horas de proceso de deshidratación osmótica. Este valor es mucho más alto que el informado por RAMASWAMY y NSONZY (1998) que informa ganancias de sólidos solubles promedios de 15-20 % para la deshidratación osmótica de arándanos.

## 4.2 Secado

En esta etapa del proceso los arándanos pretratados osmóticamente, se sometieron a una etapa de secado por 10 h, en la cual se determinó la variación de humedad para cada tratamiento y la variación en la  $A_w$ .

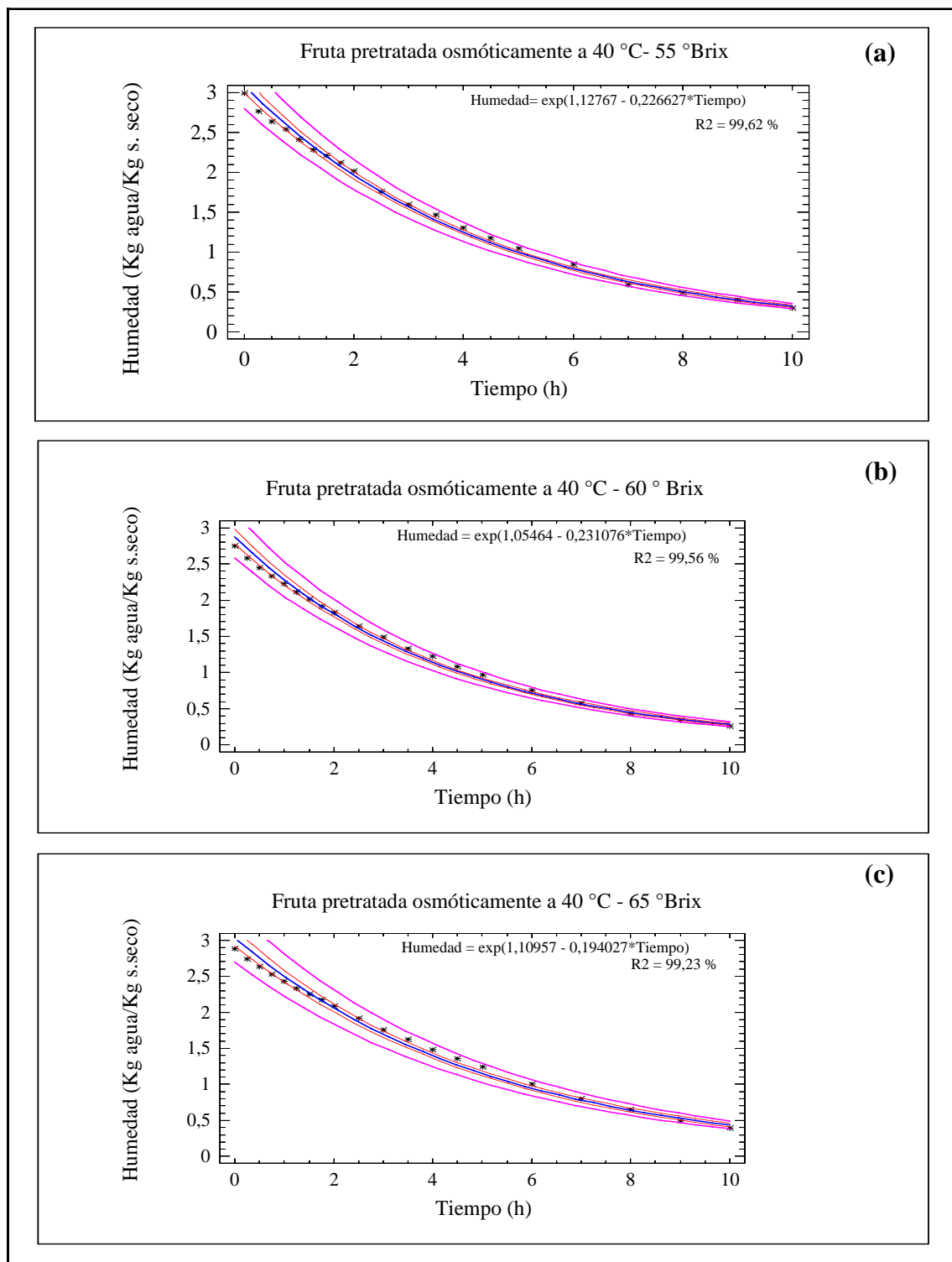
**4.2.1 Curvas de secado.** En las FIGURAS 21, 22 y 23, se muestran todas las curvas de secado para los 9 pretratamientos osmóticos realizados. Todas se ajustaron de mejor manera a un modelo exponencial, al igual como indica ROSELL y LLUCH, 1994. En cada curva se observa además, los límites de confianza y predicción del modelo aplicado.

En la FIGURA 21, se observan las 3 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 40 °C. La tendencia exponencial es clara para los 3 casos y no se observa, gráficamente, diferencias muy marcadas según la concentración del medio osmótico en el pretratamiento.

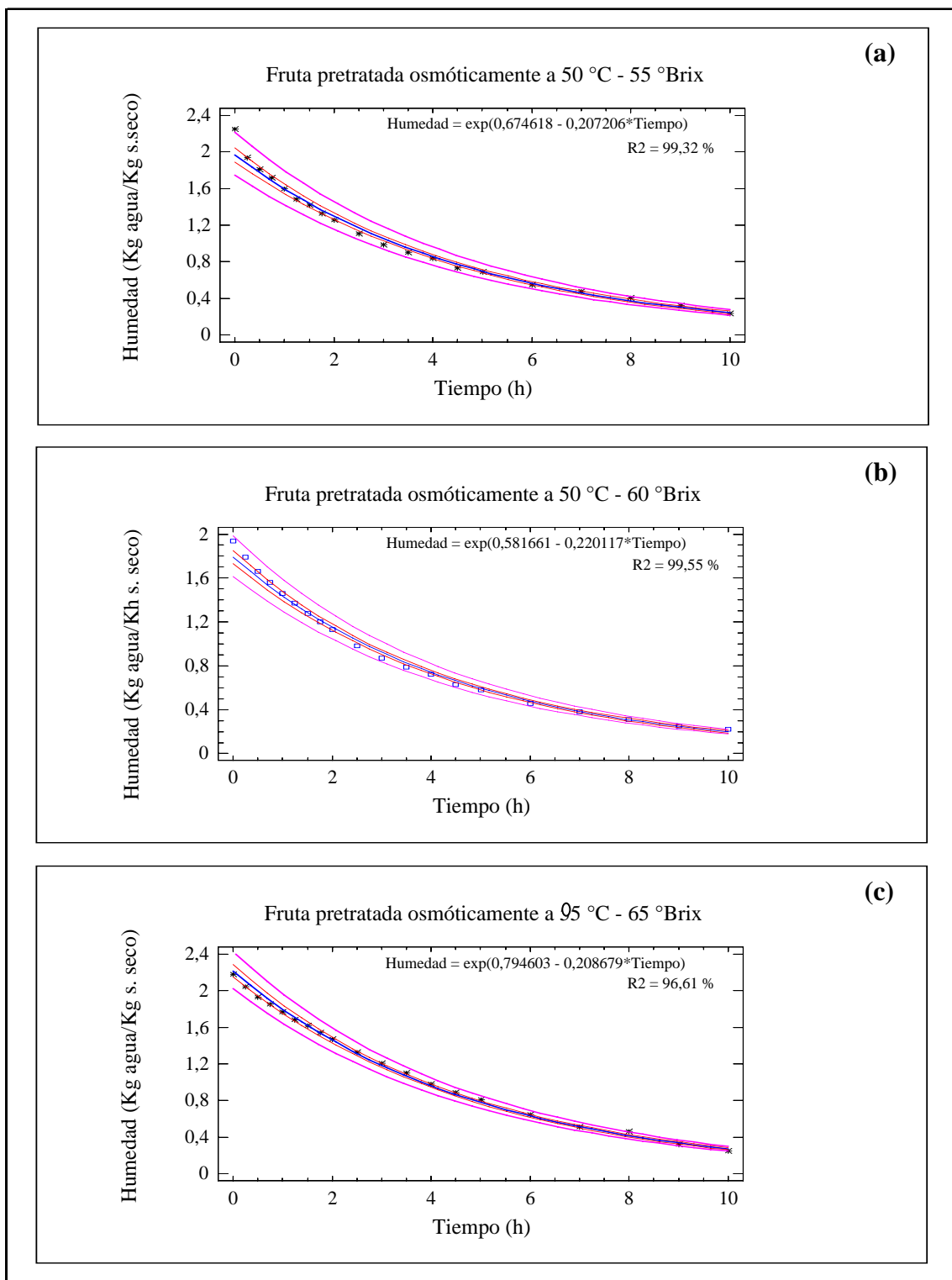
En la FIGURA 22, para los pretratamientos efectuados a 50 °C se observa una deshidratación final mucho mayor que la indicada en la FIGURA 21 (pretratamientos a 40 °C); aquí la deshidratación inicial en la etapa osmótica juega un papel fundamental ya que, entrega la fruta con una cantidad de humedad menor según la severidad de la temperatura aplicada.

En la FIGURA 23, se observa un nivel de humedad final menor que en los casos anteriores, sin embargo, la tasa de pérdida de humedad en el proceso de secado es menor. Además, como en los 2 casos anteriores, no se observan diferencias muy marcadas respecto de la concentración del medio osmótico inicial.

La forma de las curvas de secado encontradas para todos los tratamientos, coincide por lo señalado por varios autores como GEANKOPLIS (1986), MC CABE *et al.* (1993) y FITO *et al.* (1998) para el caso de este tipo de material de secado. Las etapas de secado constante y secado decreciente se ven más claramente en una curva de velocidad de secado, pero dependen específicamente del tipo de material utilizado en los ensayos.

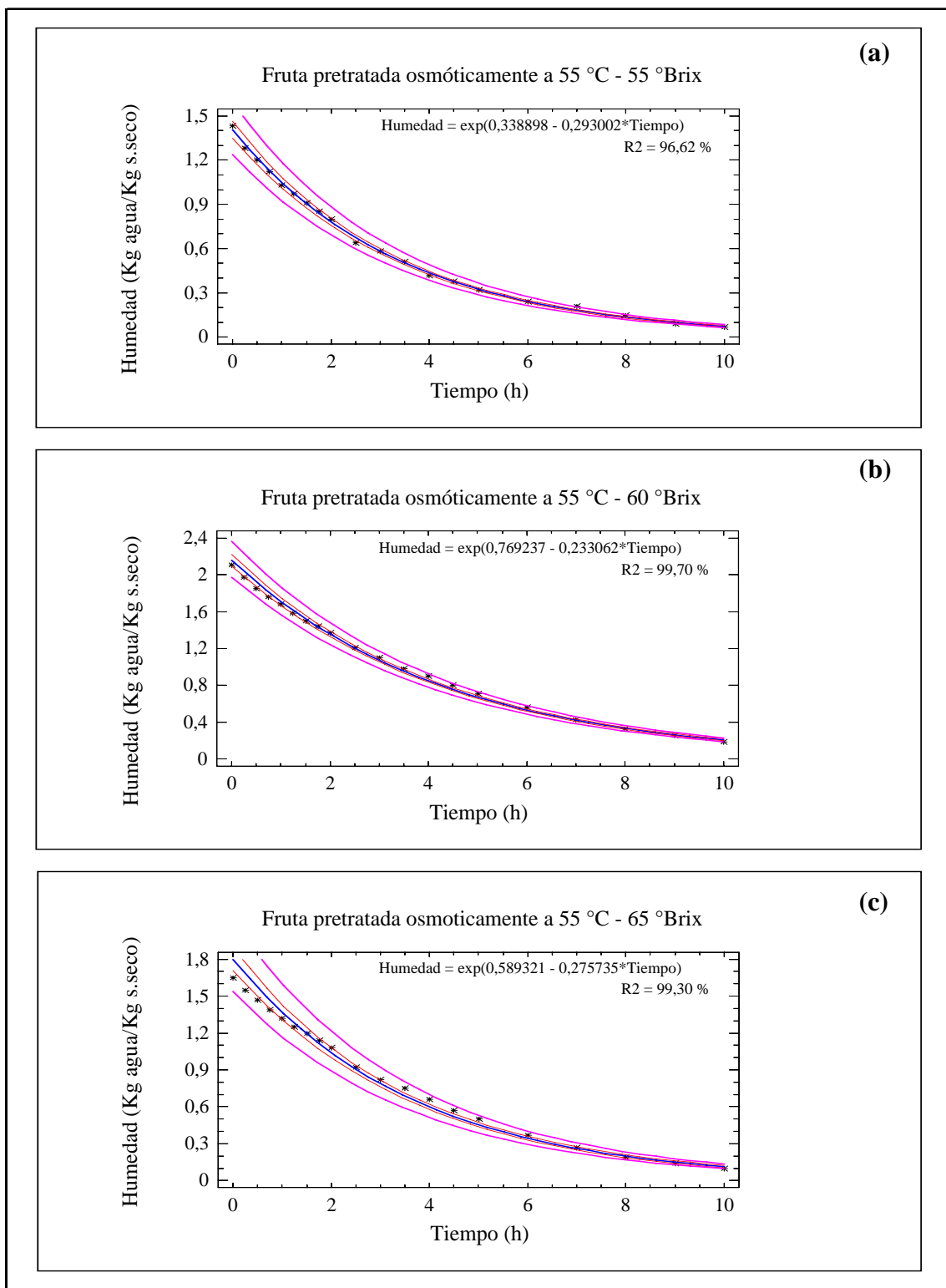


**FIGURA 21.** Curvas de secado para fruta pretratada osmóticamente a 40 °C; 55, 60 y 65 ° Brix en el agente osmótico.



**FIGURA 22. Curva de secado para fruta pretratada osmóticamente a 50 °C; 55, 60 y 65 °Brix en el agente osmótico.**





**FIGURA 23. Curva de secado para fruta pretratada osmóticamente a 55 °C; 50, 60 y 65 °Brix en el agente osmótico.**

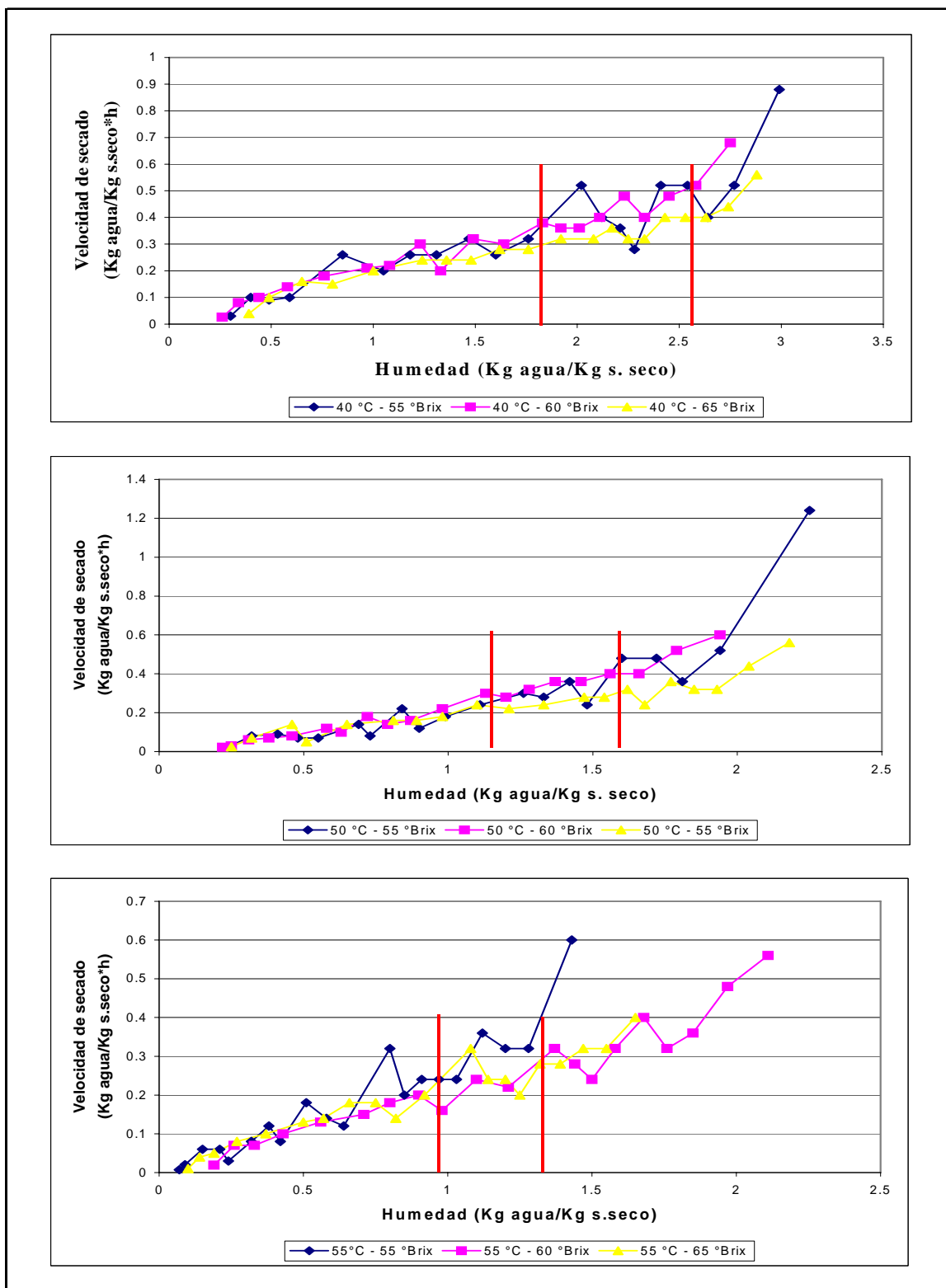
**4.2.2 Curvas de velocidad de secado.** En la FIGURA 24, se observan las 9 curvas para velocidad de secado agrupadas según la temperatura del pretratamiento osmótico. Para todas las curvas, no se observa de forma muy clara la diferenciación entre las etapas velocidad de secado constante y decreciente. Sin embargo, se indica mediante líneas verticales una estimación de lo anterior.

Todas las curvas se aproximan a la forma indicada por GEANKOPLIS (1986) (FIGURA 4). Se ve claramente que al iniciar el proceso (mayor contenido de humedad) la velocidad es muy superior y decae rápidamente para tornarse constante y luego decreciente hasta llegar a la humedad de equilibrio.

En la FIGURA 24, se observa que en los pretratamientos efectuados a 40 °C el agua sale del fruto con mayor velocidad ya que, este se encuentra presente en mayor cantidad y posee una mayor velocidad y menos resistencia para migrar desde el interior del fruto hacia la superficie de este. Este hecho es señalado por ROBBERS *et al.* (1997), como una situación que sucede en la deshidratación de kiwis deshidratados osmóticamente y puede ser extrapolable a otras frutas.

En los pretratamientos osmóticos realizados a 50 y 55 °C, se observa que las tasas de deshidratación son muy próximas entre si según la temperatura y la concentración de la solución osmótica aplicada para estos casos.

Las curvas de velocidad de secado de la FIGURA 24, muestran claramente la disminución de las tasas de deshidratación a medida que disminuye la humedad interna del fruto y avanza el tiempo de tratamiento en la etapa de secado. Estas curvas, pueden permitir estimar la factibilidad económica de continuar un proceso de secado más allá de las 10 h de proceso o combinar de manera adecuada los tiempos de deshidratación osmótica y secado por aire para generar condiciones de proceso a un costo operativo menor.

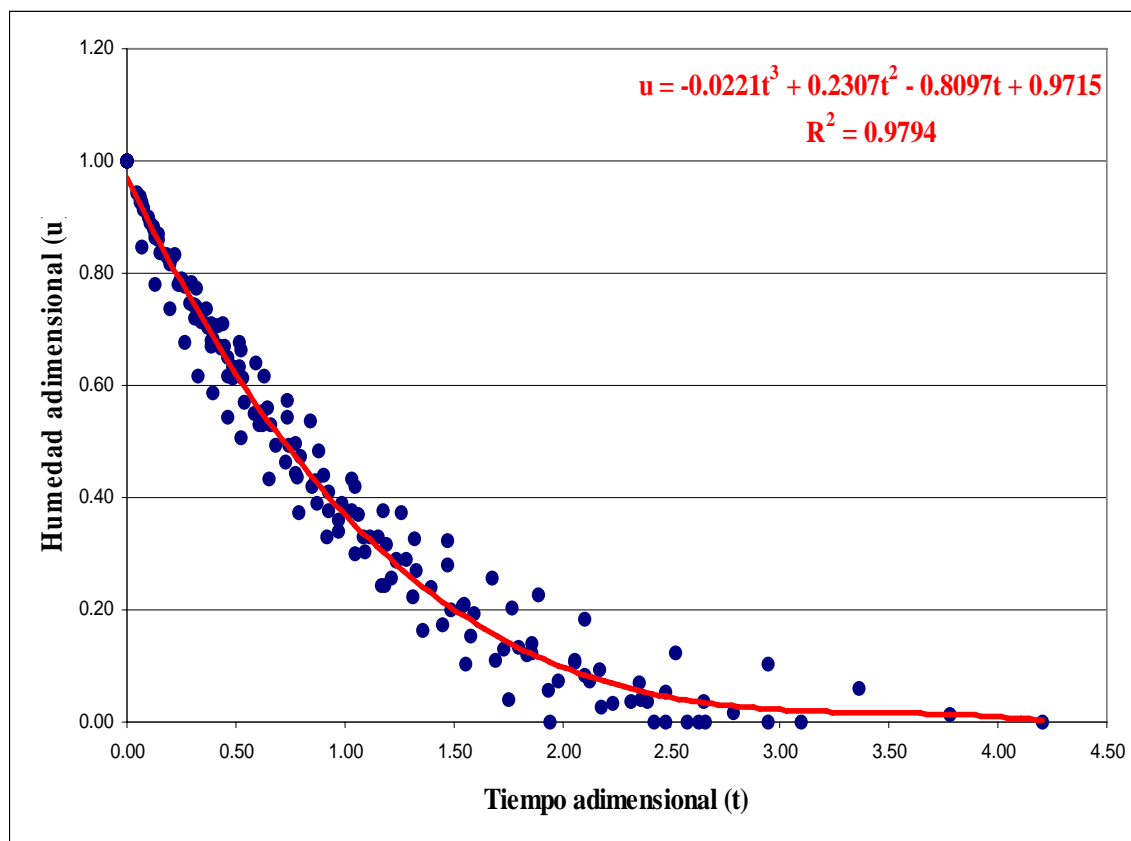


**FIGURA 24. Curvas de velocidad de secado según temperatura y concentración de la solución osmótica.**

**4.2.3 Curva de secado adimensional.** En la FIGURA 25, se observa la gráfica de los 9 tratamientos en forma adimensional. En esta figura, se observa una tendencia clara, que permite la agrupación de todos los datos en un único modelo.

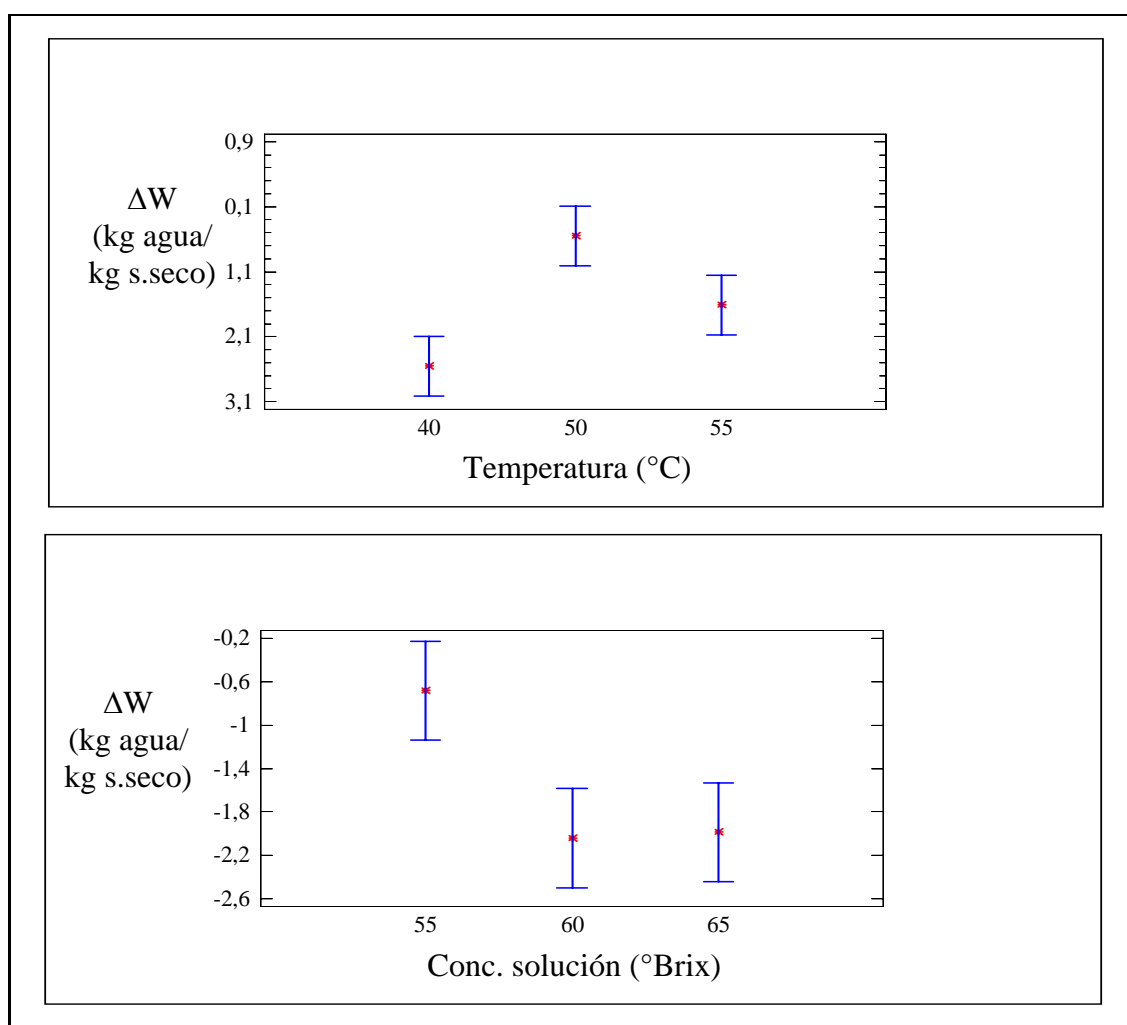
Debido a lo anterior, se logró disminuir el número de variables involucradas en el experimento a 2 (Humedad y tiempo) a través de una curva de regresión polinomial simple. Esta curva permite utilizar los resultados del experimento en forma independiente de la temperatura y la concentración de la solución osmótica, amplificando el espectro de utilidad del ensayo. Su validez, estará limitada a las condiciones específicas del aire de secado.

En la FIGURA 25, se observa la dispersión de todos los puntos del experimento en forma adimensional, con la curva de regresión respectiva. Con estos resultados, se puede simplificar el estudio de otras variables que influyen en el proceso de secado como: área de contacto, velocidad del aire, etc.



**FIGURA 25.** Curva de secado adimensional.

**4.2.4 Análisis de varianza para la pérdida de humedad en el proceso de secado.** Se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas en la extracción de humedad desde el fruto en relación a los factores que influyeron en su deshidratación osmótica; esto es Temperatura y concentración del agente osmótico. Según el análisis realizado, existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para  $\Delta W$ ; tanto el factor temperatura como la concentración de la solución a la que fue pretratada la fruta influyen en la cantidad de agua que se extrae en el proceso de secado posterior.



**FIGURA 26. Comparación de promedios para la pérdida de humedad ( $\Delta W$ ) en la fruta según temperatura y concentración de la solución osmótica.**

En la FIGURA 26, se observa que todas las temperaturas generan una pérdida de humedad distintas. En relación al factor concentración de la solución, este genera una pérdida de humedad mayor y estadísticamente igual a 60 y 65 °Brix; sobrepasando el efecto generado a 55 °Brix.

Lo anterior se origina, como muestra la FIGURA 24, por la dificultad del escurrimiento interno cuando la humedad global del fruto es baja. Debido a esto, es que se observan tasas de deshidratación (velocidad) mayores en el fruto pretratado a 40 °C que en los demás tratamientos.

**4.2.5 Optimización de la pérdida de humedad en la etapa de secado, según los factores involucrados en el pretratamiento osmótico de la fruta.** Mediante este análisis, se pretende buscar el punto en el espacio de estudio en el cual se optimiza la extracción de humedad en la etapa de secado.

La función de regresión múltiple para la variable  $\Delta W$ , se presenta a continuación:

$$\Delta W = -1,02222 + 0,47166 * T - 0,651667 * C - 1,53167 * T^2 - 0,1 * T * C + 0,708333 * C^2$$

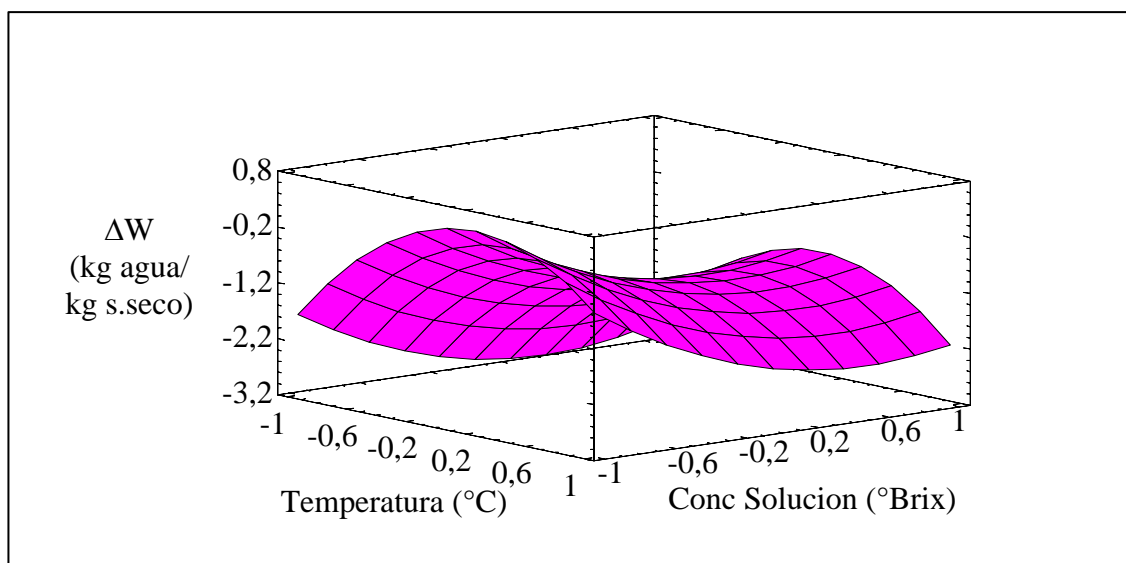
Donde:

T = Temperatura (°C)

C = Concentración de la solución (°Brix)

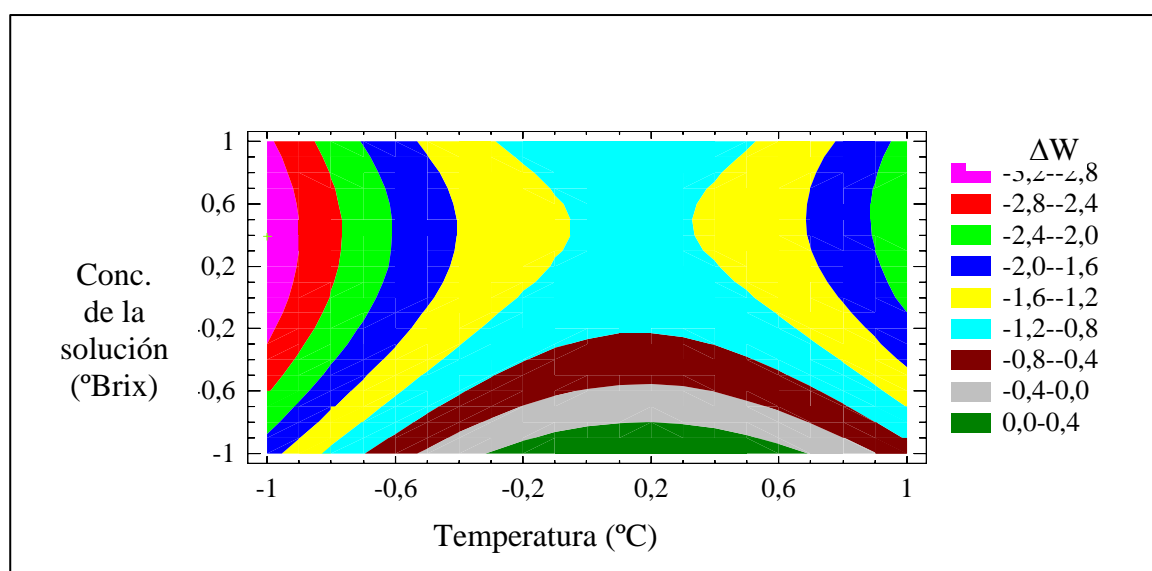
$\Delta W$  = Diferencia de humedad (Humedad final- Humedad inicial); (kg agua/kg s.seco)

La ecuación anterior, se observa gráficamente en la FIGURA 27. El punto óptimo en el cual se minimiza la variable  $\Delta W$ , es decir donde se produce la máxima extracción de agua en el proceso de secado es en el punto dado por el producto pretratado osmóticamente a 40 °C y 61,95 °Brix, logrando una pérdida de humedad de 3,13 (kg de agua/kg s.seco) en el proceso de secado por aire.



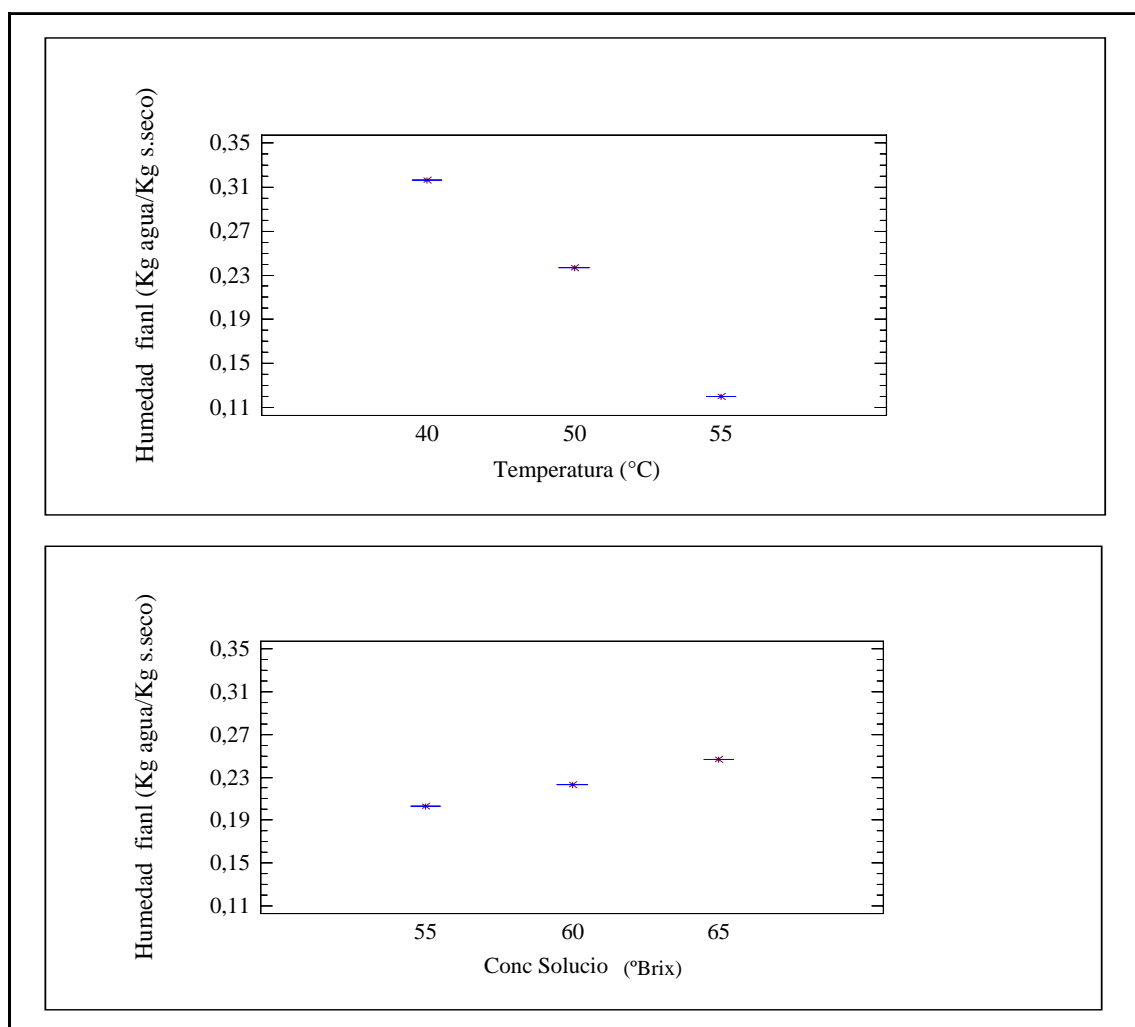
**FIGURA 27. Superficie de respuesta estimada para la pérdida de humedad en la etapa de secado.**

En la FIGURA 28, se observan los contornos de la superficie de respuesta anterior. La región rosada genera las mayores pérdidas de agua en el fruto (entre 2,8 y 3,2 kg agua/kg s.seco).



**FIGURA 28. Contornos de la superficie de respuesta para el proceso de secado. Variable de respuesta  $\Delta W$ .**

**4.2.6 Análisis de varianza para el contenido final de humedad en la fruta en el proceso de secado.** Este análisis tiene la finalidad de determinar las diferencias entre tratamientos en el contenido de humedad final en el proceso de secado, es decir identificar el tratamiento que logró generar un producto con mayor sequedad final. Según el análisis realizado, existen diferencias significativas respecto de las temperaturas y la concentración de la solución osmótica en el pretratamiento de la fruta; sin embargo como muestra la FIGURA 29, se observa que al aumentar la concentración de la solución osmótica aumentó la humedad en el producto final.



**FIGURA 29. Comparación múltiple de promedio para humedad final del fruto en el proceso de secado.**



**4.2.7 Optimización del contenido final de humedad en el fruto en el proceso de secado.** En este proceso se pretende extraer la mayor cantidad de humedad posible, es decir bajar al máximo el contenido de humedad en el fruto para las condiciones experimentales dadas. La ecuación de regresión múltiple se muestra a continuación:

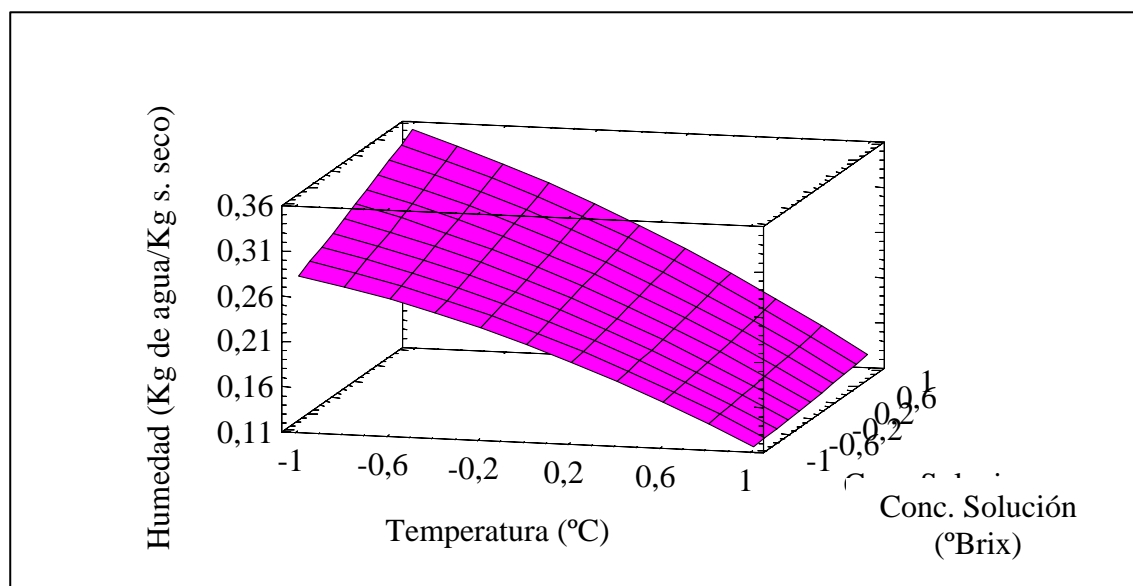
$$\text{Humedad} = 0,235556 - 0,09833*T + 0,021666*C - 0,01833*T^2 - 0,015*T*C + 0,00166*C^2$$

Donde:

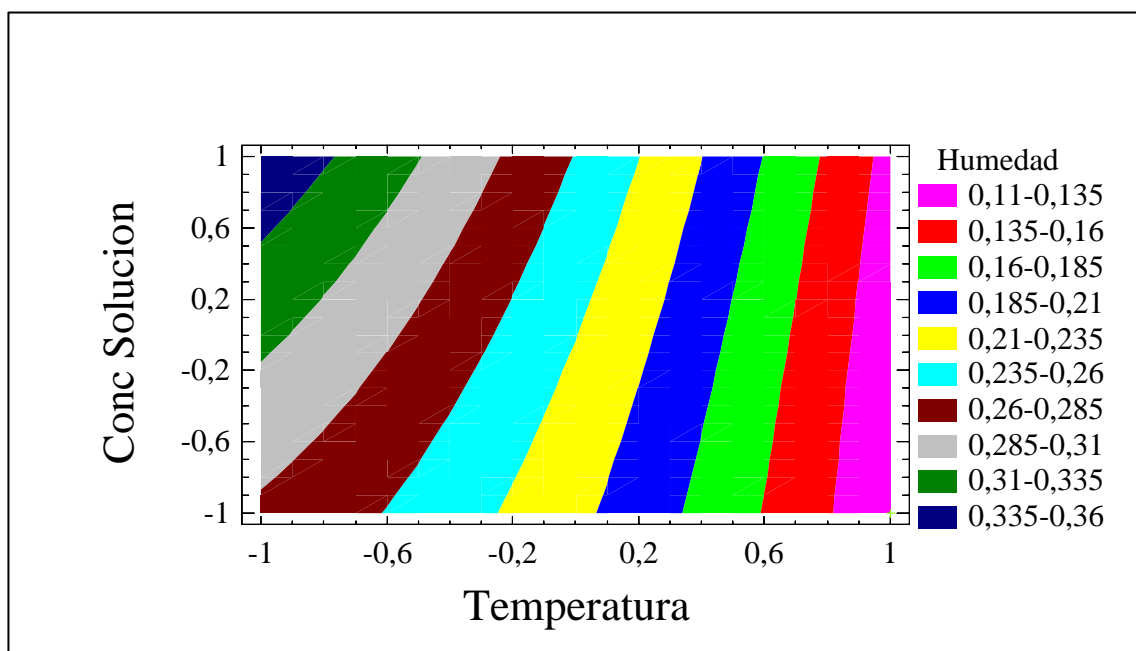
T = Temperatura (°C)

C = Concentración de la solución osmótica (°Brix)

El punto que minimiza el contenido final de humedad en el fruto esta dado por el tratamiento de deshidratación osmótica realizado a 55 °C y 55 °Brix, logrando una humedad final de 0,114 (kg de agua/kg s. seco). Gráficamente, se puede observar la tendencia en la FIGURA 30 y el mapa de contorno en la FIGURA 31.



**FIGURA 30. Superficie de respuesta para el contenido de humedad final en la etapa de secado.**



**FIGURA 31. Contornos de la superficie de respuesta para el proceso de secado. Variable de respuesta Humedad final.**

En la FIGURA 31 se observa que la zona que genera menores contenidos de humedad en el fruto es la de color rosado. Contrariamente a lo anterior, en la zona de color azul no se generan pérdidas de humedad máximas.

**4.2.8 Optimización de la actividad de agua final en el fruto luego del proceso de secado.** Mediante este análisis se optimizó el contenido final de agua disponible en el fruto.

La ecuación de regresión para la  $A_w$  final es:

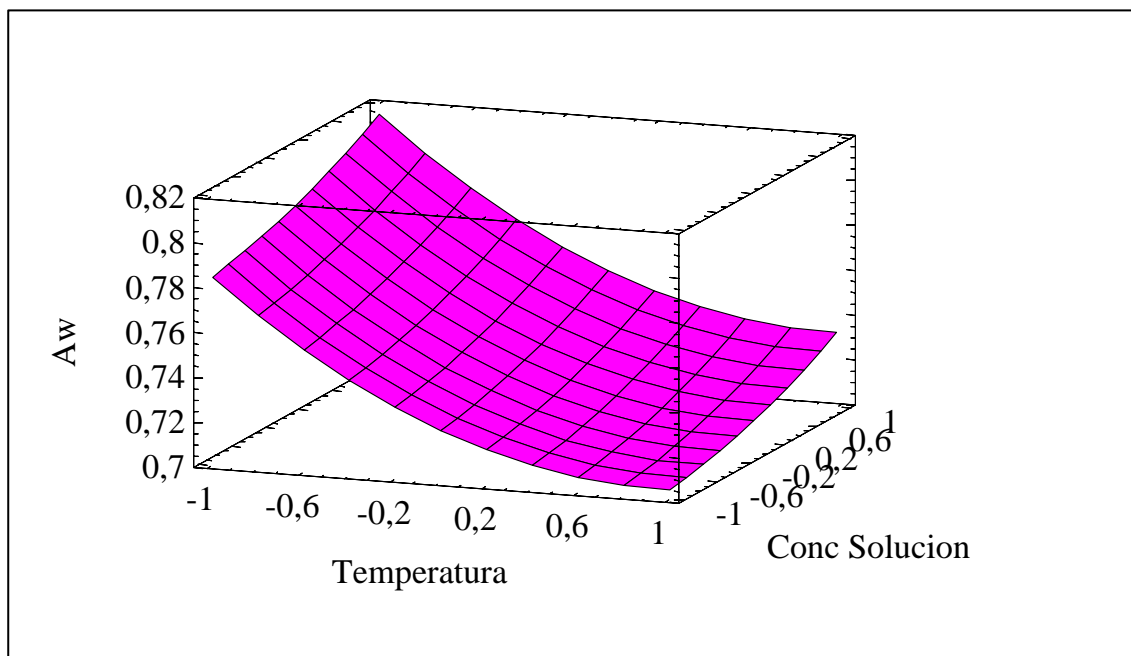
$$A_w = 0,733778 - 0,0404444*T + 0,0151111*C + 0,021*T^2 - 0,000583*T*C + 0,004333*C^2$$

Donde:

T = Temperatura (°C)

C = Concentración de la solución osmótica (°Brix)

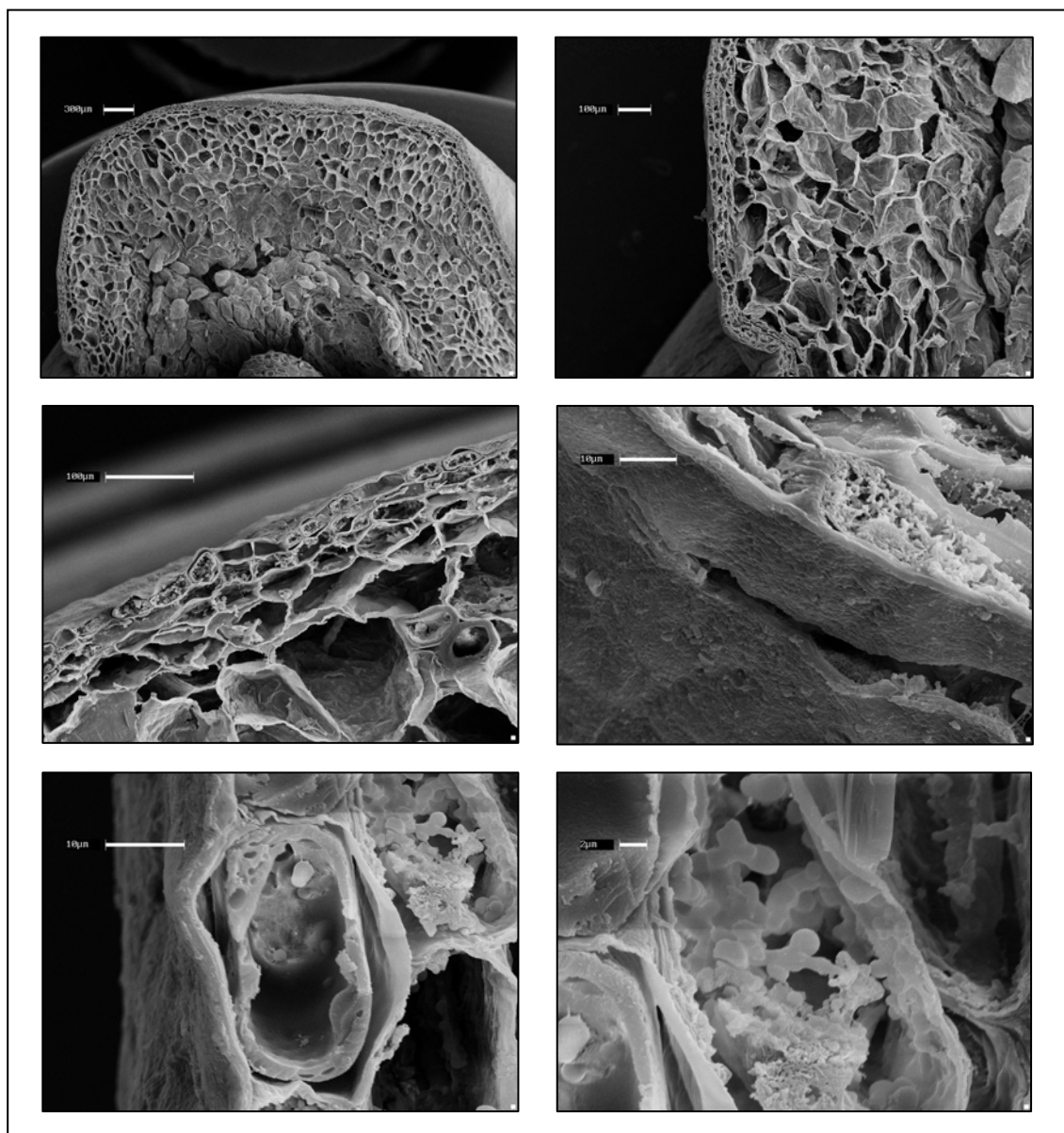
La superficie de respuesta para la ecuación anterior se muestra en la FIGURA 32.



**FIGURA 32. Superficie de respuesta para la  $A_w$  final del fruto en el proceso de secado.**

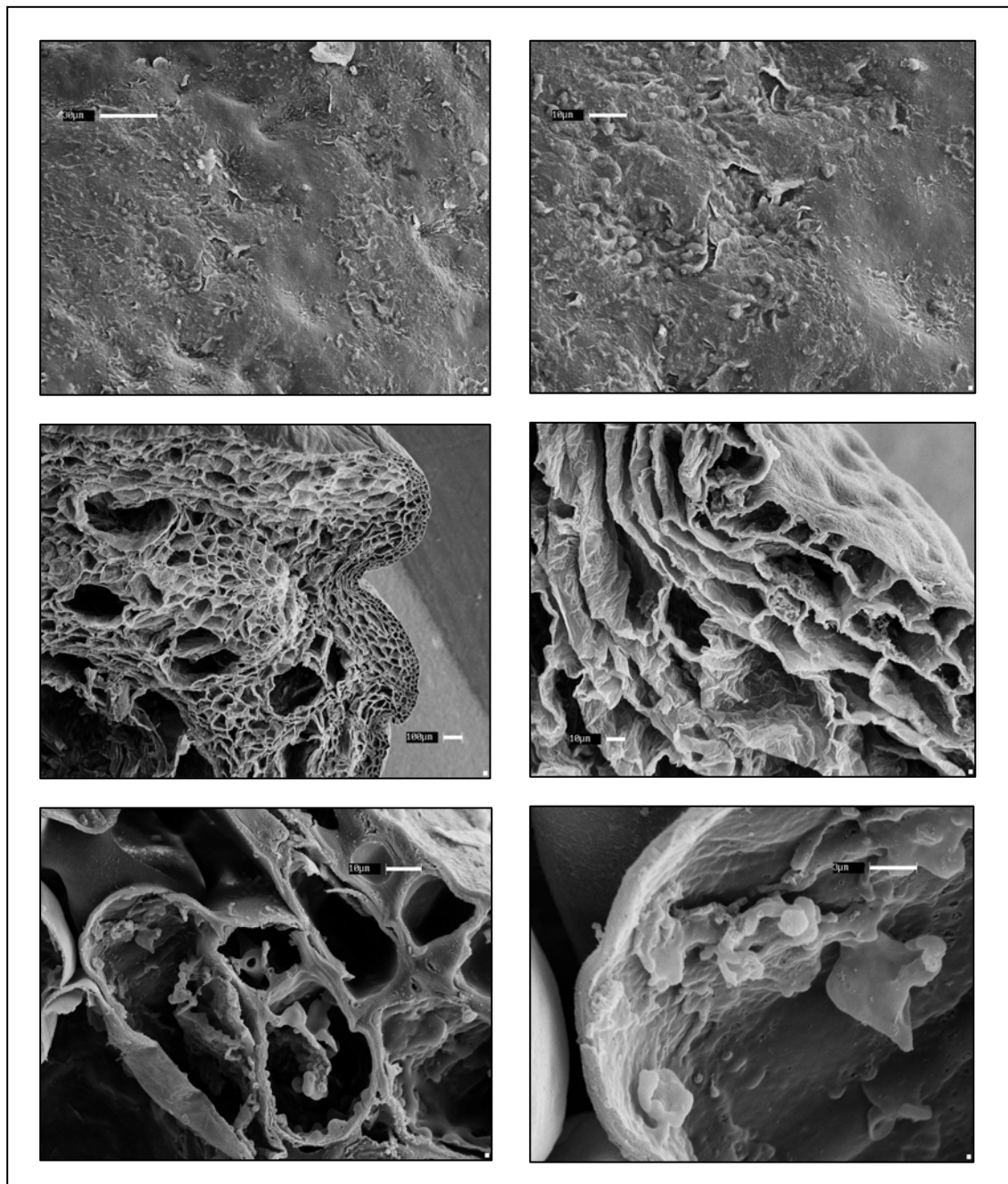
La  $A_w$  mínima conseguida fue de 0,704 en el punto de la superficie dado por una temperatura de 54,75 °C y una concentración de la solución de 55 °Brix. Según FENNEMA (1993) a este nivel de  $A_w$  solo se desarrollan algunos mohos xerofílicos y levaduras osmofílicas.

**4.3 Exploración microscópica del fruto durante el proceso de deshidratación osmótica y secado.** En la FIGURA 33, se observa la microestructura interna y externa del arándano congelado utilizado como materia prima para el estudio de deshidratación osmótica y secado de este fruto.



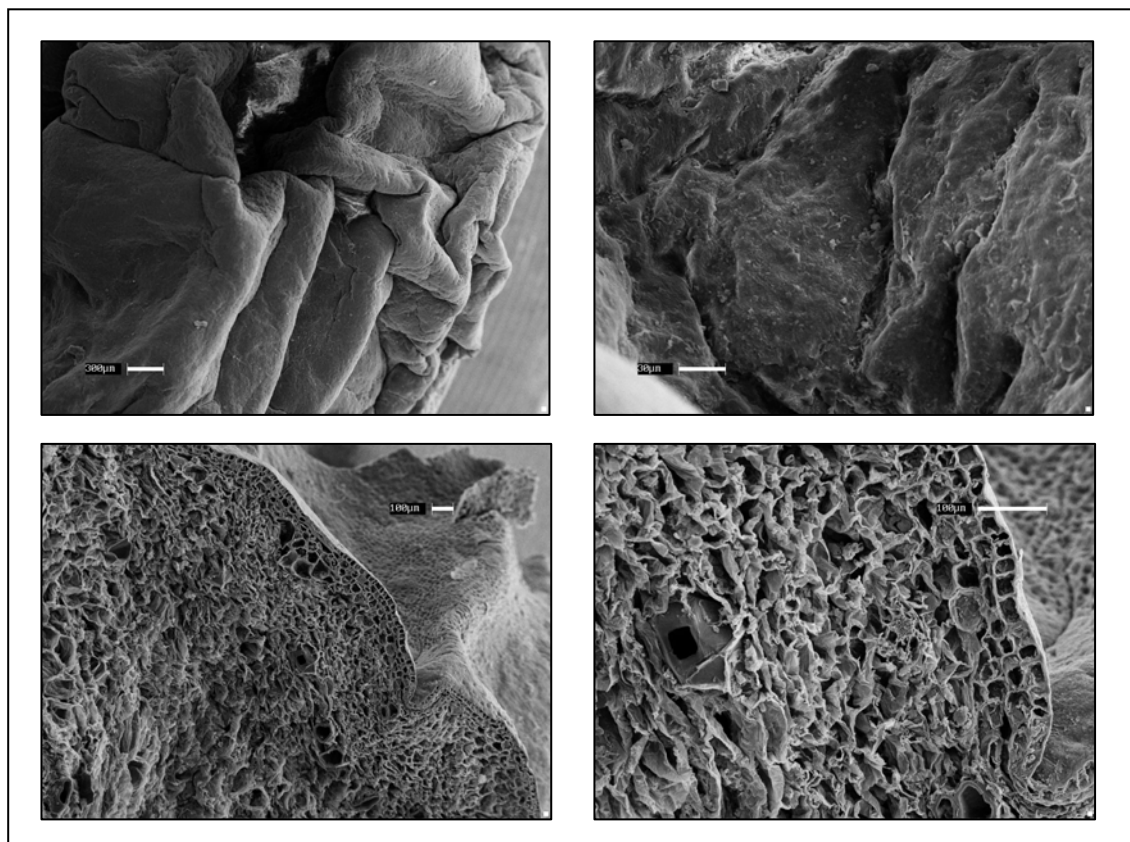
**FIGURA 33.** Exploración microscópica del arándano congelado utilizado como materia prima para el estudio de deshidratación osmótica y secado.

En la FIGURA 34, se observa al fruto luego de finalizada el proceso de deshidratación osmótica.



**FIGURA 34. Microestructura del arándano después de 5 horas de deshidratación osmótica.**

En la FIGURA 35, se observa al fruto luego de la finalización del proceso de secado por aire.



**FIGURA 35. Microestructura del arándano después de 5 horas de tratamiento osmótico y 10 horas de secado por aire.**

En la FIGURA 33, se observa en la materia prima el grosor de la capa externa de células y la cera cuticular, ambos 2 obstáculos para la penetración de sólidos solubles en la etapa de deshidratación osmótica. Además, se observan rajaduras de la piel del fruto por efecto de acción mecánica o manipulación en el proceso de congelación y embalaje.

En la FIGURA 34, se observa el daño superficial en el fruto plasmado en pequeñas lesiones de la cutícula. En esta FIGURA se observa que, luego del tratamiento osmótico, existe una capa interna en algunas células que podría tratarse de la presencia de sacarosa que penetró en el proceso al interior del arándano.

En la FIGURA 35, se observa el estado del fruto luego de la finalización del proceso de secado. Aquí se vé claramente el daño en las capas de células internas y externas y la disminución del diámetro promedio celular como señalan PROTHON *et al.* 2001, TAPIA *et al.* 1999 y LOPEZ *et al.* 1994.

## 5. CONCLUSIONES

- En el proceso de deshidratación osmótica, solo la temperatura ejerce un efecto significativo sobre la pérdida de humedad en el fruto. La concentración del medio osmótico en cambio, no genera diferencias en las tasas de deshidratación que experimenta el fruto al ser sometido al contacto directo en un medio hipertónico.
- Las condiciones experimentales óptimas que maximizan la extracción de humedad en la etapa de deshidratación osmótica se logra a un temperatura de 55 °C y a una concentración del medio osmótico de 58,25 °Brix. En estas condiciones se puede lograr extraer hasta 2,39 (Kg agua/Kg sólido seco).
- En el proceso de deshidratación osmótica tanto la temperatura como la concentración de la solución ejercen un efecto significativo en la ganancia de sólidos solubles en la fruta. La mayor ganancia de sólidos solubles se produce a una temperatura de 55 °C y una concentración del medio osmótico de 65 °Brix.
- En el proceso de secado por aire tanto la concentración de la solución osmótica como la temperatura del medio al que fue pretratada la fruta influyen directamente en las tasas de extracción de humedad. La fruta que fue pretratada a 40 °C y 61,95 °Brix genera mayores pérdidas de humedad cercanas a 3,13 (Kg de agua/Kg s.seco).
- La Aw de agua más baja a la que se logró llegar fue de 0,704, pretratando la fruta a 55 °C y 55 °Brix. A este nivel de humedad se inhiben la mayoría de los microorganismos que afectan la estabilidad de la fruta.



## 6 RESUMEN

El arándano es una fruta introducida con un enorme potencial de crecimiento en la décima región de Chile. El objetivo de esta investigación fue la determinación de condiciones experimentales óptimas para la deshidratación osmótica y secado de arándanos. Para ello se realizó un diseño experimental completamente aleatorio con 2 factores (Temperatura y concentración del medio osmótico) a 3 niveles cada uno, logrando un total de 9 tratamientos distintos. Las concentraciones de las soluciones fueron 55, 60 y 65 °Brix; y las temperaturas utilizadas 40, 50 y 55 °C.

La fruta en primer lugar fue pretratada osmóticamente por un tiempo de 5 h para luego ir a un túnel de secado a condiciones similares para todos los tratamientos por 10 h a 55 °C con recirculación de aire del 50 %.

A una temperatura de 55 °C y una concentración del medio osmótico de 58,25 °Brix se logró la mayor pérdida de humedad en la fruta. Por otro lado, la mayor ganancia de sólidos solubles se produce a una temperatura de 55 °C y una concentración del medio osmótico de 65 °Brix.

En el proceso de secado por aire tanto la concentración de la solución osmótica como la temperatura del medio al que fue pretratada la fruta influyen directamente en las tasas de extracción de humedad. La fruta que fue pretratada a 40 °C y 61,95 °Brix genera mayores pérdidas de humedad cercanas a 3,13 (kg de agua/kg s.seco). La  $A_w$  mínima a la que se logró llegar fue de 0,704.

## SUMMARY

Blueberry is a fruit introduced with an enormous potential of growth in south of Chile. The objective of this investigation was determination of optimal experimental conditions for osmotic drying and convective drying. For its experimental design completely random with 2 factors (Temperature and concentration of the osmotic solution) at 3 levels each one, obtaining different a 9 total of treatment.

The concentrations of the solutions were 55, 60 and 65 °Brix; and used temperatures 40, 50 and 55 °C. The fruit in the first place was pretreated in osmotic drying by a time of 5 h soon to go to tunnel of drying to conditions similar for all the treatments by 10 h to 55 °C with recirculation of air of 50 %.

To a temperature of 55 °C and one concentration of the average 58.25 °Brix greater the lost one of humidity in the fruit. On the other hand, the greater gain of soluble solids takes place to a temperature of 55 °C and one concentration of the average 65 °Brix. In the process of drying by air as much concentration of osmotic solution like the temperature of the means to which it was pretreated the fruit influences directly in the rates of extraction of humidity. The fruit that were pretreated to 40 °C and 61.95 °Brix generates greater lost of humidity near 3.13 (kg of water/Kg d. food). The  $A_w$  minimal to arrive was of 0.704.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- A.O.A.C (Association oficial analitical chemistry). 1995. Official methods of analysis of AOAC international. Vol. II. 16<sup>th</sup> edition. Cap. 37.
- BARAT, J., CHIRALT, A y FITO, P. 1998. Equilibrium in cellular food osmotic solution system as related to structure. *Journal of food science*. 63:836-840.
- BELITZ, H y GROSCH, W. 1997. Química de los alimentos. Segunda edición Editorial Acribia. Zaragoza. España. 1087 p.
- COSENTINO, E., ACOSTA, E., ESCRICHE, I. y SERRRA, J. 1994. Experiencia de conservación de papaya deshidratada osmóticamente al vacío. *Anales de investigación del master en ciencia e ingeniería en alimentos*. Universidad Politécnica de Valencia. 4: 171-189.
- FELLOWS, P. 1988. *Food processing technology*. Chichester, Inglaterra. 505p.
- FENNEMA, O. 1993. Química de los alimentos. Ediorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 1095p.
- FITO, P., CHIRALT, J., BARAT, J., SALVATORI, J y ANDRÉS, A. 1998. Some advances in osmotic dehydration of fruti. *Food science and technology international*. 4: 329-338.
- GEANKOPLIS, C. 1986. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Editorial continental, S.A. de C.V. México. 759p.

- GARCIA, E. y SERRA, J. 1994. Estudio de la calidad microbiológica en la conservación de Kiwi sometido a deshidratación osmótica al vacío. Anales de investigación del master en ciencia e ingeniería en alimentos. Universidad politécnica de Valencia. 4: 65-83.
- HARTAL, D. 1967. Osmotic dehydration with sodium chloride and other agents. Original no consultado. Ph. D. Food Technology. University of Illinois.
- HAWKES, J., FLINK, J. 1978. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. Journal of food processing and preservation. 2: 265-284.
- LENART, A., FLINK, J. 1984a. Osmotic concentration of potatoes. I criteria for de end point of the osmotic process. Journal of food technology. 19: 45-63.
- LAZARIDES H., FITO, P., CHIRALT, A., GEKAS, V. y ANDRZEJ L. 1999. Advances in osmotic dehydration. En: Processing food. CRC press. London. Pp 175-199
- LOPEZ, L., FITO, P., CHIRALT, A. y DAVILA, L. 1994. Estudio de la porosidad y cinética de la deshidratación osmótica al vacío (V.O.D) de la Actinidia chinensis. Anales de investigación del master en ciencia e ingeniería en alimentos. Universidad politécnica de Valencia. 4: 513-529.
- MAGEE, T., HASSABALLAH, A., MURPHY, W. 1983. Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions. Journal of food science and technology. 7: 147-155.
- MATA, M. 1992. Aportación al desarrollo de un proceso de deshidratación osmótica al vacío para alimentos. Tesis Dr. Ingeniero Industrial. Universidad politécnica de Valencia. Departamento de tecnología en alimentos. 260p.

- MC CABE, W., SMITH, J. Y HARRIOT, P. 1991. Operaciones básicas de ingeniería química. Cuarta edición. McGraw-Hill, Inc. 1112p.
- MUNTADA, V., GERSCHENSON, L., ALZAMORA, S. y CASTRO, M. 1998. Solute infusión effects on texture of minimally processed kiwifruit. Journal of food science. 63:616-620.
- NORTH AMERICAN BLUEBERRY COUNCIL. <http://www.blueberry.org>
- POTTER, N. 1999. Ciencia de los alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 667p.
- PROTHON, F., AHRNE, L., FUNEBO, T., KIDMAN, S., LANGTON, M y SJÖHOLM, I. 2001. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. Lebensmittel-Wissen und-Technologie. 34: 95-101.
- RAMASWAMY, H. , NSONZI, F. 1998a. Quality evaluation of osmo-convective dried blueberries. Drying technology. 16:705-723.
- RAMASWAMY, H. , NSONZI, F. 1998b. Osmotic dehydration kinetics of blueberries. Drying technology. 16: 725-741.
- RAMASWAMY, H. , NSONZI, F. 1998c. Convective-air drying kinetics of osmotically pretreated blueberries. Drying technology. 16: 743-759.
- RASTOGI, N., ESHTIAGHI, M. , KNORR, D. 1999. Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of intensity electrical field pulse pretrated carrots. Journal of food science. 64: 1020-1023.

- RASTOGHI, N. , NIRANJAN, K. 1998. Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *Journal of food science*. 63: 508-511.
- RASTOGHI, H. , RAGHAVARAO, K. 1995. Kinetics of osmotic dehydration of coconut. *Journal of food process engineering*. 18: 187-197.
- RICO, S., ACOSTA, E , SERRA, J. 1994. Estudio del crecimiento de microorganismos en papaya sometida a deshidratación osmótica al vacío. *Anales de investigación del master en ciencia e ingeniería en alimentos*. Universidad politécnica de Valencia. 4: 105-119.
- ROBBERS, M., SINGH, P , CUNHA, L. 1997. Osmotic-convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. *Journal of food science*. 62: 1039-1047.
- ROSELL, J , LLUCH. 1994. Evolución del contenido de azúcares durante la deshidratación osmótica de manzana granny smith, y su relación con la microestructura. *Anales de investigación del master en ciencia e ingeniería en alimentos*. Universidad politécnica de Valencia. 4: 323-339.
- SALVATORI, D., ANDRES, A., ALBORS, A., CHIRALT, A. , FITO, P. 1998a. Structural and compositional profiles in osmotically dehydrated apple. *Journal of food science*. 63: 606-610.
- SALVATORI, D., ANDRES, A., CHIRALT, A. , FITO, P. 1998b. The response some properties of fruits to vacuum impregnation. *Journal of food process engineering*. 21: 59-73.
- SENER, F. , SCHERZ, H. 1999. *Tablas de composición de alimentos el pequeño Souci-Fachmann-Kraut*. Zaragoza, España. 430p.

SHARMA, A., MULVANEY, S y RIZVI, S. 2000. Osmotic dehydration of food. En: Food process engineering, theory and laboratory experiments. John Wiley & Song, Inc., Publication. New York. Pp 225-235.

SING, R., HELDMAN, D. 1992. Introduction to food engineering. California. USA. 306p.

TAPIA, M., LÓPEZ-MALO, A., CONSUEGRA, R., CORTE, P y WELTI-CHANES, J. 1999. Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration (VOD) techniques. Food science and technology international. 5: 41-49.

URRUTIA G. 2000. Arándanos un Mercado en expansión. Agroeconómico. Noviembre.14-19.