

Tesis de Posgrado

Efecto del tratamiento de preservación por depresión de la actividad acuosa en la calidad del alga *Porphyra columbina*

Valencia Rodríguez, Manuela Teresa

2001

Tesis presentada para obtener el grado de Magister de la Universidad de Buenos Aires en el área de Bromatología y Tecnología de la Industrialización de Alimentos de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Valencia Rodríguez, Manuela Teresa. (2001). Efecto del tratamiento de preservación por depresión de la actividad acuosa en la calidad del alga *Porphyra columbina*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3326_ValenciaRodriguez.pdf

Cita tipo Chicago:

Valencia Rodríguez, Manuela Teresa. "Efecto del tratamiento de preservación por depresión de la actividad acuosa en la calidad del alga *Porphyra columbina*". Tesis de Magister. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2001.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3326_ValenciaRodriguez.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES



**“EFECTO DEL TRATAMIENTO DE PRESERVACIÓN POR DEPRESIÓN DE LA
ACTIVIDAD ACUOSA EN LA CALIDAD DEL ALGA**

Porphyra columbina”

Manuela Teresa Valencia Rodríguez

**Tesis presentada para optar
al Título de Magíster en Bromatología y Tecnología
de la Industrialización de Alimentos**

Directora de Tesis: Dra. Lía Gerschenson

2001

3326

A mi madre:

**Por su amor, sabias enseñanzas y su sacrificio
que fueron la fuerza para continuar...**

"Sión decía:

El Señor me ha abandonado, se ha olvidado de mí.

¿Puede acaso una mujer olvidarse del niño de sus entrañas?

Pues, aunque ella lo olvidara, yo no me olvidaría de ti.

Mira, en la palma de mis manos te llevo grabado."

Isaías 49, 3-6.

Agradecimientos

- ✱ A la Universidad Nacional de Buenos Aires y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina por el apoyo para la realización del presente trabajo.

- ✱ A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y en especial al Departamento de Industrias, por las enseñanzas recibidas.

- ✱ A la Dra. Lía Noemí Gerschenson, Directora del presente trabajo. Por su orientación, generosidad y paciencia frente a los inevitables contratiempos.

- ✱ A las Dras. Stella Maris Alzamora, Ana María Rojas, Carmen Campos, Marta Huergo por la orientación y ayuda prestada.

- ✱ A la Sra. Secretaria del Departamento de Industrias María Elida Gómez por su generoso afecto y su siempre buena disposición a ayudar.

- ✱ A todos mis amigos y personas que de una u otra forma me ayudaron.

Muchas gracias por todo.

INDICE

	página
GENERALIDADES	1
OBJETIVOS	1
I. INTRODUCCIÓN.	2
I. A. Algas.	2
I. A. 1. Características generales.	2
I. A. 2. Clasificación de las algas.	3
I. A. 2. 1. Clase <i>Rhodophytas</i> : Algas rojas.	4
I. A. 3. Las algas como alimentos.	7
I. A. 4. Usos actuales de las algas.	8
I. A. 5. Composición: Las algas como fuente de fibras.	11
I. A. 6. <i>Porphyra</i> .	13
I. A. 6. 1. Valor nutritivo de <i>Porphyra</i> .	15
I. A. 6. 2. Otras sustancias biológicamente activas de <i>Porphyra</i> .	18
I. A. 6. 3. Ubicación taxonómica de <i>Porphyra</i> .	19
I. A. 7. Hoshi-nori.	20
I. A. 7. 1. Valor nutritivo de productos nori.	21
* Proteínas y aminoácidos..	22
* Lípidos.	22
* Vitaminas.	22
* Minerales.	23
* Carbohidratos.	23
I. B. Actividad de agua (a_w).	23
I. B. 1. Cálculo de la actividad acuosa (a_w).	25
I. B. 2. Isotermas de sorción.	26
I. B. 3. Modelos matemáticos del comportamiento sorcional.	27

I. B. 3. 1. Modelo BET.	30
I. B. 3. 2. Ecuación GAB.	30
I. B. 3. 3. Modelo de Oswin.	34
I. C. Deshidratación.	34
I. C. 1. Modelos matemáticos del secado: Secado en capa delgada.	36
I. C. 1. 1. Modelo simple exponencial.	37
I. C. 1. 2. Modelo de Page.	37
I. C. 2. Deshidratación - Impregnación con solutos (ósmosis).	38
I. C. 2. 1. Efectos de la deshidratación - impregnación con solutos en la velocidad de secado de tejidos vegetales.	42
I. D. Color.	43
I. D. 1. Aspectos ópticos.	44
I. D. 2. Sistemas de color triestímulo simplificado.	45
I. D. 3. Pigmentos naturales.	47
I. D. 3. 1. Clases de pigmentos.	48
I. D. 3. 2. Fotosíntesis y pigmentos.	53
I. D. 3. 3. Modificaciones de los pigmentos naturales de los alimentos por el tratamiento tecnológico.	53
I. E. Textura.	55
I. E. 1. Curvas fuerza - deformación.	56
I. E. 2. Curvas de relajación.	56
I. E. 3. Propiedades mecánicas de alimentos particulados.	57
II. MATERIALES Y MÉTODOS.	62
II. A. Material biológico.	62
II. B. Preparación del material biológico para las experiencias.	62
II. C. Determinación del contenido de humedad	62

II. D. Evaluación de la actividad acuosa (a_w).	63
II. E. Evaluación del pH	63
II. F. Preparación de las soluciones para la ósmosis.	63
II. G. Procedimiento de impregnación.	64
II. H. Isotermas de sorción.	65
II. H. 1. Determinación de las isotermas de sorción.	65
II. H. 2. Modelado matemático de las isotermas de sorción.	67
II. I. Desarrollo de la Deshidratación.	67
II. I. 1. Preparación de las muestras.	67
II. I. 2. Descripción del equipo de secado.	68
II. I. 3. Procedimiento de secado.	69
II. J. Color.	70
II. J. 1. Preparación de las muestras.	70
II. J. 2. Molido de las algas.	70
II. J. 3. Condiciones de medición.	70
II. J. 4. Acondicionamiento de las muestras para la lectura.	71
II. J. 5. Parámetros calculados.	71
II. K. Textura.	72
II. K. 1. Acondicionamiento de las muestras.	72
II. K. 2. Equipo utilizado.	72
II. K. 3. Estudio de los efectos de borde.	73
II. K. 4. Curvas fuerza - deformación y relajación.	74
II. K. 5. Curvas de compresión - decompresión.	75
II. L. Determinación de la densidad.	75

II. M. Rehidratación.	76
II. N. Cálculos complementarios y tratamiento estadístico de los datos.	76
II. N. 1. Significatividad de las diferencias.	76
II. N. 2. Ajuste de los modelos.	77
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	78
III. A. Proceso de ósmosis.	78
III. B. Isotermas de sorción.	80
III. B. 1. Isotermas de adsorción.	80
III. B. 2. Isotermas de desorción.	81
III. B. 3. Resultados del ajuste de los datos sorcionales.	86
III. B. 3. 1. Modelo de BET.	86
III. B. 3. 2. Modelo de Oswin.	88
III. C. Secado de <i>Porphyra columbina</i>.	89
III. C. 1. Curvas de secado para los diferentes tratamientos.	91
III. C. 2. Modelos de secado.	94
III. D. Resultados de color.	97
III. D. 1. Parámetros de color.	99
III. D. 1. 1. Parámetro de color L*.	99
III. D. 1. 2. Parámetro de color a*.	100
III. D. 1. 3. Parámetro de color b*.	102
III. D. 1. 4. Ángulo hue.	103
III. D. 1. 5. Parámetro ΔE .	105

III. E. Textura.	106
III. E. 1. Efectos de borde.	106
III. E. 2. Curvas fuerza - deformación y relajación de las algas.	107
III. E. 3. Estudio de la cohesividad de las algas deshidratadas.	108
III. F. Densidad.	111
III. G. Rehidratación.	112
IV. CONCLUSIONES.	114
V. BIBLIOGRAFÍA.	117

INDICE DE TABLAS.

Tabla I - 1	Resumen de algunas características de las algas rojas.	13
Tabla I - 2	Composición de <i>Porphyra</i> y algunos productos derivados del alga.	16
Tabla I - 3.	Cálculo del porcentaje de presencia de distintos aminoácidos en <i>Porphyra columbina</i> en relación a los requerimientos del preescolar (recolección: mes de septiembre).	17
Tabla I - 4	Estabilidad de los pigmentos frente a los siguientes agentes.	54
Tabla II - 1	Actividad acuosa de distintas soluciones salinas saturadas y solubilidad de sales en agua.	66
Tabla III - 1	Actividad acuosa (a_w) de algas <i>Porphyra columbina</i> equilibradas en la solución ternaria (a_w 0,770) durante distintos tiempos.	80
Tabla III - 2	Humedad promedio de <i>Porphyra columbina</i> equilibradas con atmósferas de distintas humedades relativas a 25°C y 45°C.	82
Tabla III - 3	Parámetros resultantes del ajuste de las isotermas de desorción a 25°C con la ecuación BET.	87
Tabla III - 4	Ajuste de las isotermas de desorción al modelo de Oswin.	88
Tabla III - 5	Humedad final del alga luego de los tratamientos.	93
Tabla III - 6	Parámetros resultantes de la aplicación del modelo de Page a <i>Porphyra columbina</i> .	95
Tabla III - 7	Parámetros de color L^* , a^* y b^* para <i>Porphyra columbina</i> .	97
Tabla III - 8	Parámetros de Peleg (1979) para las curvas de relajación de algas: Efecto del diámetro de la celda.	106

Tabla III - 9	Parámetros de Peleg (1979) para las curvas de relajación de algas deshidratadas: efecto del tratamiento de ósmosis.	112
Tabla III - 10	Energía irrecuperable en la compresión-decompresión de algas deshidratadas.	114
Tabla III - 11	Densidad de algas deshidratadas y molidas.	115
Tabla III - 12	Capacidad de rehidratación de algas <i>Porphyra columbina</i> .	113

INDICE DE FIGURAS.

Figura I - 1	Esquema de algunas condiciones y plantas que habitan en la región intermareal.	6
Figura I - 2	Representación esquemática de la transferencia de masa durante la ósmosis.	40
Figura I - 3	Representación esquemática de la formación de los productos derivados de la clorofila.	50
Figura I - 4	Curvas de relajación de polvos con distinto tenor de humedad.	60
Figura II - 1	Equipo de secado.	69
Figura II - 2	Representación de la celda de medición y cabezal de la máquina de testeo.	73
Figura III - 1	Variación del peso con el tiempo para las algas tal cual en atmósfera de solución saturada de K_2SO_4 .	81
Figura III - 2	Isoterma de desorción a 25°C de <i>Porphyra columbina</i> con y sin tratamiento osmótico.	84
Figura III - 3	Isoterma de desorción a 25°C y 45°C de <i>Porphyra columbina</i> .	85
Figura III - 4	Isotermas de desorción a 25°C y 45°C de algas <i>Porphyra columbina</i> con y sin tratamiento osmótico.	85
Figura III - 5	Ajuste con el modelo de Oswin de la isoterma de desorción a 25°C de las algas osmotizadas.	89
Figura III - 6	Reproducibilidad de las curvas de secado de algas tal cual (T: 30°C, A; 55°C, C) y de algas osmotizadas (T: 30°C, B).	90
Figura III - 7	Secado a 30°C de <i>Porphyra columbina</i> con y sin tratamiento osmótico previo.	91
Figura III - 8	Secado a 55°C de <i>Porphyra columbina</i> (sin tratamiento de ósmosis).	92
Figura III - 9	Secado de <i>Porphyra columbina</i> a 30°C y 55°C sin tratamiento de ósmosis previo.	92

Figura III - 10	Aplicación del modelo de Page a algas <i>Porphyra columbina</i> sin tratamiento de ósmosis (30°C, A; 55°C, C) y osmotizadas (30°C, B).	96
Figura III - 11	Cambios de luminosidad (L*) de <i>Porphyra columbina</i> por el tratamiento.	100
Figura III - 12	Alga <i>Porphyra columbina</i> deshidratada sin (A) y con (B) tratamiento osmótico previo	101
Figura III - 13	Efecto del tratamiento aplicado al parámetro de color a*.	102
Figura III - 14	Efecto del tratamiento aplicado al parámetro de color b*.	103
Figura III - 15	Alga <i>Porphyra columbina</i> antes (A) y después (B) del tratamiento osmótico .	104
Figura III - 16	Efecto del tratamiento en la diferencia de color (ΔE).	105
Figura III - 17	Curvas de fuerza-deformación y de relajación de algas deshidratadas (A) y osmotizadas-deshidratadas (B).	107
Figura III - 18	Estudio del trabajo irrecuperable en algas deshidratadas (A) y en algas osmotizadas-deshidratadas (B).	110

GENERALIDADES

Con el propósito de estudiar la preservación de las algas se llevaron a cabo las siguientes determinaciones experimentales:

- a)** Obtención de las isotermas de desorción de las algas a 25°C y 45 °C.
- b)** Impregnación de las algas en soluciones binarias (agua-cloruro de sodio y/o agua-sacarosa) y ternaria (agua-cloruro de sodio-sacarosa).
- c)** Obtención de las curvas de secado de las algas, en corriente de aire.
- d)** Evaluación de la textura de las algas.
- e)** Evaluación del color de las algas.
- f)** Evaluación del volumen específico y de la rehidratación de las algas.
- g)** Elaboración de los resultados obtenidos.

Estas actividades nos permitieron alcanzar los siguientes objetivos:

OBJETIVOS:

- *** Determinar las propiedades de sorción de las algas tal cual y de las algas luego de impregnación.
- *** Determinar el efecto de la impregnación en la cinética de la etapa de secado en corriente de aire posteriormente aplicada.
- *** Aportar a la optimización de la preservación bajo la consideración de parámetros mecánicos y de color.

I. INTRODUCCION

I. A. Algas.

I. A. 1. Características Generales.

Los eucariotas constituyen la mayor parte de los organismos actualmente vivientes, tanto por el número de especies como por la masa.

La célula eucariota se caracteriza por la posesión de un verdadero núcleo, limitado frente al citoplasma por una doble membrana provista de poros.

En la división celular normal el núcleo de la célula se divide por mitosis.

En el campo de los eucariotas distinguimos los siguientes tipos o niveles de organización:

- a) Algas eucariotas
- b) Miscomicetes
- c) Hongos
- d) Líquenes
- e) Briofitos y plantas vasculares.

La Ficología es la ciencia que estudia a las algas. Las algas son un grupo muy diverso de organismos eucarióticos que contienen clorofila. Muchos botánicos prefieren incluirlas dentro del reino *Plantae*, mientras que otros las ubican dentro del reino *Protista*. Hasta el momento, no se ha podido llegar a un acuerdo unánime respecto al reino en que deben ser incluidas.

Las algas crecen en todos los tipos de ambientes acuáticos, así como en algunos medios terrestres. Se las encuentran en aguas dulces, marinas y salobres.

Debido al crecimiento masivo de las algas en las zonas de mar adentro, ellas ocupan extensas áreas que semejan a bosques y además ofrecen refugio y alimento a una gran variedad de organismos tanto microscópicos como a peces más grandes e invertebrados que se nutren de los microorganismos y de animales más pequeños que ellos. A su vez, el hombre recolecta estas algas para su alimentación y obtención de otros derivados.

Las algas varían de tamaño en un rango que va desde pequeños individuos unicelulares hasta algunas de las plantas multicelulares más grandes que se conocen. En su conjunto, son plantas muy simples en términos de su morfología: carecen de tallos, hojas y raíces, órganos que sí están presentes en las plantas vasculares o superiores.

El cuerpo de un alga se conoce con el nombre de **talo**, y se emplea el término de plantas **taloides** o **talofitas** para referirse a ellas (Jensen y Salisbury, 1988; Weberling y Schwantes, 1981).

I. A. 2. Clasificación de las algas.

Las algas son mayormente clasificadas sobre la base de su:

- * Color, dado por los pigmentos fotosintéticos que poseen,
- * Material de reserva,
- * Flagelos,
- * Pared celular.

Las algas marinas según sus pigmentos se clasifican en:

- * *Cyanophytas*, algas verde-azules, conformada por plantas microscópicas, sin demasiada importancia económica, a excepción de *Nostoc spp* que es usada como alimento.
- * *Chlorophytas*, algas verdes, usadas como alimentos, que están más ampliamente distribuidas en agua dulce que en el mar y en medios terrestres.
- * *Phaeophytas*, algas pardas, de uso industrial y además como alimento. Son pluricelulares de distribución marina y pocos géneros son de agua dulce.
- * *Rhodophytas*, algas rojas, de mayor valor económico. Son usadas en el ámbito industrial y también como alimento. Fundamentalmente se encuentran distribuidas en el mar. En su mayoría son pluricelulares, aunque existen algunas unicelulares.

I. A. 2. 1. Clase *Rhodophytas*: Algas rojas.

La séptima división de los eucariotas corresponde a las algas rojas, rodófitos o *Rhodophytas* (Strasburger y col., 1983).

Existen cerca de 4000 especies de *Rhodophytas* o algas rojas, distribuidas en cerca de 600 géneros. Las algas rojas constituyen la única división entre todas las algas que carecen de células móviles de cualquier tipo. Son particularmente abundantes en aguas tropicales y templadas, aunque a muchas se las puede encontrar en las regiones más frías del mundo. Hay menos de 100 especies de algas rojas de agua dulce, pero en el mar el número de especies es mayor que el conjunto de todas las demás algas marinas. Los miembros de ésta división generalmente crecen adheridos a las rocas o a otras algas; hay sólo algunas formas flotantes y unas pocas unicelulares o coloniales (Raven y col., 1991). Algunas viven a grandes profundidades (hasta 268 m).

Las algas rojas marinas se encuentran en todas las latitudes. En las regiones polares y subpolares hay pocas especies, ya que predominan más las algas verdes y pardas. De acuerdo a la región geográfica en la que se desarrollan es el tamaño de las plantas: las especies más grandes de algas rojas se dan en zonas frías, mientras que en los mares tropicales son generalmente, pequeñas y de forma filamentosa (Dixon, 1973; Lee, 1980; South y Whittick, 1987).

Nuestra biosfera está constituida por tres zonas bien diferenciadas como son: el mar abierto, el litoral y la tierra.

Los océanos están conformados de dos ambientes diferentes para el crecimiento y desarrollo de las algas: el mar abierto y las aguas que bañan las costas. Las algas se encuentran agrupadas en estratos bien diferenciados relacionados con los niveles de las mareas. Las regiones intermareales las cuales pasan sólo una parte del día cubierta por las aguas, son complejas en términos de la supervivencia de las algas: debido al constante movimiento de las aguas hay un cambio en la cantidad de agua que está cubriendo a las algas. Así, las plantas que crecen en las cercanías de la playa tendrán momentos en las que el agua no las cubra, por lo que están sujetas a la desecación durante una parte de cada día. A su vez, también se ve afectada la cantidad y calidad de luz.

La mayor parte de las algas rojas son marinas, viven en la zona litoral de los mares con distribución en el área submareal e intermareal. El borde de los océanos se puede dividir entre la zona de submareas, en las que el agua está siempre presente, y la región intermareal, la cual pasa sólo una parte del día sumergida, debido a la acción de las mareas. La zona intermareal alta se caracteriza por presentar períodos sustanciales, cada 24 horas, durante los cuales el fondo oceánico no está cubierto por agua. Cuando la marea entra y el fondo está cubierto, el agua tiene 1 ó 2 m de profundidad, siendo la profundidad importante, ya que el agua absorbe luz. Algunas algas rojas habitan muy adentro en la zona de playa, dentro de la zona intermareal alta en donde la desecación representa un problema importante (Jensen y Salisbury, 1988; Weberling y Schwantes, 1981; Strasburger y col., 1983), poseyendo cierta adaptación para protegerse de la desecación.

La complejidad estructural de las algas les permite sobrevivir en esta difícil zona, donde dos veces al día están sujetas a grandes fluctuaciones de humedad, temperatura, salinidad y luz; y además están sometidas al constante impacto de las olas y la acción abrasiva de las partículas de arena que ellas arrastran. (Raven y col., 1991).

Las algas rojas también tienen la capacidad de vivir a grandes profundidades en el océano a diferencia de otros grupos de algas. Esta capacidad está relacionada con los pigmentos accesorios que poseen para la fotosíntesis (Jensen y Salisbury, 1988; Dixon, 1973; Lee, 1980; South y Whittick, 1987).

Algunas algas rojas viven fijadas a las rocas de la zona intermareal alta. Una de ellas, *Porphyra*, semeja una hoja aplanada de papel semitransparente de color rojo, verde o morado. Algunos ejemplares tienen un grosor de dos capas celulares; otras especies sólo cuentan con una capa celular. En ocasiones, pueden quedar expuestas al aire durante varios días consecutivos y secarse hasta volverse quebradizas, sin que ello tenga algún efecto adverso sobre su fisiología (Scagel y col., 1980). Se puede desecar tanto que se siente áspera al tacto; no obstante, si se la regresa al agua, no mostrará algún signo de daño por desecación. Todavía no ha sido posible comprender del todo cómo esta alga puede soportar tales condiciones de desecación (Jensen y Salisbury, 1988).

Las algas rojas no poseen flagelos en ninguno de los estadios de su ciclo biológico, son estructuralmente complejas y tienen ciclos biológicos complejos (Raven y col., 1991).

Figura I - 1

Esquema de algunas condiciones y plantas que habitan en la región intermareal.

	Condiciones	Algas representativas
	zona del rociado, rara vez se cubre de agua	Líquenes Algas verdiazules <i>Enteromorpha</i> (alga verde)
región intermareal	Expuestas al aire dos veces cada 24 hr. el agua no supera más de 1 m de profundidad	<i>Porphyra</i> (alga roja) <i>Fucus</i> (alga parda) <i>Ulva</i> (alga verde).
	Marea expuestas al aire una sola vez cada 24 hr. la profundidad del agua puede alcanzar los 3 m	<i>Laminaria</i> (alga parda) <i>Microcladia</i> (alga roja epífita) <i>Corallina</i> (alga roja de colores brillantes que se encuentra incrustada en las rocas) <i>Nereocystis</i> (alga marina gigante que pertenece al grupo de las algas pardas)
sub-marea	agua con profundidad variable, pero no hay periodos de exposición al aire.	
	<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> 0 12 24 </div> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;">tiempo (hr.)</div>	

Jensen y Salisbury, 1998.

La línea denominada como marea, representa la distancia en la que el agua se mueve dentro y fuera de la playa en un período de 24 hrs. Las plantas pueden variar de acuerdo con la región (Jensen y Salisbury, 1988).

Las algas rojas almacenan sus reservas de alimentos fuera de los cloroplastos, en el citoplasma, a diferencia de las algas verdes que lo hacen en sus plastos. La forma de almacenamiento es la de polisacárido, denominado generalmente como almidón de florídeas, que es similar a la fracción de amilopectina de los almidones de las algas verdes, pero que se diferencia porque requiere un calentamiento prolongado para gelificarse (Dixon, 1973; Lee, 1980).

Otras sustancias de reserva de bajo peso molecular, han sido reconocidas en las algas rojas, incluyendo azúcares y glicósidos tales como trehalosa, floridiosos, isofloridiósidos, maltosa y sacarosa (Bold y Wynne, 1985). En algunas especies abundan ciertos polialcoholes.

I. A. 3. Las algas como alimentos.

Las algas han formado una parte importante de la alimentación. Las mismas han sido usadas desde hace miles de años por las poblaciones de las costas de China, Hawaii, Indonesia, Japón, Corea, Malasia, Filipinas y otros países de la región del Pacífico. Actualmente las algas están siendo reconsideradas como fuente de nutrientes por el mundo occidental.

Las algas rojas tienen además, potencial agronómico y biotecnológico. Porque han sido utilizadas como materia prima para extraer los ficocoloides.

En razón de que China posee una gran extensión de costa, es de por sí una abundante fuente natural de algas marinas. Allí, además de ser usadas como alimento, las algas también se usaron como medicina popular (Jing-wen y Wei, 1984).

Desde la antigüedad, debido a la gran zona costera y a una rica y abundante variedad de algas marinas, también los japoneses han aprovechado las ventajas de esta fuente de alimento. En efecto, restos de algas marinas tales como *Eisenia* y *Sargassum*, son a menudo encontrados mezclados con restos de huesos de pescado y algunos bivalvos pertenecientes a la prehistoria japonesa (3,000 AC) (Hunter, 1975). En Japón más de 100 especies de algas marinas han sido usadas tradicionalmente para alimento. En la actualidad, los japoneses consumen anualmente más o menos 1,6 Kg (peso seco) *per cápita*

de algas marinas tales como: *Laminaria*, *Undaria*, *Eisenia*, *Enteromorpha*, *Porphyra*, *Gelidium*, etc. Entre éstas, *Porphyra tenera*, *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida* y *Monostroma spp.*, son cultivadas actualmente en Japón en forma artificial a escala industrial, siendo la producción promedio anual, para el caso de *Porphyra*, de 130.000 toneladas (Fujiwara y col., 1984), y el consumo asciende a 50.000 toneladas de algas tanto frescas como secas, por año (Xia y Abbott, 1987).

En Europa, desde hace siglos, las algas fueron usadas como alimentos para los animales y como fertilizante (Hunter, 1975).

Según manifiesta Hunter (1975), en 1961, la cosecha mundial de algas marinas fue de 1,2 millones de toneladas métricas de peso húmedo y en 1970 aumentó a 1,7 millones de toneladas métricas y de esta cantidad, Asia habitualmente produce 72,3% del total (China produce el 35,8%; Japón, 29,5% y la República de Corea, 7,0%). Los EE.UU., producen 2,5% del total de la cosecha mundial. De acuerdo a información del año 1997 (<http://seaweed.ugc.ie>) se producen en Japón 350.000 toneladas de *Porphyra* por año con un valor de venta de un billón de dólares americanos. Esta industria ocupa a 60000 personas. En China se producen 7200 toneladas anuales de *Porphyra* seca con un valor de cerca de 30 millones de dólares americanos convirtiendo a este alga en la más valiosa cosecha obtenida por cultivo en el mar.

I. A. 4. Usos actuales de las algas.

En la actualidad, las algas están adquiriendo gran interés a nivel mundial, ya sea porque son utilizadas para obtener ficocoloides y otros productos, como también por su empleo en la alimentación humana, por los beneficios que traen para la salud. Este hábito practicado desde tiempo atrás en países orientales se está acrecentando en otras regiones y la forma de consumirlas varía de un lugar a otro. Su consumo está muy relacionado con su abundancia en la región, hábitos de consumo, idiosincrasia de la población, etc.

Las algas contribuyen a una vida saludable porque su consumo conlleva a un mantenimiento del peso, ejerciendo funciones antilipémicas, anticolesterolémicas y anticancerígenas y además, su consumo ayuda en las deficiencias de yodo (Fujiwara y col., 1984; Hunter, 1975). Los motivos para consumir las algas se encuentran en su valor nutricional, flavor, color y textura: así podemos destacar su alto contenido en fibra (Hunter, 1975). El contenido proteico de muchas de las algas marinas comestibles es de 20-25% (peso seco). Según los estudios realizados por Arasaki y Mino, (1973), pudo concluirse que las proteínas de las algas marinas poseían mayor calidad que las de las plantas terrestres superiores, pero más baja digestibilidad.

Son una excelente fuente de vitaminas A, B₁, B₂, B₆, B₁₂, C, D, E, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, ácido fólico; suministran todos los elementos traza requeridos para la nutrición humana (Fujiwara y col., 1984). El contenido de grasas es muy bajo. El flavor, que es muy bien aceptado por los habitantes asiáticos se atribuye a aminoácidos libres y la presencia de isofloridósidos.

Varios productos de algas marinas fueron comercializados localmente en la antigüedad en muchas regiones de Japón. Algunos de estos productos de algas se han continuado elaborando en el mismo estilo hasta la actualidad, utilizando como materia prima algas verdes, pardas y rojas (Nisizawa y col., 1987). Por ejemplo, se pueden citar algunos productos tales como:

- * Mikawa-wakame, producto obtenido a partir de *Undaria*, hecho en Nagoya.
- * Matumae-kombu, obtenido a partir de *Laminaria*, hecho en Aomori.
- * Hoshi-nori, obtenido a partir de *Porphyra*, hecho en Shinagawa en Tokio. Este último es el que más se ha expandido a través de Japón, hasta la fecha.

En Asia Oriental se cultivan grandes extensiones de diversas especies de *Porphyra* que son muy apreciadas como alimentos vendiéndose con el nombre de "nori" (Weberling y Schwantes, 1981). En países asiáticos se ha visto el desarrollo de pequeñas industrias donde se produce el producto

desechado en pequeña escala pero con resultados satisfactorios. Esto conlleva a una producción importante tanto económicamente como socialmente.

En la actualidad los principales productos químicos obtenidos a partir de las algas marinas son los ficocoloides como los carragenatos y ágar, que se obtienen del mucílago de las paredes celulares de varios géneros de algas rojas, por ejemplo la *Gigartina*, los cuales son muy usados en la industria alimentaria, como agentes emulsificantes y gelificantes, particularmente en la industria láctea, en cosmética y en la industria farmacéutica. En las industrias cervecera y vitivinícola se los usa como medio clarificante. El ágar es de gran utilidad en el área de microbiología, como medio de cultivo para bacterias y otros microorganismos. También las algas marinas son usadas como fertilizantes porque tienen cantidades adecuadas de potasio y nitrógeno pero, presentan bajo contenido de fosfatos; también contienen hormonas y reguladores del crecimiento (Chapman y Chapman, 1980; Lee, 1980).

El uso medicinal de las algas data desde tiempo atrás. Los extractos crudos de algunas especies contienen sustancias con propiedades antibióticas contra bacterias, hongos y virus. Un número de compuestos aislados a partir de algas marinas han mostrado poseer alguna actividad antimicrobiana. Sin embargo, no se ha intentado un programa amplio de estudio de la actividad antimicrobiana de las algas marinas

Las algas tienen potencial en el mercado, sobre todo ahora con la vuelta a los productos naturales que reclaman los consumidores y esto parece abrir mejores y nuevas posibilidades para su utilización en la dieta humana. Las algas disminuyen los riesgos de algunas enfermedades como las cardíacas (hipertensión) porque presentan baja cantidad de lípidos, no contienen colesterol, presentando además sustancias anticolesterolémicas y un elevado contenido de fibras.

Las algas también son usadas como ingrediente para alimento de animales y en la fabricación de papel, como materia prima.

I. A. 5. Composición: Las algas como fuente de fibras.

La composición de las algas está muy relacionada con el hábitat, estadio de desarrollo, temperatura, nutrientes disponibles, luz, pH, etc. Por ejemplo, el contenido de ácido ascórbico en la mayoría de las algas varía en forma muy notoria con las estaciones. A su vez, depende también de los parámetros hidrográficos y la irradiación solar así como de la disponibilidad de los nutrientes. En algunas especies un contenido de ácido ascórbico de 30 mg (ingesta diaria recomendada) puede estar disponible en 20-40 g de alga (Munda, 1987).

Las algas generalmente no son una fuente de hidratos de carbono porque el hombre, al igual que muchos animales, no poseen las enzimas necesarias para digerir la mayor parte de los materiales de las paredes celulares, como la celulosa. Lo que sí aportan son sales, así como también vitaminas y oligoelementos y, por lo tanto, son de interés por su uso como alimentos complementarios (Dixon, 1973; Lee, 1980; South y Whittick, 1987).

Las algas marinas son buena fuente de fibras. Son una fuente potencial de fibras dietarias ya que son abundantes en polisacáridos no digeribles por el hombre como ágar, carragenatos, alginatos, celulosa, etc. y, por el hecho de no poder ser éstas digeridas, no aportan calorías (Lahaye, 1991).

Las fibras dietarias son mayormente definidas como macromoléculas que son resistentes a la digestión, por acción de las enzimas humanas y están esencialmente formando las paredes celulares vegetales como es el caso de los polisacáridos y la lignina (Trowell, 1974). Se sabe actualmente, que la ingesta pobre de fibra en la dieta lleva a enfermedades digestivas, metabólicas y cardiovasculares (Burkitt, 1971). Las fibras dietarias se clasifican en dos grupos:

- * Solubles en agua: como sustancias pécticas, polisacáridos de algas, algunas hemicelulosas.
- * Insolubles en agua: como celulosa, hemicelulosas, lignina (Rhoering, 1988).

En general, los carbohidratos de las algas marinas son mayormente, almidón de florídeas, ágar y sustancias similares que contienen polímeros de galactosa.

De acuerdo a los carbohidratos de reserva y polisacáridos de la pared celular, las algas se clasifican en tres clases:

- * Algas verdes: *Chlorophyceae*, presentan como polisacárido de reserva, el almidón y los de la pared celular son celulosa, xilanos, mananos, polisacáridos iónicos sulfatados, ácidos urónicos y esencialmente ramnosa y xilosa, galactosa y arabinosa.
- * Algas pardas: *Phaeophyceae*, los polisacáridos de reserva son laminaranos y los de la pared celular son alginatos, fucanos y celulosa.
- * Algas rojas: *Rhodophyceae*, los polisacáridos de reserva son el almidón de florídeas; los de la pared celular son galactanos sulfatados (ágar, carragenatos), xilanos, mananos, galactanos, alginatos y celulosa (Bold y Wynne, 1985; Kloareg y Quatrano, 1988).

En razón de esta variedad de polisacáridos constituyentes de la pared, las algas pueden presentar distintas propiedades físico-químicas, químicas y reológicas, además de ser buena fuente de fibras que resultan beneficiosas en nutrición (Davidson, 1980; Lahaye, 1991).

La pared celular de la mayoría de las *Rhodophytas* consiste en un componente rígido interno constituido por microfibrillas de celulosa y una matriz mucilaginosa. Se ha detectado una cutícula más externa que en *Porphyra* está constituida fundamentalmente por una proteína. La matriz amorfa y mucilaginosa de la pared, en las algas rojas, es usualmente un polímero de galactano sulfatado del cual el ágar, porphyrano, furcelarano y carragenano son ejemplos. Esta fracción soluble en agua puede ser el 70% de la pared celular. Estos galactanos sulfatados son capaces de formar geles en condiciones apropiadas (Scagel y col., 1980). Tales componentes son los que le dan a las algas rojas su característica textura escurridiza y flexible (Raven y col., 1991). En el caso de *Porphyra* (género **Bangiales**) el talo tiene paredes compuestas de xilano (porción fibrilar principal) y manano (porción no fibrilar más externa).

Yanagisawa y col. (1963) evaluaron la textura de *Porphyra tenera* por medios sensoriales e instrumentales, observando una buena correlación entre la resistencia y el contenido de porphyranos.

Tabla I - 1

Resumen de algunas características de las algas rojas.

Caracteres celulares	Morfología	Flagelos	Polisacáridos de la pared celular	Pigmentos	Productos de reserva
Células eucariontes, en general uninucleadas. Tilacoides dentro de cloroplastos (^)	Gran diversidad: desde células individuales hasta plantas complejas pero no masivas (^)	Carecen de células móviles. Ausencia de cualquier estado flagelar (*)	Tipo insoluble en agua como: celulosa, xilano, manano; y soluble en agua: sulfato galactanos (agar-agar y carragenano). (^)	Clorofila a, β -caroteno, xantófilas, ficoeritrina, ficocianina (*)	Almidón de florídeas, azúcares, trehalosa, isofloridiosidos, maltosa y sacarosa. (^)

(*): Bold y Wynne, 1985

(^): Jensen y col., 1988.

I. A. 6. *Porphyra*.

Las algas rojas son casi todas multicelulares formando talos bien desarrollados y que están compuestos por filamentos compactos o separados sin mucha diferenciación en sus tejidos.

Porphyra spp. (alga púrpura comestible) es un género de alga roja cosmopolita que en Japón se conoce como "*nori*". Es una de las algas comestibles más importantes. En Japón incluye más de 10 especies pero, pocas de ellas han servido como alimento comercial (Nisizawa, 1987). En China, donde también es consumido como alimento se le conoce como "*zical*" y en Nueva Zelanda, a la *Porphyra columbina* se le conoce como "*karengo*" (Friedlander y col., 1989). La *Porphyra columbina* pertenece al tipo foliáceo: en

él las células se dividen según dos o tres planos para formar un talo de crecimiento complejo el cual es una lámina plana de una o dos células de grosor y de varios centímetros de largo. Las células del talo son cúbicas o elipsoidales y, están embebidas en una matriz gelatinosa y muy resistente. Posee uno o dos cloroplastos estrellados y el núcleo pequeño yace al lado del cloroplasto o entre ambos cloroplastos. El talo varía de color desde olivo-pardo oscuro a color rosado o rojo oscuro, de acuerdo con la cantidad y proporción de los pigmentos. Las especies rojas o rosas contienen más ficoeritrina y se encuentran en niveles más bajos de la zona de mareas. El talo puede estar fijo al sustrato mediante unos pocos filamentos rizoidales pluricelulares basales (pie fijador) originados a partir de un cierto número de células existentes en su base. En las algas rojas no se encuentran nunca células flageladas (Fajardo, 1998).

Antiguamente el alga roja *Porphyra tenera* fue la más usada en Asia pero, *Porphyra yezoensis*, gradualmente ha tomado su lugar y todos los productos de algas en el presente están hechos de esta especie (Nisizawa y col., 1987).

En Sudamérica, es consumida mayormente en el Sur de Chile y se le conoce como "luche". Su forma de consumo es en estado precocido, en forma de panes, y se la consume en sopas, ensaladas o guisos (Pak y Araya, 1996).

Varios productos procesados son hechos a partir de nori: cuando es secada y tostada se la conoce como "*yaki-nori*"; cuando sólo son secadas el producto se conoce como "*hoshi-nori*"; cuando es sazonada es "*ajitsuke-nori*", cuando es hervida en salsa de soja, es "*tsukudani-nori*" (Nisizawa y col., 1987). Pero también a partir de *Porphyra* se preparan mermeladas, quesos, sopas, vinos que en la actualidad están en el mercado. En Occidente, el "*nori*" además de ser consumido como "*sushi*" también es consumido bajo la forma de sándwichs, como escamas para condimentar, como ingredientes de sopas y otros platos (Hunter, 1975). Es usada en la elaboración de sopas por su suave "flavor".

I. A. 6. 1. Valor nutritivo de *Porphyra*.

Varias especies de *Porphyra (nori)* contienen cantidades significativas de proteínas, minerales y vitaminas esenciales para la nutrición humana (Levring y col., 1969). En la Tabla I-2 podemos observar la composición de *Porphyra* y de Hoshi-nori de acuerdo a distintas fuentes bibliográficas.

El contenido de vitamina A de *Porphyra tenera* china, está entre los rangos de 22600 a 44600 UI (unidades internacionales). El valor promedio es 67 veces más alto que en los huevos.

El contenido de vitamina C es 1,5 veces más que el de las naranjas (Noda e Iwata, 1978; Chapman y Chapman, 1980).

La *Porphyra tenera* es una buena fuente de calcio, fósforo y hierro. Tiene efecto anticolesterolémico por lo que es recomendable como parte de dietas para combatir los depósitos grasos en vasos sanguíneos (Xia y Abbott, 1987).

Tabla I - 2

Composición de *Porphyra* y algunos productos derivados del alga.

Componentes	<i>Porphyra</i> spp. ¹	<i>Porphyra columbina</i> ²	<i>Hoshi-nori</i> (de <i>Porphyra</i> spp.) ³
Macrocomponentes (g/100 g b. s.)			
Agua	614,28	10,4	
Proteínas	33-47	31,08	43,60
Fibra insoluble		23,86	
Fibra soluble		18,28	
Fibra total		42,14	2,00
Carbohidratos	40		46,4
Lípidos	0,70	0,26	2,10
Cenizas (g/100 g b. s.)	8-16	18,06	7,80
Minerales (mg/100 g b. s.)			
Ca		79-108	440
P		245-270	650
Fe		4,3-23,0	13
Na		1010-5780	570
K	3300	1310-2400	2400
Cu			1,47
I ₂	0,5		
Mg	2000	440-670	
Zn		1,1-3,7	10,0
Se			0,08
Vitaminas (mg/100 g b. s.)			
A			16000(UI)
B ₁			1,29
B ₂			3,82
Niacina			11,0
B ₆			1,40
B ₁₂			0,029
C	295-451		112,5

Referencias: b. s.: base seca.

¹: Arasaki y Arasaki, 1983; Nisizawa y col. , 1987; Levring y col. , 1969.

²: Fajardo, 1998 (Recolección: mes de Septiembre; procesamiento: algas lavadas con agua de mar y secadas extendidas a 20 -25°C durante 24 hrs.).

³: Nisizawa y col., 1987.

Porphyra tenera, tiene un contenido de proteínas similar al de la soja (30-50% base seca) y 6 veces más alto que el arroz, 3 veces más que el trigo y 1,7 veces más que la carne por unidad de peso (Hunter, 1975).

De acuerdo con Fajardo (1998) la *Porphyra* es, entre las algas que se utilizan para la alimentación, la de mayor contenido de nitrógeno, por lo cual

representa una fuente importante de proteínas. Los resultados reportados por esta investigadora han evidenciado en la *Porphyra columbina* de la costa patagónica, un elevado contenido de nitrógeno que presentó valores de 2,51-4,66 g/100 g de algas comestibles secas.

El patrón de aminoácidos libres y proteicos de *Porphyra* es aproximadamente similar al patrón de los vegetales (ricos en alanina, ácido aspártico, ácido glutámico y glicina), aunque los contenidos promedio varían ampliamente (Noda y col., 1981). Sin embargo, *Porphyra* característicamente contiene una elevada cantidad de arginina, un aminoácido básico que en general es elevado en proteína animal. En contraste, el contenido del aminoácido esencial lisina, es más bajo. En este aspecto, el alga puede ser más bien similar a los vegetales comunes en su valor nutritivo.

Tabla I - 3

Cálculo del porcentaje de presencia de distintos aminoácidos en *Porphyra columbina* en relación a los requerimientos del preescolar (recolección: mes de septiembre).¹

Aminoácido	Porcentaje de presencia
Histidina	51
Isoleucina	> 100
Leucina	> 100
Lisina	> 100
Azufrados	76,4
Fenilalanina + Tirosina	56
Treonina	> 100
Triptofano	
Valina	>100

¹ Fajardo, 1998.

Como se puede observar en la Tabla I-3, el primer aminoácido limitante para las muestras de septiembre es la histidina. Los aminoácidos aromáticos se visualizan como segundos limitantes (Fajardo, 1998).

I. A. 6. 2. Otras sustancias biológicamente activas de *Porphyra*.

Este alga púrpura contiene un polisacárido sulfatado llamado porphyrano, el cual es un galactano complejo. Su estructura química es muy parecida a los polisacáridos sulfatados de otras algas rojas. Todas son similares en cuanto a su estructura química al ágar, excepto por su alto contenido de metoxilo y éster sulfato. La actividad fisiológica del porphyrano en el organismo no está del todo clara, pero de acuerdo a bibliografía:

- * Una de las fracciones del mismo presenta una alta capacidad gelificante e inhibe el crecimiento de tumores implantados en ratones (Hirase y Watanabe, 1972).
- * El alga púrpura deshidratada en polvo, mezclada con una dieta básica a una concentración del 2% y administrada oralmente a ratas, previene la carcinogénesis intestinal. Y esto parece ser debido al contenido de porphyrano en la dieta (al menos de 0,4-0,5%).
- * *Porphyra* también presenta una sustancia llamada porphyosina que tiene actividad previniendo la presencia de úlceras (Nisizawa y col., 1987).

De acuerdo con Fajardo (1998), existen variaciones mensuales y anuales encontradas en la composición de algas *Porphyra columbina*, las cuales confirman las descritas en literatura y son una expresión del ciclo vital de las algas y de los factores ambientales. En la etapa de mayor crecimiento, el alga se presenta con forma de láminas largas, grandes, con bordes rojos y áreas internas amarillas. Posteriormente comienza el período de activa reproducción y las formas adultas parecen deshilacharse, dejando una estructura de hidrocoloide transparente en los bordes al perder las carposporas germinativas que luego se transformarán en organismos nuevos. La etapa reproductiva tiene lugar al finalizar el invierno y comenzar la primavera, variando de un año al otro según factores climáticos, regionales y de latitud geográfica. Es así, que las diferencias en la composición, son el resultado del balance entre una serie de procesos reproductivos, relacionados con el gasto de energía. El aumento de la productividad de muchas algas en primavera se debería a que, en esta época, aumenta la irradiación más rápidamente que la temperatura, con lo que el balance entre fotosíntesis y respiración se inclina a favor de la primera, dando como resultado una mayor productividad neta.

I. A. 6. 3. Ubicación taxonómica de *Porphyra*.

La *Porphyra spp* pertenece a una de las subclases de *Rhodophyceae* más concretamente a la subclase *Bangiophyceae*.

Reino: Plantae

División /Phylum: *Rhodophytas*

Clase: *Rhodophyceae*

Subclase:

A. Bangiophyceae

1. Orden Porphyridiales
 - 1.1. *Porphyridium purpureum*
 - 1.2. *Cyanidium caldarium*
2. Orden Compsopogonales
 - 2.1. *Compsopogon*
3. Orden Bangiales
 - 3.1. *Porphyra spp.*

B. Florideophyceae

1. Orden Acrochaetiales
 - 1.1. *Audouinella*
2. Orden Palmariales
 - 2.1. *Palmaria palmata*
3. Orden Nemaliales
4. Orden Batrachospermales
 - 4.1. *Batrachospermum*
5. Orden Corallinales
 - 5.1. *Lithophyllum*
 - 5.2. *Corallina*
6. Orden Gelidiales
 - 6.1. *Gelidium*
7. Orden Gigartinales
 - 7.1. *Chondrus crispus*

8. Orden Rhodymeniales

9. Orden Ceramiales

9.1. *Polysiphonia*

I. A. 7. *Hoshi-nori*.

En diversos lugares del mundo, especialmente en Oriente, la gente consume algas rojas y pardas. En los países asiáticos consumen *Porphyra* (*nori*), alga roja que se ha cultivado en Japón y China durante siglos (Ravén y col., 1991). Este alga es cultivada en las costas marinas de Asia oriental, en redes colgantes soportadas dentro del agua (Strasburger y col., 1983).



Hoshi-nori es el nombre popular del "*nori*" seco, que se asemeja a hojas de papel delgadas, cuyo espesor es de alrededor de 0,2 mm. Las mismas se apilan formando entre 10 a 20 capas de talos (Ogawa y col; 1991a). Con frecuencia se emplea "*nori*" para envolver trozos de pescado o carne cubiertos por arroz, plato conocido como "*sushi*".



Casi toda la *Porphyra* cultivada actualmente es elaborada automáticamente en la forma de hojas secas o *hoshi-nori*. Para ello, después de que las algas son cosechadas de los lugares de cultivo, los talos se lavan completamente con agua de mar para remover cualquier contaminante, se cortan en piezas de tamaño apropiado con una cuchilla. Una cantidad determinada de suspensión de talos es volcada dentro de un armazón metálico con una red plástica en el fondo para producir hojas individuales de talos superpuestos. Luego las hojas-talos son secadas junto con el armazón metálico en una cámara con aire caliente, y un número de hojas son removidas y empacadas en capas delgadas de acuerdo a su calidad aparente. El tamaño estándar del producto es de 21 cm x 19 cm.

El peso promedio de una hoja de calidad superior es aproximadamente de 3 g y corresponde a alrededor del 8% del peso húmedo inicial de hojas-talos. El *hoshi-nori* de elevada calidad es grueso y de una apariencia negra brillante (Nisizawa y col., 1987).

I. A. 7. 1. Valor nutritivo de productos nori.

Tal como se aprecia en la Tabla I-2, el valor nutritivo de *hoshi-nori* es casi tan alto como el del alga comestible fresca, por que es procesado bajo condiciones controladas. No sólo contiene proteínas en un 25- 50% de su peso seco, sino que también presenta varias vitaminas y minerales esenciales (Noda e Iwata, 1978).

El contenido de proteínas varía ampliamente dependiendo de la muestra, y eso parece especificar la calidad del alga. Sin embargo, la calidad comercial del *hoshi-nori* es generalmente evaluado sobre la base de propiedades aparentes. *Hoshi-nori* se clasifica en varios grados y éstos son evaluados de acuerdo a las propiedades visuales, por ejemplo, un color negro intenso, buena apariencia, superficie poco porosa y otras. Los consumidores de *hoshi-nori* consideran que un color negro intenso y una buena apariencia están relacionados con un agradable sabor (Ogawa y col., 1991b; Nisizawa y col., 1987). La textura va a depender del tipo de cultivo y el período de cosecha.

* **Proteínas y aminoácidos.**

El sabor característico de *hoshi-nori*, el cual es aceptado por la mayoría de los japoneses, es causado por la coexistencia de cantidades relativamente grandes de alanina, ácido glutámico y glicina. Además *hoshi-nori* contiene cantidades abundantes de taurina (más de 1,2%) (Noda y col., 1975) la cual es conocida por ser beneficiosa para la actividad hepática, previniendo la presencia de cálculos biliares y controlando el nivel del colesterol en sangre. El contenido de taurina es relativamente constante en algas sin tener en cuenta la estación y hábitat (Nisizawa y col., 1987).

* **Lípidos.**

El contenido de lípidos de *hoshi-nori* es únicamente del 2-3%, pero es relativamente rico en ácidos grasos insaturados. Los ácidos linoleico, linolénico y araquidónico constituyen algo más del 10% del total de los ácidos grasos, mientras que el ácido araquídico puede estar cercano a 50%. Se ha calculado que una hoja de *hoshi-nori* (3 g) contiene 30-45 mg de éste ácido. Este ácido graso es interesante porque es más efectivo que el ácido araquidónico en la prevención de la arteriosclerosis (Dyerberg y Bang, 1979). También se ha mostrado que es precursor de la prostaglandinas "in vivo", las cuales actúan como moduladores de la actividad hormonal, estimulan la contracción de los músculos de fibra lisa, provocan el descenso de la presión sanguínea y se oponen a la acción de hormonas tales como la vasopresina (Nisizawa y col., 1987).

* **Vitaminas.**

El *hoshi-nori* tiene un contenido de vitamina A comparable al de la espinaca y contiene más vitamina C que las naranjas. El contenido de vitaminas del grupo B son en general, elevadas, siendo particularmente notable el contenido de B₁₂, que está a un nivel comparable al presente en las vísceras de mamíferos.

* **Minerales.**

El hoshi-nori contiene cantidades relativamente elevadas de elementos traza esenciales. Particularmente es elevado su contenido de Zn, el cual es esencial para varias enzimas, como la anhidrasa carbónica, carboxipeptidasa, fosfatasa alcalina y varias deshidrogenasas. También presenta Mn, Cu, Se, que son esenciales para el organismo (Nisizawa y col., 1987).

* **Carbohidratos.**

Los carbohidratos forman parte de los constituyentes orgánicos en las algas. En el caso de las algas rojas son mayoritariamente ágar, almidón de florídeas y sustancias similares que contiene galactosa (Subba, 1965), los cuales también están presentes en el hoshi-nori.

I. B. Actividad de agua (a_w).

El agua tiene un rol de gran importancia en la estabilidad de los alimentos, frescos, congelados y desecados, ya que participa en las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas, actuando además como disolvente.

El contenido y estado físico del agua en los alimentos influye en las características físicas, químicas, de calidad, seguridad y funcionales de los componentes de los alimentos (Kinsella y Fox, 1986)

En realidad, es el agua disponible para la actividad bioquímica, enzimática o microbiana, la que determina la vida útil de un producto y esto es lo que se conoce como "actividad de agua" (a_w). Por tal motivo, el objetivo de muchas operaciones unitarias involucradas en la preservación de los alimentos como la deshidratación, liofilización, evaporación, etc., es reducir el agua disponible ya sea eliminándola del alimento o volviéndola no disponible (Fellows, 1994; Lewis, 1993).

Cuando se disuelve un soluto no volátil en un solvente, ocurren determinadas modificaciones en las propiedades de éste. La solución obtenida tiene un punto de fusión más bajo, un punto de ebullición más alto y una presión de vapor más baja que los del solvente puro. Estos cambios pueden

interpretarse como indicativos de un aumento de las fuerzas intermoleculares entre las moléculas del solvente, debido a la interacción con las moléculas o iones del soluto. La ley de Raoult cuantifica estos fenómenos, para el caso de un soluto ideal, al expresar que la disminución relativa en la presión de vapor del solvente, es igual a la fracción molar del soluto agregado:

$$\frac{p_o - p}{p_o} = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad (1)$$

Donde :

$p_o - p/p_o$: Es el descenso relativo de la presión de vapor para la solución dada, p_o y p son las presiones de vapor del solvente en el solvente puro y en la solución, respectivamente, y n_1 , n_2 : son los números de moles del soluto y solvente, respectivamente.

La expresión anterior puede transformarse a la forma:

$$\frac{p}{p_o} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \quad (2)$$

Es decir, que la presión de vapor relativa del solvente en la solución es igual a la fracción molar del solvente.

La actividad de agua (a_w) es el cociente entre la presión de vapor ejercida por el agua en un determinado sistema y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura:

$$a_w = \left(\frac{p}{p_o} \right)_T = \frac{HR}{100} \quad (3)$$

Donde:

p : presión de vapor ejercida por el agua presente en el sistema
 p_o : presión de vapor del agua pura a la misma temperatura, T.
 HR : humedad relativa porcentual.

Los productos alimenticios expuestos al aire atmosférico, por un período determinado, adsorben o desorben humedad llegando a una condición de

equilibrio con el medio cuando ambas actividades acuosas se igualan (Shepherd y Bhardwaj, 1986).

Los valores de a_w de los alimentos oscilan entre valores cercanos a cero para alimentos secos y cercanos a uno para alimentos en los que el agua está altamente disponible, como es el caso de la mayoría de frutas, vegetales, carne y de la leche.

I. B. 1. Cálculo de la actividad acuosa (a_w).

El agua es el principal constituyente de los alimentos frescos representando entre el 75 y 95% del peso de los mismos. La actividad de agua de los alimentos puede ser predicha conociendo sus principales constituyentes y sus proporciones relativas respecto al agua contenida en dicho alimento.

Para predecir la actividad de agua de electrolitos se puede usar la ecuación de Raoult (Glasstone y Lewis, 1962) hasta valores de $a_w \sim 0,88$ o la de Pitzer (1973). La actividad de agua de no-electrolitos se suele calcular con la ecuación de Norrish (1966).

Ross (1975) propuso una ecuación simple para calcular la a_w de soluciones múltiples. Esta ecuación está basada en la relación de Gibbs-Duhem y puede ser escrita como:

$$(a_w)_f = (a_w^0)_1 (a_w^0)_2 (a_w^0)_3 \dots_n \quad (4)$$

Donde los subíndices (1 a n) identifican la actividad acuosa de cada componente del sistema.

Esta ecuación asume que, en un sistema alimenticio cada componente interviene disminuyendo la a_w en forma independiente. Es decir, que cada componente actúa como si fuera el único en el sistema. La a_w final (a_{wf}) es el producto de la a_w de cada uno de los componentes calculados basándose en su disolución en toda el agua del sistema.

I. B. 2. Isotermas de sorción.

El contenido de humedad de equilibrio es el contenido de humedad de un material después de que ha sido expuesto y se ha equilibrado en un medio caracterizado por una dada humedad relativa (HR) (Brooker y col., 1974).

La isoterma de sorción es la curva que indica, en el equilibrio y para una temperatura determinada, la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa de la atmósfera que le rodea (Cheftel y col., 1983; Shepherd y Bhardwaj, 1986).

Uno de los objetivos principales de la tecnología de los alimentos es garantizar la conservación de los productos, mediante la inhibición o el retardo de los procesos deteriorativos que limitan su vida útil. El deterioro de los alimentos puede ser de origen físico, químico o biológico y puede afectar el valor nutricional, las características organolépticas y/o la inocuidad del alimento.

Existen numerosas evidencias de la relación entre el deterioro causado por microorganismos y la presencia de agua. En general, cuanto menor es el contenido de agua de un alimento, tanto mejor resistirá el deterioro causado por microorganismos. Sin embargo, no es simplemente la presencia o no de agua la que decide la intensidad y rapidez del ataque por parte de los microorganismos: alimentos como la miel, mermeladas, jaleas, etc. y algunos quesos y productos cárnicos que contienen agua en una proporción apreciable, son estables a temperatura ambiente. El factor común es, en este caso, la presencia de grandes concentraciones de solutos en el agua constituyente del alimento, lo que la hace menos disponible para reacciones de deterioro. Existen numerosos estudios de esta problemática, los cuales muestran claramente las relaciones del agua disponible con la vida útil de los alimentos. Las isotermas de sorción de vapor de agua son herramientas termodinámicas útiles para el estudio de la dinámica del secado. Ellas permiten determinar interacciones entre el agua y las sustancias osmóticamente activas del alimento y evaluar la estabilidad de este último (Shepherd y Bhardwaj, 1986).

Los requerimientos para el empaquetamiento, así como las características de almacenamiento de los productos desecados pueden ser predichos a partir de su isoterma de sorción. Como la a_w influye en la

estabilidad del producto y/o sus características organolépticas, tales como textura, las isotermas de sorción pueden ser usadas para determinar el contenido de humedad óptima de los productos deshidratados (Mir y Nath, 1995).

Las isotermas de sorción también pueden ser usadas para investigar las características estructurales de un producto alimenticio tales como área superficial específica; tamaño, volumen y distribución de poro y cristalinidad en función de la humedad. Tales datos pueden ser usados para seleccionar condiciones apropiadas de almacenamiento y sistemas de empaquetamiento que optimicen o maximicen la retención de aroma, color, textura, nutrientes y estabilidad biológica (Labuza y col., 1972; Rockland y Stewart, 1981; Lazarides y col., 1995).

I. B. 3. Modelos matemáticos del comportamiento sorcional.

Numerosos modelos matemáticos han sido propuestos para describir las isotermas de sorción de materiales alimenticios. Tales modelos son muy útiles en el proceso de deshidratación para evaluar la actividad acuosa a alcanzar para asegurar la vida útil del producto; para seleccionar materiales de empaquetamiento, definir las condiciones de almacenamiento, etc. Además las ecuaciones son útiles para elucidar fenómenos termodinámicos. Pero, pocos modelos proporcionan predicciones exactas de datos de sorción de agua en el rango completo de a_w , lo que quiere decir que la sorción es un fenómeno complejo, que involucra muchas interacciones, pudiendo cambiar la naturaleza y mecanismos de las mismas con la composición del material y el contenido de agua (Kinsella y Fox, 1986).

Numerosos modelos matemáticos de sorción de agua los cuales incluyen dos o más parámetros han sido usados para predecir la sorción. Los modelos con más de tres parámetros suelen ser demasiado complicados desde un punto de vista práctico y los parámetros, de difícil interpretación física (van den Berg y Bruin, 1981). Estos modelos son empíricos, semi-empíricos o teóricos. Así, el modelo de Henderson (1952) es empírico, el de Mizrahi es estadístico (Mizrahi y col., 1970) y el de Oswin (1946) está basado en una

expansión en serie para curvas sigmoideas. Muchos otros modelos (BET, Bradley y Halsey) son teóricos y están basados en alguna teoría particular de sorción (Brunauer y col., 1938; Bradley, 1936; Halsey, 1948; van den Berg y Bruin, 1981). Wang y Brennan (1991) ajustaron siete modelos matemáticos (GAB, Chen, Oswin, Chung-Pfost, Halsey, Henderson y BET) para los datos de sorción de rodajas de papa liofilizadas.

Boquet y col., 1978, reportaron que en el rango de a_w de 0,1 a 0,9 la ecuación de Halsey mostró un buen ajuste para los datos de isothermas de sorción de queso y yogurt, mientras que las ecuaciones de Oswin y Henderson no convienen para isothermas de sorción de proteínas globulares (Kinsella y Fox, 1986).

En estos modelos la posible extrapolación no tiene en cuenta los cambios en sorción de agua y en comportamiento debido a cambios estructurales y transiciones de fase.

A continuación se muestran las expresiones matemáticas de los modelos precitados:

Bradley

$$a_w = e^{-K_2 K_1^m} \quad (5)$$

K_2 y K_1 , constantes.

Halsey

$$a_w = e^{-\frac{a^n}{m^r}} \quad (6)$$

a , n y r , constantes

Henderson

$$a_w = 1 - e^{-km^n} \quad (7)$$

k y n , constantes.

Oswin

$$m = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^n \quad (8)$$

a y n , constantes.

m : humedad (g/100 g de base seca).

a_w : actividad de agua .

BET: Brunauer y col. , 1938; van den Berg y Bruin, 1981.

Bradley: Bradley, 1936; Chirife e Iglesias, 1978; van den Berg y Bruin, 1981.

Halsey: Halsey, 1948; Iglesias y Chirife, 1976.

Henderson: Henderson, 1952; Chirife e Iglesias, 1978.

Oswin: Oswin, 1946; Chirife e Iglesias, 1978 (Jouppila y Roos, 1997).

I. B. 3. 1. Modelo BET.

La mayoría de las isothermas de los alimentos dan formas sigmoidea tipo II, característico de sorción en multicapas. Brunauer y col., (1938), desarrollaron la teoría básica para explicar la isoterma de sorción sigmoidea. Ésta se basa en la teoría de adsorción superficial de Langmuir, que postula toda una región de sitios de fijación independiente sobre la superficie del material, el cual sorbe las moléculas de agua en el rango de bajas humedades relativas vía quimisorción o fijación. Al aumentar la humedad relativa de equilibrio, las moléculas de agua adicionales son sorbidas, pero a través de enlaces más "débiles" que los de la primera capa, los cuales se realizan vía enlace H e interacciones dipolo-dipolo (Kinsella y Fox, 1986).

Esta ecuación es una de las más conocidas, ajustando el comportamiento en el rango de a_w que va de 0,05 a 0,35. De ella se pueden obtener los parámetros m_m y C , siendo m_m la humedad de monocapa, que permite estimar la cantidad de agua ligada a sitios polares específicos en alimentos deshidratados, la cual disminuye con el aumento de temperatura.

Este modelo puede escribirse de la siguiente forma:

$$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot m} = \frac{1}{m_m \cdot C} + \frac{a_w (C - 1)}{m_m \cdot C} \quad (9)$$

m : humedad (g agua/100 g de base seca).

m_m : humedad de monocapa (g agua/100 g de base seca).

C : constante termodinámica relacionada con el calor de sorción de la monocapa.

a_w : actividad acuosa (Brunauer y col., 1938).

I. B. 3. 2. Ecuación GAB.

Esta ecuación ha sido sugerida como la que mejor describe las isothermas de sorción de agua de tipo II para muchos alimentos. Esta ecuación derivada independientemente por Guggenheim (1966), Anderson (1946) y de

Boer (1953), es aceptada como el modelo de sorción más versátil de los citados en la bibliografía y ha sido subsecuentemente adaptado por varios investigadores europeos (van den Berg y Bruin, 1981).

Las mayores ventajas de la ecuación GAB estriban en que: **a)** dicha ecuación cuenta con una adecuada base teórica, **b)** posee sólo tres parámetros, los cuales tienen significado físico y **c)** es capaz de describir satisfactoriamente la sorción de vapor de agua en un gran número de productos naturales hasta valores de actividad de agua cercanas a 0,90.

La ecuación GAB suele expresarse corrientemente de la siguiente forma (Weisser, 1985):

$$\frac{m}{m_m} = \frac{Cka_w}{(1-ka_w)(1-ka_w + Cka_w)} \quad (10)$$

Donde m y m_m son los contenidos de humedad de equilibrio y de monocapa, respectivamente, a_w es la actividad de agua y C y k son parámetros vinculados con el efecto de la temperatura en el equilibrio sorcional. Los parámetros C y k se vinculan con la temperatura de equilibrio mediante las siguientes expresiones (van den Berg y Bruin, 1981):

$$C = C_0 \exp\left(\frac{\Delta H_c}{RT}\right) \quad (11)$$

$$k = k_0 \exp\left(\frac{\Delta H_k}{RT}\right) \quad (12)$$

Donde T es la temperatura absoluta expresada en °K; R es la constante universal de los gases, expresada en J/mol °K; ΔH_c y ΔH_k representan las entalpías de sorción correspondientes al agua adsorbida en la primera capa y

capas subsiguientes, respectivamente. La constante k hace referencia al estado del agua adsorbida en la región de multicapa, mientras que la constante C tiene idéntico significado al que cobra en la teoría BET.

La ecuación GAB es, entonces, una extensión del modelo BET de dos parámetros (m_m , C) tomando en consideración las propiedades modificadas del sorbato en la región de multicapas.

Una importante limitación de la ecuación de GAB es que en el desarrollo de la misma se supone que la superficie de sorción es plana, de manera que no existen impedimentos geométricos al agua adsorbida. Dicho de otra forma, de acuerdo con dicho modelo, las capas de agua adsorbida podrían crecer indefinidamente sin que exista restricción alguna a este crecimiento. Esta suposición es compartida por la teoría de BET, lo que conlleva a este modelo a predecir una mayor capacidad de adsorción que la experimentalmente observable, particularmente para a_w mayores que 0,35, región en la que predomina la adsorción en multicapa. Últimamente, Ruegg y Moor (1984), encontraron que la isoterma de sorción de proteínas lácteas; es mejor descrita por la ecuación cuadrática de tres parámetros de Hailwood y Horrobin (1946) que es muy similar a la ecuación de GAB.

La ecuación GAB puede transformarse a una ecuación cuadrática para obtener los coeficientes α , β , γ y, a partir de estos, poder calcular las constantes de GAB (m_m , C y k).

$$\frac{a_w}{m} = \gamma + \beta \cdot a_w + \alpha \cdot (a_w)^2 \quad (13)$$

$$a_w = m \left(\alpha a_w^2 + \beta a_w + \gamma \right) \quad (14)$$

$$\gamma = \frac{1}{m_m \cdot C \cdot K} \quad (15)$$

$$\beta = \frac{1 - \frac{2}{c}}{m_m} \quad (16)$$

$$\alpha = \left(\frac{1}{C} - 1 \right) \cdot \frac{K}{m_m} \quad (17)$$

I. B. 3. 3. Modelo de Oswin.

Oswin (1946) desarrolló ésta ecuación sobre la base de una expansión en serie para curvas sigmoideas.

$$m = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^n \quad (18)$$

m: humedad (g agua/ 100 g base seca)
 a_w : actividad acuosa.
a y n: constantes de la ecuación.

I. C. Deshidratación.

La conservación de alimentos por deshidratación se basa en la reducción de la actividad de agua (a_w) para inhibir el desarrollo de microorganismos, así como otras formas de deterioro. La deshidratación reduce también el peso y el volumen, lo que disminuye los gastos de transporte y almacenamiento, sirviendo también para poner al alcance del consumidor la mayor variedad de alimentos, además de su cómoda utilización.

La deshidratación altera, en cierto grado, tanto las características organolépticas como el valor nutritivo de los alimentos. Uno de los objetivos en el diseño y manejo de las instalaciones de deshidratación consiste en conseguir reducir al mínimo las modificaciones que los alimentos experimentan durante el proceso, utilizando para ello las condiciones adecuadas para cada alimento en particular (Fellows, 1994).

La deshidratación en corriente de aire es una operación simple y económica. Los principales problemas asociados con ella son el encogimiento causado por el colapso celular, las pobres características de rehidratación del producto seco y los cambios desfavorables en el color, textura, "flavor" y valor nutritivo (Achantá y Okos, 1995).

Diferentes autores han reportado cambios asociados a la deshidratación tales como la modificación de la cristalinidad de la pared celular, desorganización de las microfibrillas de celulosa y ruptura de la laminilla media, pérdida de la funcionalidad del plasmalema debido al estrés osmótico con pérdida del turgor, ruptura de membranas, gelatinización del almidón y fusión y redistribución de grasas (Achanta y Okos, 1995; Álvarez y col., 1995; Alzamora y col., 1997).

Se ha sugerido la realización de pretratamientos a los alimentos sólidos a ser deshidratados en corriente de aire, para otorgar mayor calidad al producto final y/o reducir el contenido de agua a eliminar en el secadero. Las modificaciones indeseables del color y la apariencia pueden ser disminuidos por la aplicación de pretratamientos apropiados tales como: el sulfitado, el tratamiento térmico para destruir enzimas o una deshidratación previa por inmersión en soluciones concentradas de sal y/o azúcares u otros solutos (Álvarez y col., 1995).

Los datos obtenidos durante la deshidratación de un material se representan, en general, graficando el contenido de humedad promedio m^* , o la velocidad de secado dm^*/dt , en función del tiempo, t .

Cuando el secado se realiza en corriente de aire bajo condiciones de operación (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) constantes se distinguen generalmente dos fases: un período de velocidad constante y uno o más períodos de velocidad decreciente.

En el período de velocidad de secado constante el agua que se evapora de la superficie del producto es agua libre que es renovada rápidamente por el flujo capilar de agua libre interna a través de los poros del material.

La resistencia a la transferencia de masa está controlada por la etapa de difusión del vapor de agua desde la superficie del sólido húmedo hacia el seno del aire a través de la película externa. La superficie de la placa tiene un contenido de humedad tal que la presión de vapor de agua en la superficie del alimento es igual a la presión de vapor del agua pura ($p = p_0$) a la temperatura de superficie (que coincide con la temperatura de bulbo húmedo sino hay efectos de conducción a través del sólido y/o de radiación).

La velocidad de secado durante éste período se mantiene constante siempre que la relación entre los coeficientes de transferencia de calor y masa y el área expuesta al medio no varíen durante el proceso. Este período se extiende hasta que el contenido de humedad promedio de la placa llega a un

valor conocido como contenido de humedad crítica (m_c). A partir de este punto, la migración del agua dentro del alimento es insuficiente para saturar la superficie. Los valores de m_c son característicos de cada alimento pero además dependen de otros factores, tales como el régimen de secado y el espesor del sólido.

El período de velocidad de secado constante es seguido, así, por el primer período de velocidad de secado decreciente. En este período, a diferencia del anterior, la velocidad de secado disminuye a medida que la presión de vapor de la humedad remanente en el producto se aproxima a la presión de vapor de equilibrio con el aire circundante. El fenómeno que limita la velocidad de secado es la transferencia de agua o de vapor desde el interior a la superficie del producto. Como baja la concentración de humedad por el secado, decrece el régimen del movimiento interno de humedad, dando lugar a la aparición de una segunda etapa de velocidad de secado decreciente. En ella puede tener lugar una evaporación debajo de la superficie del sólido, en un plano o zona que se aparta más de la superficie a medida que el secado continúa. Cuando el contenido de humedad del sólido cae al valor de equilibrio con la humedad del aire, el secado cesa (Treybal, 1970).

I. C. 1. Modelos matemáticos del secado: Secado en capa delgada.

Los modelos habitualmente reseñados y/o usados en bibliografía para describir el secado en corriente de aire de materiales biológicos pueden ser teóricos o empíricos (Chirife y col., 1983).

Las correlaciones empíricas se usan para modelar la cinética de secado debido a la simplicidad matemática de las mismas y, por otro lado, a las grandes dificultades encontradas por muchos investigadores para aplicar los modelos teóricos al secado de granos.

Estos modelos se basan, por lo general, en la ecuación propuesta por Lewis (1921), en la cual la variación de la humedad del sólido se da a través de una ley exponencial decreciente.

Esta ecuación ha sido la base de un gran número de ecuaciones empíricas. En particular, la ecuación de Page (1949) ha sido usada en diversos granos con buenos resultados.

I. C. 1. 1. Modelo simple exponencial.

La ecuación simple exponencial fue propuesta por distintos investigadores según refieren Bala y Woods, 1992 y Madamba y col., 1994, para describir las características del secado en capa delgada de productos biológicos como trigo, arroz, cebada, maíz, etc.

El modelo simple exponencial responde a la siguiente ecuación:

$$m^* = \frac{m - m_e}{m_i - m_e} e^{-kt} \quad (19)$$

m : contenido de humedad al tiempo t (g agua/g base seca)
 m_i : contenido de humedad inicial (g agua/g base seca)
 m_e : contenido de humedad en equilibrio (g agua/g base seca)
 t : tiempo de secado (min.)
 k : constante de la ecuación (min^{-1})
(Sokhansanj y Patil, 1996)

I. C. 1. 2. Modelo de Page.

El modelo de Page (Page, 1949; Van Rest e Isaacs, 1968) es una modificación del modelo exponencial, que ha sido usada para modelar el secado, en capa delgada, de maíz con cáscara y soja (White y col. , 1973, 1981; Matouk, 1976; Misra y Brooker, 1980).

La ecuación de Page se escribe:

$$m^* = \frac{m - m_e}{m_i - m_e} e^{-kt^n} \quad (20)$$

m : contenido de humedad al tiempo t (g agua /g base seca)
 m_i : contenido de humedad inicial (g agua/g base seca)
 m_e : contenido de humedad en equilibrio (g agua/g base seca).
 k : constante de la ecuación (min^{-n}).
 n : constante de la ecuación
 t : tiempo de secado (min.)
(Sokhansanj y Patil, 1996)

I. C. 2. Deshidratación-impregnación con solutos (ósmosis).

La eliminación de agua de materiales biológicos sólidos con alto contenido de agua (frutas y vegetales, carnes, queso) puede ser obtenida contactando el alimento con una solución concentrada de solutos solubles, o bien agregando directamente el soluto al alimento (Bonazzi y col., 1996).

El proceso transmembrana de pérdida de agua y ganancia de solutos, se conoce como "deshidratación osmótica". Actualmente, en el caso de tejidos vegetales, se utiliza la expresión "deshidratación-impregnación por inmersión en solutos y/o en sus soluciones concentradas" (DIS), para tener en cuenta aquellos procesos en donde la membrana ha sido dañada y ya no regula el transporte de agua y solutos, si bien ocurre una pérdida de agua y ganancia de solutos como resultado del tratamiento. Debe considerarse que los cambios en el almacenamiento y/o los pretratamientos químicos o térmicos pueden modificar la permeabilidad diferencial y la selectividad de las estructuras de membranas (Torreggiani, 1995).

Se puede decir así que la deshidratación osmótica crea 3 tipos de transferencia de masa en contra-corriente:

- * Un importante flujo de salida de agua desde el producto hacia la solución.
- * Transferencia de un soluto desde la solución hacia el producto; es entonces posible introducir la cantidad deseada de principios activos, agentes preservadores, cualquier soluto de interés nutricional, o un mejorador de la calidad sensorial en el producto.
- * Una salida de solutos propios del producto (azúcares, ácidos orgánicos, minerales, vitaminas, etc.) que es cuantitativamente despreciable, comparada con los dos primeros tipos de transferencia, pero que es esencial con respecto a la composición del producto final (ver Figura I-2).

La fuerza impulsora para la remoción de agua es el gradiente de potencial químico entre el medio de inmersión y el fluido propio del alimento. Cuando hay estructuras histológicas las membranas celulares son parcialmente

selectivas y permiten, libremente, el pasaje de moléculas de agua y, en menor medida, la difusión de soluto hacia el interior del alimento.

O sea que este proceso generalmente involucra una significativa remoción de agua con limitada/controlada incorporación de soluto. Generalmente se realiza usando soluciones altamente concentradas. En las condiciones típicas usadas para frutas y vegetales, (trozos pequeños del alimento, por ejemplo de 1-2 cm³ a 30-50°C y presión atmosférica), la transferencia de masa ocurre durante las dos primeras horas, siendo la velocidad posterior, progresivamente baja, hasta que se detiene la pérdida de agua mientras que la ganancia de soluto continúa creciendo y el producto tiende a recuperar peso y al final se obtiene un producto rico en soluto (Raoult-Wack, 1994). Los cambios ya explicitados afectan la calidad organoléptica y/o nutricional del producto.

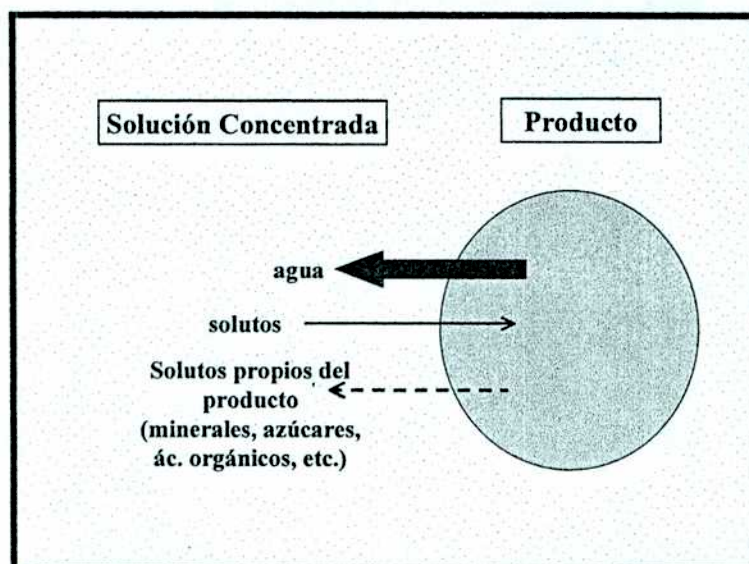
Dos características fundamentales diferencian estos procesos de los métodos de secado convencional:

- * La simultánea pérdida de agua e ingreso de ciertos componentes de la solución.
- * La necesidad de usar el proceso como una etapa previa al secado, congelación, pasteurización o esterilización comercial, frito y/o agregado de aditivos, pues la impregnación no produce, generalmente un producto estable.

Una mejora de la calidad puede originarse como resultado del cambio de la formulación, pudiéndose obtener una relación aumentada de azúcar-ácido, una mejor textura y una mayor estabilidad de los pigmentos durante el posterior secado. La mejora de la textura se ha atribuido a las temperaturas moderadas del proceso y al hecho de que la remoción del agua se realiza sin cambio de fase (por lo general se realiza a temperaturas inferiores a 50°C).

Figura I - 2

Representación esquemática de la transferencia de masa durante la ósmosis.



Muchos trabajos hacen mención a la energía que se ahorra en este proceso ya que no hay cambio de fase. Sin embargo, el real requerimiento energético no se conoce, ya que los aspectos energéticos del proceso no se han determinado con exactitud (Raoult-Wack, 1994)

Como la deshidratación-impregnación con solutos es un proceso de transferencia de masa, la efectividad de la remoción de humedad y la incorporación de sólidos depende de aquellos factores que afecten la fuerza impulsora y la(s) resistencia(s) al transporte. El principal factor es la naturaleza del material, que puede ser modificada también por posibles pretratamientos. Se observa una gran variabilidad en la cantidad de azúcares y de agua intercambiadas entre frutas de distintas especies y entre variedades de la misma especie. La variabilidad podría ser debida a las diferencias en estructuras, compactabilidad del tejido, contenido de sólidos y espacio intercelular, composición química a nivel molecular y de macromoléculas, proporción de los distintos tipos de tejidos, madurez, etc.

El tipo de agente de impregnación utilizado, su peso molecular y/o carga iónica afectan fuertemente la cinética de remoción de agua, la ganancia de sólidos, el contenido de agua en el equilibrio y el tiempo necesario para llegar a

este valor. Los agentes de impregnación más comúnmente utilizados son sacarosa, glucosa, y cloruro de sodio. Otros agentes ensayados por diferentes investigadores son fructosa, maltodextrinas, jarabes de almidón hidrolizado, sorbitol y glicerol (Lerici y col., 1985; Giangiacomo y col., 1987; Torreggiani y col., 1987; Biswal y Le Mager, 1989). Al incrementar la masa molecular de los solutos se observa una disminución de la ganancia de sólidos y un incremento de la pérdida de agua, favoreciéndose la pérdida de peso y el proceso de deshidratación. En el caso de solutos de bajo peso molecular (por ejemplo, NaCl, glucosa, fructosa, sorbitol), se favorece su ingreso por la mayor velocidad de penetración de las moléculas, ocurriendo entonces un enriquecimiento en sólidos, también importante.

Islam y Flink (1982) y Lenart y Flink (1984) estudiaron el efecto del uso de mezclas de distintos solutos en la ósmosis, observando un efecto sinérgico, entre la sal y el azúcar, al utilizar una mezcla binaria de sacarosa y cloruro de sodio.

Una alta concentración de la solución de impregnación favorece la pérdida de agua más que la ganancia de sólidos. La velocidad de transferencia de masa se incrementa con la temperatura, pero encima de 45°C el pardeamiento enzimático y el deterioro del "flavor" comienzan a tener lugar y, además, se altera la permeabilidad de las membranas.

La pérdida de agua y ganancia de sólidos depende del tamaño (Lerici y col., 1985) y la geometría de la pieza (Monsalve-González y col., 1993) y de la relación entre la cantidad de alimento y la cantidad de la solución (Lenart y Flink, 1984).

Recientemente se ha comenzado a aplicar la deshidratación-impregnación con solutos, por inmersión en soluciones concentradas al vacío (DIS-V). El proceso se realiza a presiones menores que la atmosférica y se han comprobado algunas ventajas en la calidad final del producto siguiendo este procesamiento (Fito y Chiralt, 1995; Muntada y col., 1999).

El interés en este proceso ha aumentado en los últimos años por que contribuye a una mejor retención del "flavor" y aroma.

Además, ofrece mejores características finales, sobre todo para productos de textura suave como las frutas.

I. C. 2. 1. Efectos de la deshidratación-impregnación con solutos en la velocidad de secado de tejidos vegetales.

La impregnación con solutos afecta la estructura del tejido vegetal, variando las características de la matriz y alterándose en consecuencia sus propiedades de transporte.

Diferentes investigadores han estudiado el efecto de la impregnación, previa al secado convencional, sobre la velocidad de transporte de agua, obteniendo resultados diversos de acuerdo al tejido vegetal estudiado. Vaccarezza y col. (1974) encontraron que el coeficiente de difusión efectivo del agua (D_{ef}) en remolacha azucarera disminuía con el incremento del contenido de sacarosa. Flink (1980) halló similares velocidades de deshidratación para zanahorias osmotizadas y no osmotizadas cuando las velocidades de secado eran expresadas en función de los sólidos originales de la muestra, concluyendo que la incorporación de sólidos a través de la ósmosis no resultaba en una significativa disminución de la velocidad de secado. Islam y Flink (1982) mostraron que el coeficiente de difusión (D_{ef}) del agua para el primer período de secado decreciente para placas de papa secadas a temperatura de 52 - 68°C disminuía en el orden : no osmotizada > 60% p/p sacarosa > 45% p/p sacarosa /15% p/p sal, concluyendo que la incorporación de sal y/o azúcar incrementaba la resistencia interna al movimiento de humedad. Karathanos y col. (1995) encontraron que el D_{ef} disminuía significativamente para manzanas pretratadas con soluciones concentradas de azúcar (por ej.: 45% p/p) debido a la disminución de la porosidad y a otros factores físico-químicos. Mazza (1983) observó que cuando la concentración de sacarosa usada para la impregnación de cubos de zanahoria previamente escaldados se incrementaba de 5 a 60% p/p, la velocidad de transporte de humedad disminuía debido a la depresión de la presión de vapor de agua en el producto por la disolución del azúcar, a la mayor resistencia a la transferencia de calor y a la disminución de la difusividad del vapor de agua dentro del producto causada por la cristalización de la sacarosa durante el proceso de secado por aire. Álvarez y col. (1995) encontraron que la impregnación con glucosa de frutillas escaldadas no afectaba el D_{ef} . Los autores atribuyeron el comportamiento observado a las modificaciones de la estructura celular que se producen por aplicación del calor

y/o a la pérdida al medio, de componentes solubles que contrarrestan la resistencia adicional al transporte de agua, producida por los sólidos incorporados.

I. D. Color.

El procesamiento de los alimentos se realiza, fundamentalmente, para prolongar la vida útil de los alimentos. La tecnología de los alimentos involucra procesos de transformación, conservación, almacenamiento y distribución de los mismos, llevando todos estos procesos a modificaciones de la materia prima y productos alimenticios, ya sea en su aspecto nutritivo como organoléptico. En consecuencia, esto motiva a los investigadores a que estén siempre orientados a tratar de optimizar estos procesos.

Cuando, por ejemplo, se procesa un alimento a elevada temperatura, con ello no sólo se destruyen los microorganismos, antinutrientes, enzimas que pueden llegar a afectar la vida útil o funcionalidad del alimento, sino que también, hay modificaciones de los caracteres organolépticos como el color por pardeamiento. En el caso de algunos alimentos procesados, el procesamiento contribuye a la obtención de un color. Ejemplo de ello, es el color de la corteza de los panificados luego del horneado, de las carnes luego del curado, etc. (Coulter, 1984). Existen muchas reacciones que tienen lugar durante el procesamiento, las cuales pueden conducir a la pérdida de color: la degradación de pigmentos como los carotenos (licopeno, xantofilas, etc.), clorofila y reacciones de browning como la reacción de Maillard y del ácido ascórbico. Así mismo, pueden perderse pigmentos por solubilización en el medio.

La calidad de los alimentos, además de sus características microbiológicas se basa, en general, en el valor nutritivo, color, flavor y textura. Independientemente del alimento de que se trate, todos estos factores pesan en mayor o menor grado al evaluar la calidad global. Uno de los más importantes atributos de la calidad organoléptica de un alimento es el color. El mismo, no necesariamente refleja valores nutricionales o funcionales, sino que relaciona preferencias del consumidor basadas en la apariencia del producto. La apreciación visual actúa como una característica decisiva en la selección de los

alimentos siendo muchas veces determinante para su elección (Coultate, 1984; Carreño y col., 1997). La apreciación visual es el primero de los sentidos a ser usados en la selección de los alimentos. Así, el color es un factor importante para valorar la calidad de un alimento y su cambio, frecuentemente, está ligado a la maduración, presencia de impurezas, realización defectuosa de un tratamiento tecnológico, malas condiciones de almacenamiento, comienzo de una alteración por microorganismos, etc. Por ello, la evaluación del color es la base de algunos métodos oficiales para valorar la calidad de los alimentos.

De un tiempo a esta parte son los consumidores, los que han ido promoviendo, a raíz de sus demandas, la preocupación por la mayor calidad contribuyendo al accionar en pro del mejoramiento de los métodos de preservación, con el objetivo de mantener la calidad nutricional y organoléptica de los productos, tanto de origen animal como vegetal (Ihl y col., 1998).

El extenso área del estudio del color en alimentos se puede considerar dividida en dos subtópicos generales:

- * la evaluación de los cambios sufridos por los pigmentos naturales y
- * la adición de colorantes sintéticos aprobados para alcanzar una apariencia aceptable. (Francis, 1963; Pomeranz y Meloan, 1994).

I. D. 1. Aspectos ópticos.

El color es el efecto de un estímulo sobre la retina, que el nervio óptico transmite al cerebro, el cual lo integra. Generalmente, el estímulo consiste en una luz reflejada (o transmitida) por el objeto, a partir de una iluminación incidente (Cheftel y col., 1983).

Así, el color es el estímulo que resulta de la percepción de luz después de que ha interactuado con un objeto. Para esto, están involucrados tres factores:

- * una fuente de luz,
- * un objeto
- * un detector-receptor (Comisión Internationale de l'Eclairage)

Las longitudes de onda involucradas van de los 380 a los 770 nm, que es la parte del espectro electromagnético que es visible al ojo humano.

Para comparaciones estándar, la Comisión Internacional de Iluminación ha establecido tres fuentes de luz estándar:

- * Iluminante A, lámpara incandescente a 2848 °K
- * Iluminante B, lámpara de luz solar de medio día a 5000 °K
- * Iluminante C, promedio de luz de día a 6740 °K.

La luz puede ser reflejada, transmitida, absorbida o refractada por un objeto iluminado. Un objeto se aprecia como blanco si prácticamente toda la energía radiante en el rango visible, es reflejada desde una superficie opaca. Si la luz, a través de todo el espectro visible, es absorbida parcialmente, entonces el objeto se ve como gris y si es absorbida casi en su totalidad, entonces el objeto se aprecia como negro (Pomeranz y Melan, 1994).

I. D. 2. Sistemas de color triestímulo simplificado.

El color es usualmente definido por 3 coordenadas. Hay varias escalas de color que pueden ser usadas para caracterizar el mismo. Ejemplo de ellas son las escalas CIE: X, Y, Z, y Hunter: L*, a*, b*. De la misma manera los índices de color y las diferencias de color pueden ser calculados a partir de éstos valores (Penfield y Campbell, 1990)

La escala L*, a* y b* muestra una mejor discriminación entre pequeñas diferencias de color en la región oscura del espacio de color, proporcionando una buena diferenciación para colores saturados. Por esta razón esta escala es una de las más usadas para productos alimenticios (Francis, 1989) si bien no es útil, para muestras de color claro (Barreiro y col., 1997).

En los últimos treinta años se ha impuesto la modalidad de evaluar el color mediante instrumentos. Los instrumentos son usados para describir la sensación que es percibida por el humano. Ellos pueden facilitar la evaluación del color en investigación y control de calidad. La identificación o medida del color con un espectrofotómetro es costosa y demanda mucho tiempo. Hay

sistemas triestímulos más económicos y prácticos que están disponibles para estudios de rutina. El colorímetro Hunter es uno de los más difundidos con este fin siendo, además, un instrumento que es usado frecuentemente en investigación de alimentos. El colorímetro fotoeléctrico triestímulo desarrollado por Hunter (1952) es relativamente económico y bien adaptado a los exámenes de rutina. Las medidas en él se basan en el sólido de color de Hunter cuyo espacio puede ser localizado a partir de las coordenadas L^* , a^* y b^* .

- * El valor L^* (luminosidad) representa una aproximación matemática no lineal de la respuesta del ojo. Indica el rango de blanco a negro, yendo desde 100 para un blanco perfecto hasta 0 para un negro perfecto y mide la luminosidad de la muestra.
- * Un valor positivo de a^* ($+ a^*$), indica calidad de rojo y un valor negativo ($- a^*$), calidad de verde.
- * En cuanto a b^* , un valor positivo ($+ b^*$) es calidad de amarillo y un valor negativo ($- b^*$) indica calidad de azul.
- * A partir de la escala Hunter L^* , a^* y b^* se derivan otros parámetros que son:
 - * La diferencia de color total:

$$\boxed{(\Delta E) = \sqrt{(L_o - L)^2 + (a_o - a)^2 + (b_o - b)^2}} \quad (21)$$

Permite expresar la diferencia entre dos sistemas.

- * El índice de saturación (IS) o croma que indica la saturación de color y es proporcional a su intensidad. El croma es equivalente a la pureza en el sistema CIE. Es calculado con la fórmula:

$$\boxed{IS = (a^2 + b^2)^{1/2}} \quad (22)$$

- * La razón a/b , que ha sido usada como especificación de color para tomates. Valores de 2,0 ó mayores indican un excelente color rojo en la pasta de tomates; valores por debajo de 1,80 se consideran inaceptables.
- * El ángulo Hue ó $\tan^{-1} (b^*/a^*)$ es un parámetro usado para caracterizar el color en los productos alimenticios (Clydesdale, 1984). Un ángulo de 0 ó 360° representa Hue rojo, mientras que ángulos de 90, 180 y 270° representan Hue amarillo, verde y azul respectivamente. Este parámetro ha sido muy usado en la evaluación de los parámetros de color en vegetales verdes, frutas y carnes (Barreiro y col., 1997).

Los valores CIE también pueden ser usados para expresar matemáticamente las diferencias de color (Penfield y Campbell, 1990; Ihl y col. , 1998).

I. D. 3. Pigmentos Naturales.

Los pigmentos son los constituyentes normales de las células o tejidos que imparten color (Fennema, 1993). Los pigmentos son compuestos químicos que reflejan únicamente ciertas longitudes de onda de la luz visible. Al estar contenidos en los vegetales, les proporcionan a estos sus "colores plenos".

Los pigmentos son capaces de absorber ciertas longitudes de onda lumínica. De esta manera, los pigmentos son útiles para las plantas y otros organismos autótrofos pues les ayudan a realizar el proceso de la fotosíntesis. Sin embargo, puesto que cada uno de los pigmentos reacciona únicamente con un rango angosto del espectro, la presencia de varias clases de pigmentos, cada uno de diferente color, permite capturar mayor energía de la luz del sol por parte de estos organismos.

Todas las células fotosintéticas contienen uno o más tipos de la clase de pigmentos verdes conocidos como clorofilas, pero no todas las células fotosintéticas son verdes. Las algas fotosintéticas y las bacterias pueden ser pardas, rojas o purpúreas. Esta variedad de colores se debe a que, además de la clorofila, muchas células fotosintéticas contienen miembros de otras dos

clases de pigmentos que capturan la luz: los carotenoides, amarillos y las ficobilinas, azules o rojas, denominadas frecuentemente, pigmentos accesorios (Lehninger, 1972).

Los cloroplastos son organelas subcelulares citoplasmáticas que existen solamente en las células vegetales. Distinguen a las células fotosintetizadoras de las que no lo son. En realidad, se debería hablar genéricamente de los plastos: cuando son incoloros, constituyen los leucoplastos; los coloreados por pigmentos, son los cromoplastos. Los más importantes de este grupo son los cloroplastos, que contienen el pigmento verde, la clorofila y es a este nivel donde se produce la fotosíntesis, mecanismo que permite a los vegetales verdes efectuar la transformación de la energía luminosa emitida por el sol, en energía química.

Los cloroplastos de todas las algas y plantas verdes superiores contienen clorofila **a**. La clorofila **b** también se encuentra en las plantas verdes, pero sólo en las algas verdes (Bohinski, 1978).

Los pigmentos que presentan las rodophytas son: clorofila **a**, α y β -caroteno, xantófilas, ficoeritrina, ficocianina (Jensen y Salisbury, 1988).

Las algas rojas pueden crecer a la sombra de alguna alga parda y sobreviven aparentemente bien, explotando un ambiente que para otro tipo de algas resulta inadecuado. Esto se debe a que sus pigmentos rojos y azules absorben bien las longitudes de onda correspondientes al verde y algunas otras, aún a bajos niveles de luminosidad (Raven y col., 1991). Por tanto, dichos pigmentos resultan tener fundamental importancia en la sobrevivencia y distribución de las *Rhodophytas*.

I. D. 3. 1. Clases de pigmentos.

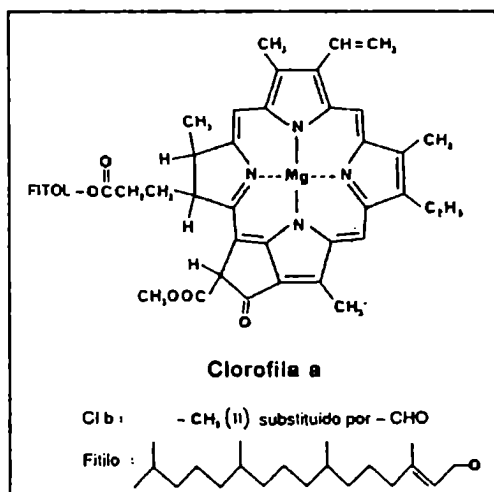
Hay tres clases básicas de pigmentos en los tejidos vegetales: clorofilas, carotenoides y ficobilinas.

a) Clorofilas.- Son pigmentos verdosos de los vegetales foliares, que contienen un anillo de porfirina (molécula estable). Poseen en el centro del núcleo tetrapirrólico, un átomo de magnesio, alrededor del cual los electrones están

libres para migrar. Por esta razón, el anillo tiene el potencial de ganar o perder electrones fácilmente y, por lo tanto, ceder electrones a otras moléculas: esto refleja el proceso por el cual la clorofila capta la energía de la luz del sol. La extendida cadena lateral de fitol facilita la relación con los carotenoides.

Existen distintas clases de clorofila:

- a. 1) Clorofila **a** es el pigmento principal de los cloroplastos. Está presente en todas las plantas fotosintetizadoras, algas y cianobacterias. Es una estructura tetrapirrólica. Posee un radical metilo - CH_3 .
- a. 2) Clorofila **b** únicamente presente en las algas verdes y en las plantas verdes. Posee un radical formilo - CHO .
- a. 3) Clorofila **c** se encuentra en miembros fotosintéticos de los cromistas y dinoflagelados, diatomeas. Carece del grupo fitol (Bohinski, 1978).



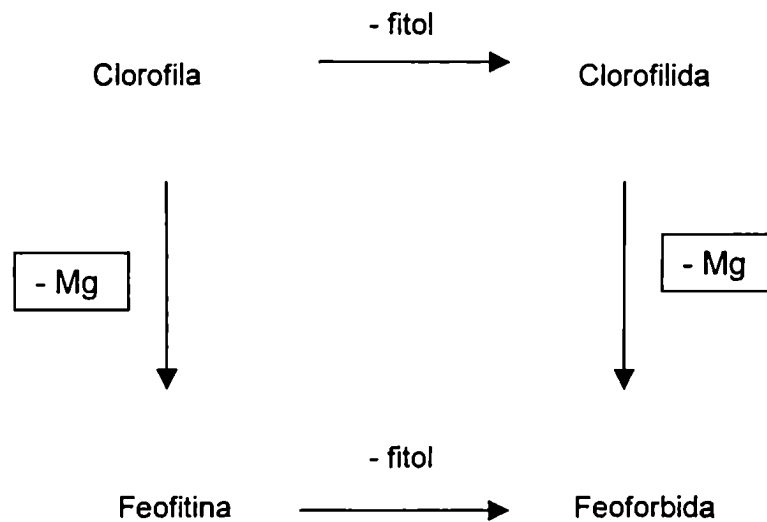
Existen derivados de la clorofila que dependen de la pérdida o no de algún grupo químico. Así tenemos que, la feofitina **a** se forma cuando la clorofila **a** pierde el magnesio; la feofitina **b**, cuando la clorofila **b** pierde el magnesio (las feofitinas son solubles en alcohol, éter, benceno y acetona e insolubles en agua); clorofilida **a** se forma cuando la clorofila **a** pierde el grupo fitol; la clorofilida **b**, cuando la clorofila **b** pierde el grupo fitol; el feoforbido **a** se origina cuando la clorofilida **a** pierde el magnesio y el

feofórbido **b**, cuando la clorofilida **b**, pierde el magnesio. Las clorofilidas y feofórbidas, carecen de la cadena lateral de fitol y, en general, son insolubles en los aceites y solubles en agua (Fennema, 1993).

La representación en forma esquemática de la formación de los derivados de la clorofila se puede ver en la Figura I-3.

Figura I - 3

Representación esquemática de la formación de los productos derivados de la clorofila.

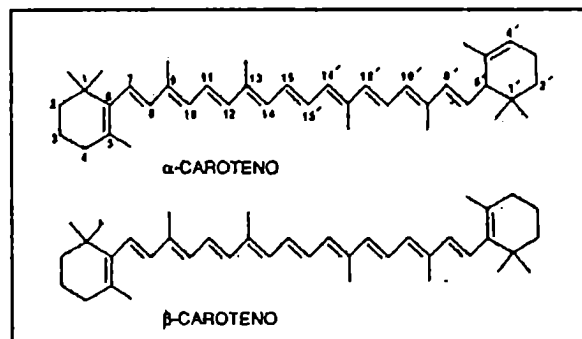


Cuando los vegetales son sometidos al calor, se pierde la cadena lateral de fitol y se forma la clorofilida **a**, pero el fenómeno más importante es la pérdida del Mg^{2+} . Se forma entonces la feofitina; esto también puede lograrse por adición de ácidos débiles. Las algas y bacterias fotosintéticas contienen varios tipos distintos de clorofila.

b) Carotenoides.- Son pigmentos usualmente rojos, naranja o amarillo. El componente principal en la mayor parte de las plantas verdes es el β - caroteno. Están compuestos de 2 anillos de ciclohexano no saturados y sustituidos, unidos por una cadena de átomos de carbono (moléculas poliisoprenoides, largas con dobles enlaces conjugados), lo que los hace insolubles en el agua. Ellos no pueden transferir la energía luminosa

directamente a la vía fotosintética pero pueden pasar su energía absorbida a la clorofila a, situada en los centros de reacción. Por eso es que se les conoce como **pigmentos accesorios**. Se cree que actúan primordialmente en la "captura de la luz" (Metzler, 1981). A su vez los carotenoides protegen a la clorofila de la destrucción por el O₂ originado en la síntesis luminosa durante la fotosíntesis. Los carotenoides son los pigmentos responsables de la mayoría de los colores amarillos y anaranjados de las frutas y verduras. Se dividen en carotenos (hidrocarburos) y xantófilas (contienen oxígeno). Los cloroplastos contienen también una gran variedad de carotenoides oxidados.

Los carotenos son solubles en solventes apolares, mientras que sus derivados oxigenados, las xantófilas, se disuelven mejor en solventes polares, tales como los alcoholes. Los carotenos se presentan en la forma α y β . Son conocidos como componentes celulares indispensables en microorganismos, hongos, algas, plantas superiores, animales y humanos. En las plantas superiores, los carotenoides se encuentran en las hojas junto con las clorofilas. En las algas rojas dentro de las xantófilas predominantes, además de luteína y zeaxantina (es la de mayor predominio), también está la



taraxantina. En las algas rojas se presentan las formas α y β del caroteno. El α - caroteno es el más abundante, en contraste con la relación α : β , típica de las plantas superiores.

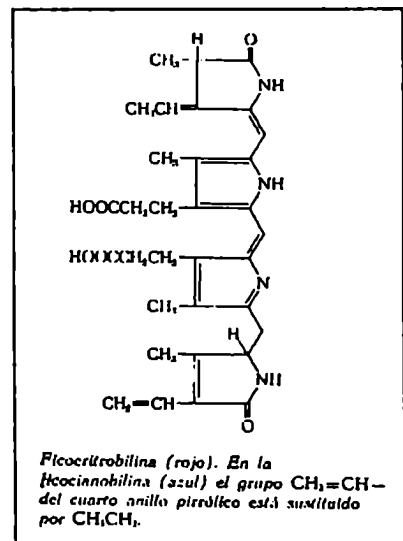
- c) **Ficobilinas**.- Son pigmentos solubles en agua, los cuales carecen de Mg²⁺ (Metzler, 1981; Berkaloff y col., 1977; Bold y Wynne, 1985). Las ficobilinas son tetrapirroles de cadena abierta y están conjugados con proteínas específicas (Metzler, 1981). Se encuentran en el citoplasma o estroma de los cloroplastos. A diferencia de los otros pigmentos, ellos enmascaran el color de la clorofila a y dan a las algas su color. Su función exacta no está del todo clara: en las algas pueden proteger a la clorofila a de la decoloración, actuar como absorbentes secundarios y/o ayudar en la transferencia de energía.

A su vez las ficobilinas son de dos clases:

c. 1) Ficocianinas. Pigmento azul que les da su nombre a las Cianobacterias o algas verde-azuladas. Son proteínas conjugadas (biliproteínas) que contienen ficocianobilina como pigmento unido.

c. 2) Ficoeritrina. Es la proteína conjugada de la ficoeritrobilina. Es el principal pigmento rojo, de las algas rojas. A menudo enmascara a la clorofila a. Algunas algas rojas contienen b-ficoeritrina, aloficocianina y c-ficocianina. La pigmentación roja brillante está bien marcada en miembros de submareas o aquellas que están en lugares bajo sombra. Debido a la fotodestrucción de la ficoeritrina, muchas algas rojas cambian la coloración por que entonces resaltan los otros pigmentos y se pueden ver algas de color

violeta, púrpura, parduscas, negras y algunas veces con tonalidades verdes. Este pigmento refleja la luz roja y absorbe la luz azul, por que ésta penetra en el agua a mayor profundidad que la luz de longitudes de ondas más largas. Las *Rhodophytas* viven casi exclusivamente en la zona



litoral del mar, los pigmentos asimiladores de éstas algas les permiten vivir a grandes profundidades e incluso desarrollarse en grutas. La coloración varía desde el color verde oliva a pardo rojizo de las especies de la zona de mareas, en las que además de la clorofila a se encuentran las ficocianinas y carotenoides hasta la coloración roja o violeta intenso de las especies de mayor profundidad, coloración debida a la ficoeritrina. Esta variabilidad del color, les permite utilizar las distintas radiaciones que penetran hasta las diferentes profundidades (Scagel y col., 1980).

Muchos miembros de la misma especie en una población pueden presentar una pigmentación variable cuando se les observa en una distribución vertical. Esta capacidad de alterar su color es respuesta a diferencias de la calidad de la luz incidente, lo que se conoce como "adaptación cromática" (Bold y Wynne, 1985). Se ha mostrado que la fotosíntesis y la zonificación vertical están más influenciados por la cantidad de luz que por su calidad, y que además las afecta el hábitat en relación con las condiciones de iluminación.

I. D. 3. 2. Fotosíntesis y pigmentos.

La transformación fotoquímica del CO₂ a materiales orgánicos es la fuente fundamental de energía en la biosfera. Esto lo llevan a cabo los vegetales que poseen clorofila.

La fotosíntesis es el proceso biológico más importante que se da en la naturaleza, y se la puede dividir en dos fases:

- * Una fase lumínica donde se produce la fotólisis del agua. La energía luminosa es captada por los pigmentos; en el caso de *Porphyra*, las longitudes de onda más activas para la fotosíntesis se corresponden con las que son más absorbidas por la ficoeritrina (Berkaloff y col., 1977).
- * Una fase oscura donde se produce la transformación del gas carbónico a glúcidos.

I. D. 3. 3. Modificaciones de los pigmentos naturales de los alimentos por el tratamiento tecnológico.

En la mayoría de frutas y vegetales, ocurre una alteración del color después de la cosecha, la cual se debe a la pérdida de pigmentos y síntesis de otros pigmentos resultando en cambios progresivos desde el verde al marrón. Los cambios de color se deben, principalmente, a la conversión de la clorofila a feofitina, mientras aumentan los carotenoides, lo cual cambia el color del producto del verde al amarillo.

Muchos de los pigmentos naturales de los alimentos, se destruyen durante el tratamiento de preservación y/o almacenamiento, por transformaciones químicas que tienen lugar como consecuencia de cambios en el pH, oxidaciones, etc. Como consecuencia de ello, el alimento elaborado puede perder su color característico y, por tanto, parte de su calidad organoléptica. En la Tabla I-4 se puede observar, a modo de ejemplo, la estabilidad de algunos pigmentos frente a distintos factores a los que pueden estar expuestos en el procesamiento industrial. Estas modificaciones se ven reflejadas en la calidad organoléptica de los alimentos.

La feofitinización es la más importante forma de alteración de las clorofilas durante el procesado de los alimentos. Esta no es más que la sustitución del átomo central, de magnesio por un hidrógeno formándose feofitinas de color pardo violáceo mate. Por otro lado, las clorofilidas originadas por la pérdida de la cadena lateral de fitol, son más hidrosolubles que las clorofilas.

La deshidratación cambia las características de la superficie del alimento y, por tanto, su color. Los pigmentos tanto los carotenos como las clorofilas, experimentan cambios químicos por efecto del calor y la oxidación que se producen durante la deshidratación como se observa en la Tabla I-4.

Tabla I - 4

Estabilidad de los pigmentos frente a los siguientes agentes.

Pigmento	Fuente natural	Solubilidad	Estabilidad frente a:			
			Calor	Luz	Oxígeno	Cambios de pH
Clorofilas	hojas	hidrosoluble	elevada	elevada	elevada	baja
Carotenos	hojas	liposoluble	moderada a baja	baja	baja	elevada
Xantófilas	frutas	hidrosoluble	moderada	elevada	elevada	baja

Zapsalis y Beck, (1985) y Coultate, (1984).

Por lo general, cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, hay mayor pérdida de pigmento (Fellows, 1994). No debemos olvidar además el efecto combinado de humedad y temperatura y que ocurren, además, reacciones de pardeamiento y de oxidación del ácido ascórbico (Barreiro y col., 1997).

Los cambios que ocurren en las algas, dependen del producto considerado y condiciones de preservación. A modo de ejemplo, podemos decir que durante el almacenamiento de tres días a 20°C y con una humedad relativa de 100%, de "yaki-nori" (algas secas y tostadas) la clorofila *a* se degrada a feofitina *a* y también se degradan los carotenos. En cambio, en el "hoshi-nori" (algas secas y no tostadas), la clorofila *a* se degrada a clorofílida *a* y feoforbida *a* (Araki y col., 1985).

I. E. Textura.

Muchos de los productos de origen vegetal son sometidos a tratamientos mecánicos a lo largo de la recolección, manipuleo, procesamiento y almacenamiento. Para establecer un proceso mecánico eficiente, y al mismo tiempo producir un mínimo grado de daño al producto y alta calidad, el comportamiento de dichos productos frente al esfuerzo y la deformación y su relación con los tratamientos, debe ser comprendido. Además se debe conocer el efecto de la combinación de esfuerzo, deformación y tiempo para saber los niveles críticos de esfuerzo y deformación a los cuales va a ocurrir el daño.

Obviamente, toda evaluación hecha a un producto estará ligada a un particular estadio de desarrollo del material estudiado, como por ejemplo, estado de madurez (Morrow y Mohsenin, 1966).

La mayoría de las técnicas de evaluación textural objetivas están basadas en la interpretación de las relaciones fuerza/deformación. Generalmente esta evaluación se realiza en condiciones estandarizadas en cuanto a la geometría del sistema y la velocidad de deformación (Calzada y Peleg, 1978).

Una de las mayores dificultades enfrentadas en el estudio textural de tejidos vegetales es la no-uniformidad de los mismos: ello puede ser atribuido a

la variabilidad entre individuos así como a la heterogeneidad interna en cada unidad. Esto último puede ser causado por la presencia de fibras u otros constituyentes estructurales, así como por una distribución o actividad no pareja de los sistemas fisiológicos.

I. E. 1. Curvas fuerza-deformación.

La forma de las curvas de fuerza-deformación se ve afectada por dos mecanismos antagónicos: la fractura interna que tiende a decrecer la fuerza mecánica de los especímenes deformados y la compactación estructural, que tiende a aumentar esta fuerza.

La mayoría de los alimentos sólidos se alejan grandemente de un comportamiento fuerza-deformación simple. En general, es difícil separar los efectos ejercidos por las propiedades mecánicas del material y aquellos generados por las condiciones de operación: velocidad de deformación, fricción en las superficies de contacto y dimensiones del espécimen. Es por ello que es importante la estandarización de las condiciones del ensayo, con fines comparativos entre muestras (Bourne, 1982).

I. E. 2. Curvas de relajación.

Las curvas de relajación pueden ser obtenidas con relativa facilidad con las máquinas universales de testeo y pueden ser utilizadas como información complementaria, con especial referencia al efecto de los distintos tratamientos a los cuales se somete a los alimentos. Consisten en la evaluación de la fuerza de compresión en alimentos sometidos a deformación constante.

Las curvas de relajación de especímenes deformados permiten separar el esfuerzo total en dos componentes: el esfuerzo residual y el esfuerzo perdido. Cuanto mayor es la contribución de los esfuerzos residuales, más sólido es el material (Peleg, 1979).

I. E. 3. Propiedades mecánicas de alimentos particulados.

Los polvos alimenticios tienden a desarrollar cambios físicos y químicos con una fuerte dependencia con respecto a la temperatura y humedad. Así, un polvo alimenticio es considerado como un sistema dinámico cuyas propiedades pueden ir modificándose con el tiempo.

El flujo de un polvo es el movimiento relativo de una masa de partículas entre partículas vecinas o por la pared superficial del contenedor. Las fuerzas que están involucradas son: fuerzas gravitacionales, fricción, cohesión (atracción interpartículas) y adhesión (atracción partícula-pared del contenedor). Los factores que afectan la fluidez de cualquier polvo son numerosos incluyendo propiedades superficiales, forma y distribución de tamaño y geometría de partícula así como el aspecto físico.

Las fuerzas gravitacionales son las fuerzas naturales del flujo pero que pueden causar una considerable compactación del lecho del polvo. Bajo tales condiciones, las fuerzas cohesivas pueden ser realizadas y el lecho del polvo podría desarrollar dureza.

Los problemas de flujo resultan a partir de fuerzas inter/intrapartículas, tamaño y forma de las partículas del polvo así como de la humedad y el contenido de grasa. Los acondicionadores, es decir, los agentes anti-apelmazantes mejoran el flujo del polvo por reducción de algunas fuerzas interpartículas, reduciendo la cohesividad y compresibilidad mientras que se aumenta la densidad global (Peleg y Mannheim, 1973). Estos agentes actúan separando las partículas y haciéndolas más fluidas (Peleg y Hollebach, 1984).

Las propiedades globales de alimentos particulados (densidad global, compresibilidad) juegan un papel directo e importante en muchos procesos y en el manipuleo y almacenamiento. Indirectamente, ellas proveen indicios de otras características físicas y, fundamentalmente, de la cohesión interna, las cuales pueden afectar la flotabilidad del polvo y la estabilidad en el almacenaje (Moreyra y Peleg, 1980).

Los problemas de flujo y apelmazamiento son problemas habituales en las industrias productoras o utilizadoras de polvos. Muchos polvos son no-homogéneos y anisotrópicos. Un modo de determinar las características físicas

de los polvos con referencia a las fuerzas entre partículas, es la medición de su densidad global (Peleg y col., 1973).

La calidad de ciertos productos particulados, por ejemplo, cereales y "snack", se puede evaluar a través de las propiedades mecánicas de las partículas individuales. Estas partículas, sin embargo, pueden tener forma irregular y/o ser muy pequeñas y frágiles como para poder ser testeadas individualmente. En contraste, estudiarlas en una capa delgada o en conjunto, es sencillo. En muchos casos se puede conocer el comportamiento de cada partícula, a partir del conocimiento del conjunto. Pero otras veces, existen desviaciones de esta proporcionalidad por interacciones mecánicas entre las partículas, por ejemplo por "ligazón", tamaño no uniforme y/o perturbaciones aleatorias que se originan en la orientación de las partículas y en la estructura no uniforme. También, si el lecho es profundo, puede ocurrir deformación del lecho (Ulbricht y col., 1994) y algunas partículas pueden sufrir deslizamiento y reorientación, por lo menos parcial, bajo el stress aplicado (Nixon y Peleg, 1995).

Para la caracterización de la compactabilidad de un polvo, se usa la relación de Hausner que es el cociente de la densidad global luego de compactar de manera estandarizada y la densidad global previa a la compactación. También se usa como índice de compresibilidad el cambio de la densidad con la presión.

La relajación del esfuerzo de los polvos, luego de compresión, permite evaluar la solidez de una muestra comprimida (Onwulata y col., 1996). El término "elasticidad" se refiere a la habilidad para retornar al estado original. En su contexto mecánico-textural, sería la propiedad de retornar a la forma original luego de ser sometidos a deformación. Aunque es sencillo distinguir entre altamente elástico (gomoso) y no-elástico (plástico), la mayoría de los alimentos tienen una elasticidad intermedia, o sea que son elásticos en cierto grado. En el caso de los alimentos, el expresar cuantitativamente la elasticidad no es sencillo, especialmente considerando que la recuperación de la deformación suele encontrarse retardada, ya que los alimentos son viscoelásticos, lo que introduce el elemento tiempo en la determinación. Un modo de salvar este problema es definir el grado de elasticidad (Ψ) en términos de la relación entre el trabajo recuperable (ϕ_R) y el trabajo total (ϕ_T):

$$\Psi = \frac{\varphi_R}{\varphi_T}$$

(23)

Las propiedades texturales de los alimentos deshidratados son mayormente afectadas por la presencia de agua residual y por la manera en la cual este agua es retenida por los diferentes grupos sortivos del alimento en cuestión (Kapsalis y col., 1970). La absorción de humedad por parte de los alimentos en polvo, puede causar cambios significativos en sus características físicas, en especial sobre la densidad y compresibilidad (Peleg y Moreyra, 1979). Como consecuencia de la adsorción de vapor de agua por parte de los alimentos deshidratados se producen en estos, cambios estructurales y físico-químicos. Los primeros pueden ser medidos por métodos mecánicos y sensoriales, mientras que los otros pueden ser examinados cuantitativamente por los cambios de las funciones termodinámicas como la entalpía, entropía y energía libre. La sorción primaria tiene lugar en los sitios polares libres. Posteriormente se produce la "hinchazón" que hace accesibles otros sitios para la posterior sorción. De este modo, que puede ser visualizado como un mecanismo "cierre", las moléculas de agua penetran dentro de la matriz, primero ocupando sitios libres y posteriormente rompiendo los enlaces H que existen entre las cadenas de polímeros y estableciendo nuevos sitios de sorción.

En los polvos no-cohesivos o de flujo libre, las fuerzas interpartículas son débiles. Sin embargo, tales fuerzas pueden desarrollarse bajo especiales condiciones tales como absorción de humedad (ej. café instantáneo), temperatura elevada (polvos que contienen grasa y azúcar) o presión estática (sopas deshidratadas, celulosa microcristalina). Por otro lado, los polvos cohesivos son aquellos en los cuales las fuerzas interpartículas juegan un rol significativo en el comportamiento mecánico del lecho del polvo. Estos factores pueden reducir la fluidez, detener el conjunto o formar puentes estables entre partículas (aglomeración). Este fenómeno se vincula a problemas de formación de costras, los cuales pueden ir desde la formación de terrones suaves, a la solidificación total del lecho del polvo (Pietsch, 1969). La mayoría de los polvos

alimenticios, si no están protegidos, llegan a ser más cohesivos, debido a la absorción de humedad.

Las propiedades viscoelásticas de los alimentos sólidos se han podido evaluar por sus curvas de relajación. Tales curvas se modelan, en general, usando el modelo de Maxwell (Morrow y Mohsenin, 1966):

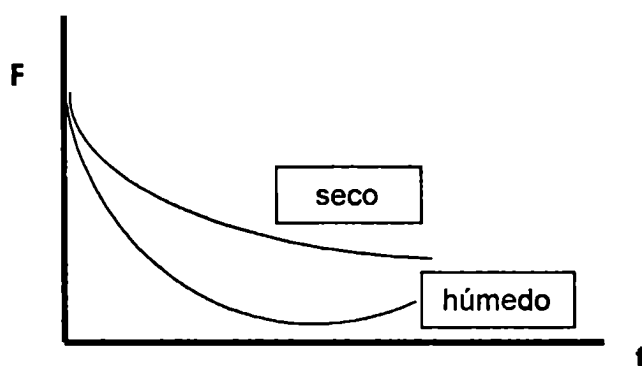
$$Y(t) = \sum_{i=1}^n a_i \exp(-b_i t) \quad (24)$$

donde $Y(t)$ es el parámetro de decaimiento (fuerza, tensión o módulo aparente), t es el tiempo y a_i y b_i son constantes características del material. La mayoría de los alimentos presentan un comportamiento viscoelástico no lineal y, por consiguiente, tanto el número de términos como las constantes dependen del historial de deformación y del nivel de deformación. Además, el número de términos reportados, por lo general, son 2 ó 3, involucrando 4 a 6 constantes.

En la Figura I-4 vemos las curvas de relajación, en forma esquemática, para un polvo seco y el mismo polvo, con mayor tenor de humedad.

Figura I - 4

Curvas de relajación de polvos con distinto tenor de humedad.



De acuerdo a esta representación esquemática se puede observar que los polvos húmedos son más plásticos que los secos. Por lo tanto, el tiempo para alcanzar la fuerza residual es notoriamente más larga para el caso de polvos secos.

Peleg y Calzada (1976) propusieron modelar las curvas de relajación de una manera alternativa. El parámetro de decaimiento fue calculado, para normalizar las curvas de relajación, como:

$$Y(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0} \quad (25)$$

donde F_0 es la fuerza inicial, $F(t)$ es la fuerza registrada luego de t min de comenzada la relajación. El parámetro Y está representando el decaimiento de la fuerza o estrés. Y Peleg (1979) sugirió expresar su variación con el tiempo, de acuerdo con Mickley y col. (1957):

$$Y(t) = \frac{abt}{1 + bt} \quad (26)$$

donde a y b son constantes. La constante a representa el nivel al cual decae la fuerza durante la relajación. Si $a = 0$, la fuerza no relaja del todo (sólido elástico ideal); si $a = 1$, la fuerza puede alcanzar el valor cero (líquido ideal). Para el caso de $0 < a < 1$, a representa los valores residuales asintóticos de Y cuando $t = \infty$. El valor $1/b$ corresponde al t necesario para alcanzar el nivel de $Y(t)$ igual a $a/2$. Si $b = 0$ el estrés no relaja del todo (sólido elástico ideal). Cuando los sólidos viscoelásticos están involucrados y se obtienen valores bajos de b , ello significa que la relajación es más lenta. Un valor alto de b , denota un descenso brusco de la curva de relajación hacia el valor residual. Reescribiendo la ecuación (26) de esta manera:

$$\frac{t}{Y(t)} = \frac{1}{ab} + \frac{t}{a} \quad (27)$$

se puede observar que graficando $t / Y(t)$ vs t , se pueden conocer a y b a partir de la pendiente y ordenada al origen.

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

II. A. Material biológico.

El material biológico que se utilizó en el presente trabajo fue algas rojas de la especie *Porphyra columbina* Montagne (*Rhodophytas* Bangiales).

Estas algas fueron cosechadas en Septiembre de 1996 en Punta Maqueda, Golfo de San Jorge (Provincia de Santa Cruz), al Sur de Comodoro Rivadavia. Luego fueron enviadas al laboratorio de Tecnología de Alimentos del Departamento de Industrias de la Universidad de Buenos Aires, sumergidas en agua de mar (para evitar problemas de desecación) y acondicionadas en cajas de telgopor.

Una vez que llegaron, se procedió a escurrirlas y distribuir las en bolsas de polietileno y se conservaron en freezer a -20°C hasta el momento de su utilización.

II. B. Preparación del material biológico para las experiencias.

En lo que se refiere a la preparación del material de estudio, para todas las experiencias que se pasan a detallar, se utilizó el procedimiento que a continuación se expone.

Se procedió a descongelar las algas a temperatura ambiente, se las lavó con agua destilada a razón de 10 l agua / kg alga, eliminando de esta manera el agua de mar remanente. Luego se secaron los talos con papel absorbente y se eligieron hojas no dañadas, de tamaño similar.

II. C. Determinación del contenido de humedad.

El contenido de humedad inicial de las algas en estudio se determinó gravimétricamente, usando una estufa de vacío (Thermostat Vacuum Oven; Towson and Mercer Ltd. Croydon, Inglaterra) a 70°C usando como desecante

Cl₂Ca y continuando la experiencia hasta peso constante. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

II. D. Evaluación de la actividad acuosa (a_w).

La a_w de las algas frescas y de las equilibradas sobre soluciones salinas saturadas fueron medidas usando un equipo de medida (Aqua- Lab- CX-2. Decagon Devices Inc. Pullman, Washington. USA). Este aparato fue calibrado usando soluciones salinas saturadas de a_w conocido en el rango de estudio (Kitic y col.,1986). Las determinaciones de a_w se realizaron por triplicado y se informa el promedio de las mismas.

II. E. Evaluación del pH.

El pH se determinó con un peacómetro portátil (modelo Checker 1 pH Tester and Electrode, marca Hanná Instruments, Mauritius), de rango de pH de 0 a 14 ($\pm 0,2$ pH).

II. F. Preparación de las soluciones para la ósmosis.

Se prepararon tres tipos de soluciones de ósmosis para realizar la impregnación de las algas. Las a_w se calcularon mediante las ecuaciones de Favetto y Chirife (1985), Norrish (1966) y Ross (1975).

- a) Solución de sacarosa (grado alimenticio) 60% (p/p), con $a_w \sim 0,900$. El pH de la solución fue ajustado con ácido cítrico a $\sim 3,2$. Se agregó a la solución sorbato de potasio, en una concentración de 2000 ppm, con el objeto de evitar el desarrollo de hongos.
- b) Solución de NaCl (grado alimenticio) 26% p/p con $a_w \sim 0,760$, con agregado de sorbato de potasio (concentración 2000 ppm) y pH ajustado a $\sim 3,2$ con solución de ácido cítrico 30% (p/p).

c) Solución ternaria de NaCl (grado alimenticio) 11% p/p y sacarosa (grado alimenticio) 46% (p/p) en agua destilada. La a_w de la solución acuosa ternaria fue de $\sim 0,770$. El pH del sistema se ajustó a un valor de $\sim 3,2$ con el agregado de solución de ácido cítrico 30% (p/p). La solución contenía 2000 ppm de sorbato de potasio.

En este caso las actividades acuosas involucradas son:

a_w NaCl $\sim 0,829$

a_w sacarosa $\sim 0,930$

y, por lo tanto, la a_w del sistema fue de $\sim 0,77$.

En todos los casos, el ácido cítrico usado fue de calidad analítica (Merck Química Argentina, Bs. As., Argentina) al igual que el sorbato de potasio (Sigma Inc., Missouri, USA).

II. G. Procedimiento de impregnación.

Las tres soluciones (a,b,c) se usaron para impregnar las algas durante tiempos de 1 hora. Al observar un efecto depresor de la a_w mayor con la solución ternaria (c), posteriores ensayos con ella se desarrollaron con la técnica explicada más abajo.

La solución usada para la ósmosis se distribuyó en porciones de 150 ml en erlenmeyers de 250 ml de capacidad. En cada uno se colocaron entre uno y cinco talos de alga, de acuerdo al tamaño de los mismos, de modo tal que quedaran completamente sumergidos en la solución. El sistema se sometió a agitación durante 72 hrs, para favorecer la ósmosis, realizando lecturas de a_w a las 24, 48 y 72 hrs. Este procedimiento se realizó en cámaras de temperatura controlada a 23°C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

Cumplido el tiempo determinado, se procedió a lavarlas rápidamente con agua destilada para remover el exceso de solución osmótica y luego secarlas con papel absorbente. Posteriormente se realizó la lectura de la a_w de las muestras. Los talos de las algas así impregnados, se guardaron en bolsas de "cryovac" (M.R.) debidamente selladas y rotuladas en freezer a -10°C .

Las pruebas se realizaron por triplicado.

II. H. Isotermas de sorción.

II. H. 1. Determinación de las isotermas de sorción.

Se determinaron las isotermas de adsorción y desorción a las temperaturas de 25°C y 45°C, de las algas con y sin tratamiento de ósmosis. Las isotermas de sorción de vapor de agua fueron determinadas por el método estático (Spiess y Wolff, 1983; Chirife y col., 1975), es decir, por la exposición de las algas a diferentes atmósferas de humedad relativa (HR) constante conocida y pesándolas luego, periódicamente, hasta que la constancia de peso indicaba que se había alcanzado el equilibrio. Se realizaron triplicados para cada humedad.

El procedimiento seguido es el que se detalla a continuación:

- ✱ Para el caso de las isotermas de adsorción: se secaron las algas en un secadero de bandeja con circulación de aire en forma de flujo paralelo (AEW Limited, Inglaterra). La temperatura del aire era de 70°C y el tiempo de secado fue de 1 hr. Cumplido el tiempo, se procedió a medir la a_w que alcanzaron las algas, la cual presentó un valor de 0,416. Esto determina que la exposición a humedades relativas producidas por soluciones saturadas de LiCl y CaCl₂ genere desorción de agua, siendo el resto de la experiencia, de adsorción. Estas isotermas se realizaron a 25°C y a 45°C en algas sin tratamiento de ósmosis. Las algas deshidratadas fueron reducidas en tamaño con la ayuda de una tijera y, aproximadamente, 0,60 g de las mismas, fueron colocadas en pesafiltros de 30x30 mm con tapa esmerilada. Para evitar el desarrollo microbiano, los pesafiltros cargados de muestra fueron pulverizados con una solución de sorbato de potasio a una concentración de 2000 ppm y todo el conjunto fue irradiado con rayos UV por espacio de 3 min. Los pesafiltros fueron colocados en desecadores que contenían las soluciones salinas binarias saturadas con el objetivo de proveer las HR adecuadas, realizándose luego vacío para asegurar la condición de actividad acuosa deseada en cada uno de ellos y favorecer la llegada al equilibrio. Se usaron soluciones salinas binarias con una HR en un rango que va desde 0,110 hasta 0,974 (Tabla II-1).

- * Para la realización de las isotermas de desorción, las algas fueron cortadas en trozos pequeños y se cargaron los pesafiltros con una cantidad de, aproximadamente, 2,00 g de algas. Posteriormente se procedió con el mismo desarrollo que para las isotermas de adsorción anteriormente mencionadas. Se determinaron las isotermas de desorción de vapor de agua a 25°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) de algas con y sin tratamiento osmótico previo y a 45°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) de algas sin tratamiento osmótico previo.

Los desecadores fueron colocados en cámaras de temperatura constante (25°C ó 45°C) con flujo de aire controlado (Precisión Low Temperature Incubator, U.S.A.).

Las muestras fueron pesadas (balanza analítica Mettler H-72, Instrument A.G., Zurich, Switzerland) cada 48 hrs. hasta llegar al equilibrio, usando como criterio la constancia de peso, que fue considerada tal cuando la variación del peso de la muestra fue menor de 2 mg entre dos pesadas sucesivas en el término de 72 hrs. Un periodo de 6-8 semanas fue requerido para que se lograra alcanzar esta situación.

Se graficaron los datos de humedad (g agua/100g de alga en base seca) de la muestra frente a los correspondientes valores de a_w de las soluciones para obtener las isotermas.

Tabla II - 1
Actividad acuosa de distintas soluciones salinas saturadas y solubilidad de sales en agua

Sal	Solubilidad 30°C (g/100 ml) [■]	a_w ^{&}
Cloruro de Litio ClLi*		0,11
Cloruro de calcio Cl ₂ Ca*	38,20	0,39
Bromuro de Sodio BrNa*	116,00	0,577
Cloruro de Sodio NaCl*	36,30	0,753
Cloruro de Potasio ClK*	37,00	0,843
Cloruro de bario Cl ₂ Ba*	38,20	0,902
Sulfato de Potasio SO ₄ K ₂ *	12,97	0,974

■: Perry, 1963.

&: Kitic y col., 1986.

*: Las sales usadas fueron de calidad analítica y marca Merck (Merck Química Argentina S.A., Bs.As., Argentina).

II. H. 2. Modelado matemático de las isotermas de sorción.

Se testeó el ajuste de los datos obtenidos de sorción con seis modelos matemáticos: BET, GAB, Halsey, Henderson, Bradley y Oswin.

II. I. Desarrollo de la deshidratación.

II. I. 1. Preparación de las muestras.

Las muestras a usar en las distintas experiencias respondieron a dos características: a) alga tal cual y b) alga osmotizada, obtenidos según lo ya explicado. A continuación se detallan las condiciones de secado.

- a) Talos de algas sin tratamiento previo. Las experiencias de secado en capa delgada se llevaron a cabo a las temperaturas de bulbo seco de 30°C ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) y con una temperatura de bulbo húmedo de 19°C ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$) y una HR del aire de secado de 35% (Perry, 1963). Los experimentos fueron realizados por espacio de 120 min.
- b) Algas sometidas a un pretratamiento de ósmosis, se secaron a una temperatura de bulbo seco de 30°C ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$), y una temperatura de bulbo húmedo de 17°C ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$), y una HR del aire de secado de 30%. El tiempo de secado fue de 120 min.
- c) Talos de algas sin tratamiento previo, secadas a una temperatura de bulbo seco de 55°C ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) con una temperatura de bulbo húmedo de 22°C ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$) y una HR del aire de secado, obtenido del diagrama psicrométrico de 4%. El tiempo de secado fue de 50 min.

En todos los ensayos se partió de un peso inicial de algas de, aproximadamente, 9,5 g, cantidad suficiente para formar una capa delgada de algas de espesor $\sim 0,5$ cm de profundidad, no presentándose uniformidad total en todo el diámetro del portamuestras por que la característica morfológica de las algas es arrepollada.

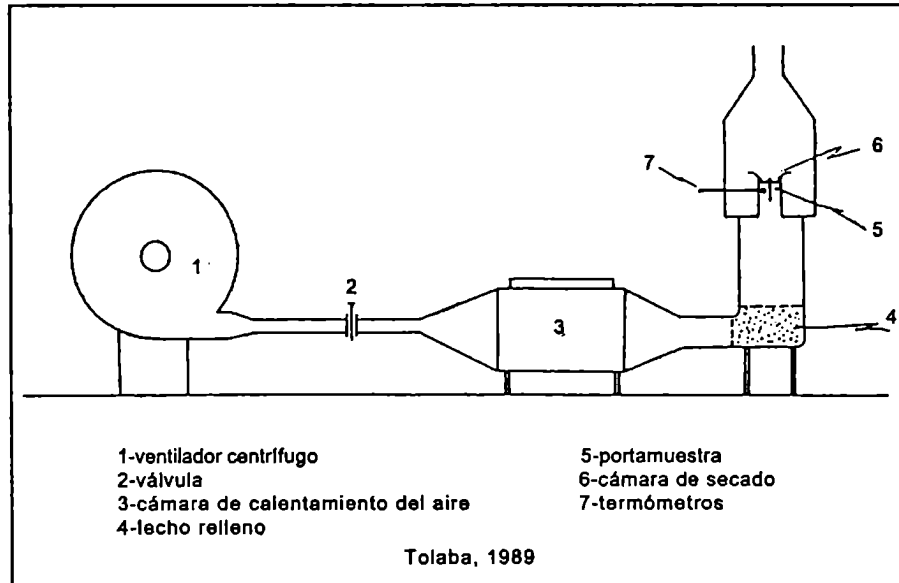
II. I. 2. Descripción del equipo de secado.

Los diferentes ensayos tendientes a determinar las curvas de secado de las algas se llevaron a cabo en un secadero experimental tipo túnel. En la Figura II-1 se muestra un esquema del equipo utilizado. El flujo de aire provisto por el ventilador centrífugo fue regulado por medio de un diafragma y acondicionado en la cámara de calentamiento. Para tal fin dicha cámara cuenta con resistencias calefactoras blindadas de 2 kW cada una. La corriente de aire calefaccionada se hacía fluir hacia la zona de secado propiamente dicha a la que llegaba incidiendo perpendicularmente a las muestras. La cámara de secado puede describirse como un conducto vertical de sección circular donde se calzaba el portamuestras de aluminio con base y tapa de rejilla metálica.

Se usaron termómetros graduados a la décima de grado: el de bulbo húmedo, colocado en el conducto sobre el portamuestras y el de bulbo seco, colocado en el conducto por debajo del portamuestras. La temperatura de bulbo seco fue regulada en $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ por medio de un controlador electrónico proporcional conectado a dos de las resistencias calefactoras. Las lecturas de las temperaturas de los termómetros de bulbo seco y húmedo permitieron determinar la humedad relativa del aire usado en cada ensayo, con ayuda de una carta psicrométrica para el vapor de agua (Perry, 1963).

La velocidad de la corriente de aire se midió mediante un velómetro (Alnor Velometer Modelo 3002, Alnor Instrument Co., Chicago, U.S.A.). Con una precisión de aproximadamente $\pm 0,01$ m/s. Una velocidad constante y alta (10m/s), es la que se empleó en todos los experimentos para evitar las resistencias externas a la pérdida de humedad y los cambios en la condición del aire al pasar a través de la capa asegurando el cumplimiento de la condición de capa delgada (Sokhansanj y Patil, 1996).

Figura II – 1
Equipo de secado



II. I. 3. Procedimiento de secado.

La pérdida de agua a partir del producto se evaluó pesando la muestra a intervalos regulares de 5 min, utilizando para ello un cronómetro. La pesada se realizó en una balanza de precisión, (Unimatic Modelo CL41, Instruments Stanton, Gran Bretaña) con una precisión de ± 1 mg, la cual se encontraba en la proximidad de la cámara de secado. Para este propósito, el recipiente de secado se retiraba, pesaba rápidamente y regresaba al secadero, no demorando más de 20 seg. en la pesada. Se verificó que este procedimiento sólo producía una disminución de 1 grado en la temperatura del recinto de secado. El tiempo de demora se descontó del tiempo de la corrida. Usando esta técnica se obtuvo una buena reproducibilidad en todos los experimentos realizados bajo las mismas condiciones (Álvarez y col., 1995). En todos los casos las corridas de secado se realizaron por triplicado.

Posteriormente, las algas fueron envasadas en bolsas de "cryovac" (M.R.) selladas por calor y mantenidas así por espacio de 48 hrs. a 25°C, con el objeto de asegurar la homogeneidad de la muestra en cuanto a su a_w . Cumplido este tiempo, se procedió a leer la a_w final a la que habían llegado las algas.

II. J. Color.

II. J. 1. Preparación de las muestras.

Para las lecturas de color se trabajó con las algas con y sin tratamiento de ósmosis, a su vez con y sin proceso de deshidratación.

II. J. 2. Molido de las algas.

Las algas deshidratadas fueron reducidas en tamaño, con la ayuda de un molino (marca Rilo, Serie 9273, Argentina). Seguidamente éstas fueron cernidas durante 10 min., para lo cual se utilizó un arreglo de 3 diferentes mallas de 2000, 1000 y 840 μm de poro, respectivamente, con el objetivo de obtener homogeneidad en el tamaño de partícula usada. La mayor parte del material presentó un tamaño de partícula menor de 840 μm y fue usado para la medición del color.

II. J. 3. Condiciones de medición.

Las medidas de lectura de color fueron realizadas con un Colorímetro Hunterlab Labscan (Hunter Associates Laboratory Inc., V.A., U.S.A.). Se eligió el iluminante D-65 y Observador Óptico 2°.

El colorímetro fue estandarizado con superficies estándar blanco ($L^* = 91,69$; $a^* = 1,42$ y $b^* = 2,23$).

Los resultados fueron expresados como valores triestímulo L^* , a^* y b^* . Esta forma de expresión fue usada por que está altamente correlacionada a la sensibilidad humana para el color (Barreiro y col.,1997; Pomeranz y Meloan, 1994).

II. J. 4. Acondicionamiento de las muestras para la lectura.

Para la medición del color de las algas se realizó el siguiente proceso:

- * Algas sin deshidratar: algas con o sin tratamiento de ósmosis, fueron cortadas para obtener una granulometría análoga a la obtenida por tamizado, con la ayuda de unas tijeras. Después, se pesaron ~ 3,0 g y fueron colocadas en pesafiltros de 30x30 mm con tapa esmerilada; éstos estaban cubiertos con pintura negra tanto lateral así como la base de la tapa, de esta manera se evitaba toda filtración de luz. Estas algas fueron suspendidas en 10 ml de agua destilada, las muestras así preparadas estaban listas para la medición del color.

- * Algas deshidratadas: algas con o sin tratamiento de ósmosis, fueron molidas de acuerdo a lo especificado anteriormente. Luego fueron rehidratadas en 10 ml de agua destilada por espacio de 5 min. A continuación se las escurrió y secó. Posteriormente se pesaron ~ 3,0 g y se las colocó en los pesafiltros ya descritos, acondicionándolas de la misma forma que en el paso anterior, después de suspenderlas en 10 ml de agua.

En ambos casos, se procedió luego a la lectura (parámetros L^* , a^* y b^*), colocando el pesafiltro con el material en estudio suspendido en agua, en la abertura del paso de la luz del equipo.

Las lecturas se realizaron en 10 posiciones tomadas al azar y los resultados que se informan, son el promedio de las mismas.

II. J. 5. Parámetros calculados.

Con los resultados de las lecturas L^* , a^* y b^* , se procedió a calcular los siguientes parámetros:

- * Diferencia de color

$$\Delta E = \sqrt{(L-L_0)^2 + (a-a_0)^2 + (b-b_0)^2}$$

Los parámetros L^* , a^* y b^* se leyeron y el valor ΔE se calculó para cada muestra: donde L_0 , a_0 , y b_0 representan los parámetros de color de las muestras control (no tratadas) y L^* , a^* , y b^* los de las muestras tratadas.

- * Angulo Hue, $\text{hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$

II. K. Textura.

II. K. 1. Acondicionamiento de las muestras.

Para la caracterización textural del producto, se utilizaron algas deshidratadas con y sin tratamiento de ósmosis previo, las cuales fueron molidas según lo descrito en II. J. 2..

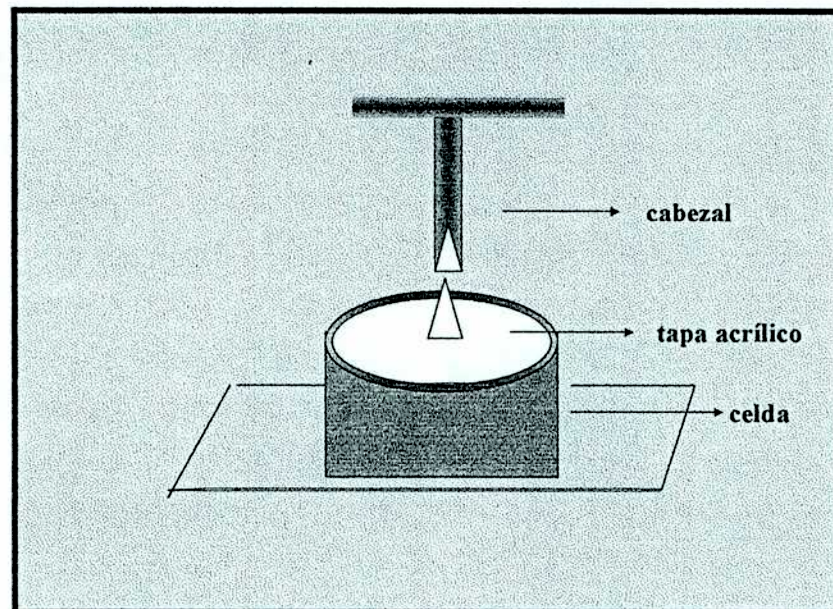
II. K. 2. Equipo utilizado.

Los tests mecánicos se realizaron con una máquina universal de testeo marca Instron (modelo 1011, Instron Corp., Massachussets, USA). Los datos se adquirieron con una computadora conectada a la máquina de testeo por medio de una tarjeta de interfase que convertía la información de analógica a digital. Se usó un programa desarrollado al efecto, recogándose datos a razón de uno cada 3,6 seg.

En el ensayo de compresión y de relajación, la velocidad de movimiento del cabezal fue de 5 mm/min y en el ensayo de compresión-decompresión, de 1 mm/min, usando una celda de carga de 50 kgfuerza. Se usaron dos celdas de medición de 30 mm de profundidad y 45 ó 90 mm de diámetro internos, respectivamente. Para facilitar la medición de las

fuerzas compresivas y alcanzar compactación uniforme del producto particulado, un plato de acrílico se colocó encima del producto (Figura II-2). La luz entre el plato de cobertura y las paredes de la celda era de 1 mm con el objeto de evitar fricción con las paredes y efectos provocados por el aire atrapado (Peleg y col., 1973).

Figura II-2
Representación de la celda de medición y cabezal de la máquina de testeo.



II. K. 3. Estudio de los efectos de borde.

Las dos celdas precitadas se usaron para determinar la existencia de efectos de borde en las determinaciones de propiedades mecánicas involucradas (compresión y relajación del espécimen). Con este fin se realizaron los ensayos de compresión (curva fuerza-deformación) y relajación con las muestras deshidratadas y osmotizadas-deshidratadas, analizándose los parámetros obtenidos en cada caso de manera comparativa. La celda usada se montó en la base del Instron y el polvo se comprimió hasta una fuerza de 440 N en la celda de mayor diámetro y hasta 110 N en la celda de menor diámetro, siempre con

velocidad del cabezal de 5 mm/min. En la primera parte de la experiencia (compresión), se registró la curva fuerza-deformación de la muestra. Una vez alcanzada la fuerza máxima precitada en cada caso (esfuerzo constante), se detuvo el cabezal en la posición correspondiente y se dejó relajar el esfuerzo, registrándose la curva de relajación. Cada prueba se realizó, por lo menos, por cuadruplicado.

En el caso de no observar diferencias significativas en los resultados obtenidos con ambas celdas, para cada muestra, se decidió que se continuaría trabajando con la celda de menor diámetro, dado la menor cantidad de muestra necesaria para ello y la ausencia de efectos de borde.

II. K. 4. Curvas fuerza- deformación y relajación.

La celda usada se montó en la base del Instron y el polvo se comprimió hasta una deformación constante de 5 mm con una velocidad del cabezal de 5 mm/min.

En la primera parte de la experiencia (compresión) se registró la curva fuerza-deformación de la muestra. Una vez alcanzada la deformación máxima precitada, se detuvo el cabezal en la posición correspondiente y se dejó relajar el esfuerzo, registrándose la curva de relajación.

Cada prueba se repitió entre 4 y 5 veces para cada tratamiento estudiado y los resultados informados, son los promedios de aquellos datos.

Los datos de la curva de relajación se ajustaron con la ecuación propuesta por Peleg (1979):

$$Y(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0} = \frac{abt}{1 + bt}$$

Recordemos que F_0 es la fuerza al inicio de la relajación y $F(t)$ es la fuerza luego de transcurrido un tiempo t de relajación, siendo a y b constantes características del material.

II. K. 5. Curvas de compresión-decompresión.

Los especímenes también se sometieron a ciclos de compresión (deformación máxima: 5 mm) – decompresión, revirtiendo el movimiento del cabezal, que en este caso se movió a velocidad de 1 mm/min. Se trabajó con la celda de medición de 45 mm de diámetro interno y de 30 mm de altura (una vez comprobada la no-existencia de efectos de borde).

La energía absorbida por el polvo se calculó a partir del área encerrada por el nudo de histéresis comprendido entre la rama de compresión y la de decompresión. Para la integración del área bajo la rama de compresión se usó un ajuste polinómico de la curva correspondiente, de la forma:

$$F = a + b X + c X^2 + d X^3 + e X^4$$

Y para la integración de la rama de decompresión, se usó un ajuste de la forma:

$$F = f + g e^{- (hX)}$$

Donde:

F = fuerza (N)

X = deformación (m)

a, b, c, d, e, f, g, h = constantes de la ecuación

Procediéndose a integrar las ramas y a calcular el trabajo total y el trabajo recuperable, respectivamente.

II. L. Determinación de la densidad.

La densidad se determinó en la celda de 45 mm de diámetro y 30 mm de profundidad, dividiendo el peso de las algas contenidas luego de un proceso de llenado estandarizado, por el volumen de la celda. La densidad con “golpeteo” (tapping) se determinó evaluando la masa de algas contenida luego de “golpear”

diez veces, la celda de medición que las contenía, sobre la mesa, en forma manual. Los resultados presentados son los promedios de cuatro medidas. A partir de las densidades precitadas se calculó la relación de Hausner (Onwulata y col., 1996), como el cociente de la densidad global luego de la compactación y la densidad global previa a la misma.

II. M. Rehidratación.

Se determinaron las características de rehidratación de las algas deshidratadas a 30°C con y sin previo tratamiento de ósmosis. Estas algas fueron molidas según lo descrito en II. J. 2., pesándose ~ 1 g de muestra, la cual se rehidrató, en 200 ml de agua destilada por espacio de 1 min. A este fin, se usó una celda esférica, de malla de acero inoxidable de poro menor a 700 μm , la cual contenía las algas. A continuación de la inmersión, las algas fueron escurridas por golpeteo de la celda (10 veces) para lograr eliminar el agua excedente. Posteriormente se determinó el peso final y se calculó la masa rehidratada por cada g de masa inicial. Se realizaron las determinaciones por cuadruplicado y se informan los valores medios.

II. N. Cálculos complementarios y tratamiento estadístico de los datos.

II. N. 1. Significatividad de las diferencias.

Para la evaluación de la significatividad (p : 0,05) de las diferencias entre los parámetros característicos de las algas sometidas a los distintos tratamientos, se utilizó el análisis de la varianza (ANOVA) y el test de Student (Sokal y Rohlf, 1969).

II. N. 2. Ajuste de los modelos.

Para el ajuste de los datos a los distintos modelos testeados se realizaron regresiones lineales o no lineales, según correspondiese, mediante el programa Excel (Microsoft Office para Windows, 1998) o el utilitario Non-Lin (Phillip H. Sherrod, Nashville, TN, USA, 1992). La bondad del ajuste se analizó, respectivamente, con el test de ANOVA ($p:0,05$) o con el de Durbin-Watson (D-W: 0,8).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

III. A. Proceso de ósmosis.

La actividad acuosa (a_w) inicial de las algas fue de 0,998, y su humedad promedio de 0,79 ($\pm 0,19$) g de agua/ g de alga.

Para deprimir la a_w del alga en estudio, se realizó su impregnación en distintas soluciones de ósmosis. Las soluciones utilizadas de NaCl (26% p/p, a_w 0,760 a 25°C) ó de sacarosa (60% p/p, a_w 0,900, a 25°C) sólo consiguieron deprimir la a_w de las algas a valores mayores de 0,980. El uso de una solución ternaria de $a_w \sim 0,770$ conteniendo sacarosa (46% p/p) y NaCl (11% p/p) deprimió la a_w de las algas a $\sim 0,970$. En la Tabla III-1, se pueden observar los valores de la a_w de las algas que se obtuvieron a las 72 hrs. de ósmosis en la solución ternaria, la cual permitió alcanzar valores de $a_w \sim 0,970$. En coincidencia con nuestros resultados, Sahut (1995) observó que las algas *Porphyra columbina* cosechadas en el primer semestre del año 1995 deprimían más su a_w luego de 10 min. de inmersión en una solución ternaria conteniendo NaCl y sacarosa que en una solución binaria de NaCl.

Entre las propiedades de los tejidos vegetales que influyen en su intercambio de solutos y agua podemos mencionar: compactación, velocidad inicial de difusión de las sustancias no solubles; actividad enzimática; solutos propios; importancia de los espacios intercelulares; gas ocluido; relación de complejos pecto-celulósicos/pectinas libres; velocidad de gelificación de sustancias pécticas (Raoult-Wack y col., 1992). Probablemente el efecto diferencial de las distintas soluciones ensayadas y la dificultad en la depresión de la a_w , se puedan explicar al menos parcialmente, por uno o más de estos hechos:

- * De acuerdo con Fajardo (1998), la pared celular de las algas rojas, está formada por una capa celulósica interna (maciza) y una capa péctica externa (gelatinosa o mucilaginoso). Suele encontrarse en la pared celular un cierto número de sustancias coloidales complejas como ágar, carragenanos, xilanos, mananos y galactanos. Algunos de ellos son insolubles en agua (celulosa, xilanos, mananos) y otros son solubles (sulfato- galactanos: ágar-ágar y carragenanos). Ellos le conferirían una

cierta impermeabilidad y tendencia a la hinchazón de la pared celular en las algas marinas (Stadelmann, 1966).

- * Las algas con las que trabajamos (como ya se comentó en la introducción), permanecen parte del día sin cobertura por el agua, por lo cual deben poseer mecanismos de osmoregulación. Todas las plantas marinas tienen algún grado de osmoregulación: las *Rodophytas* mantienen su presión osmótica por los azúcares y no por las sales, manteniendo un equilibrio entre monosacáridos y polisacáridos ya que si aumenta la presión osmótica, metabolizan monosacáridos (Fajardo, 1998). Además son resistentes a la desecación.
- * La salinidad de los océanos varía entre 35 y 40 por mil y el pH del agua de mar es 7,5-8,5. Dentro de bahías, golfos y estuarios se encuentran valores más bajos de salinidad. Las algas rojas intermareales de zonas templadas soportan cambios de 0,3 a 2,2 veces la salinidad normal. Debido a ello los talos laminares de *Porphyra* son tolerantes respecto a la salinidad (Fajardo, 1998).
- * Collignan y Raoult Wack (1992, 1994) encontraron que al deshidratar por ósmosis, distintos alimentos, existía un efecto sinérgico del azúcar y la sal en la pérdida de agua.

Sahut (1995), trabajando con algas *Porphyra columbina* recolectadas en otra época del año y usando una solución ternaria conteniendo sacarosa y NaCl con a_w 0,815 deprimió la a_w inicial (0,985) a valores de 0,924 en 20 min. usando un dispositivo experimental análogo al aquí utilizado. Esto nos muestra la gran influencia de la característica del alga, dada en este caso, por el mes de cosecha, en la respuesta al tratamiento. De cualquier modo la precitada investigadora destaca la probable existencia de un mecanismo de autodefensa de las algas así como la influencia de su alto contenido de fibra como causante de la dificultad observada a la depresión de la a_w .

Tabla III - 1

Actividad acuosa (a_w) de algas *Porphyra columbina* equilibradas en la solución ternaria (a_w 0,770) durante distintos tiempos.

Tiempo (hrs.)	a_w
0	0,998
24	0,975
48	0,970
72	0,973

La humedad final promedio de las algas osmotizadas fue de 0,71 (\pm 0,13) g de agua/ g de alga.

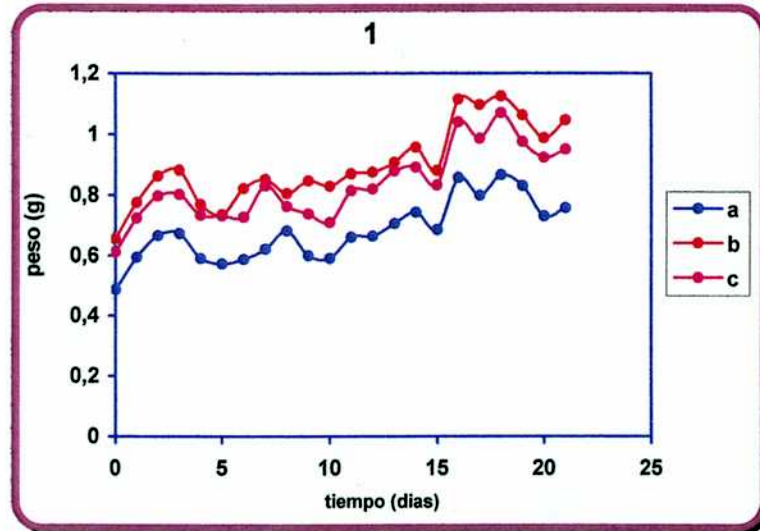
III. B. Isotermas de sorción.

III. B. 1. Isotermas de adsorción.

Cuando se realizaron las isotermas de adsorción, se observó que no se alcanzaba el equilibrio correspondiente por lo cual las mismas no se pudieron determinar. A modo de ejemplo, en la Figura III-1 se muestra la variación del peso con respecto al tiempo para las algas tal cual en una de las soluciones usadas: es evidente la oscilación del peso marcando la dificultad en la llegada al equilibrio. Las sustancias coloidales complejas presentes, de por sí, le dan cierta impermeabilidad al tejido (Stadelmann, 1966) y el tratamiento de deshidratación aplicado, previo a la isoterma, podría introducir cambios adicionales que afectarían el comportamiento sorcional impidiendo la llegada al equilibrio precitado.

Figura III - 1

Variación del peso con el tiempo para las algas tal cual en atmósfera de solución saturada de K_2SO_4 .



a, b, c: Triplicados del ensayo.

III. B. 2. Isotermas de desorción.

Se obtuvieron experimentalmente las isotermas de desorción de las algas tal cual y de aquéllas que fueron osmotizadas en la solución ternaria. Las algas fueron expuestas a diferentes a_w en un rango que fue desde 0,110 a 0,974 a temperatura de 25°C. También se realizó la isoterma a 45°C de algas sin tratamiento de ósmosis. En el caso de las isotermas a 25°C, la contaminación de la muestra a a_w 0,974, no permitió obtener la información correspondiente.

En la Tabla III-2 se muestran los resultados de las humedades promedio alcanzadas al final de cada una de las experiencias realizadas. Para el caso de la isoterma de desorción a 25°C sin tratamiento, puede observarse que cuando se trata de a_w iguales o menores a 0,577, los valores de humedad son mayores comparados con los obtenidos a 45°C. Pero para valores de a_w mayores a 0,577 los valores de humedad son mucho menores. También se puede observar que la isoterma de desorción, a 25°C, de las algas sometidas a tratamiento de ósmosis, presentan valores de humedad promedio superiores a los

correspondientes a las algas sin tratamiento a la misma temperatura, para a_w mayores de 0,577.

Tabla III - 2

Humedad promedio de *Porphyra columbina* equilibradas con atmósferas de distintas humedades relativas a 25°C y 45°C.

Humedad promedio (% b. s.) de <i>Porphyra columbina</i>.			
a_w *	Tal cual, 25°C	Osmotizada, 25°C	Tal cual, 45°C
0,110	6,9525	3,2177	3,1252
0,390	12,2982	6,4871	6,0824
0,577	15,8871	12,3927	13,1955
0,753	17,3264	21,4318	29,6488
0,843	24,2361	35,3175	31,3443
0,902	36,4248	57,5924	61,9570
0,974			91,8812

b. s.: base seca.

* : a 25°C (Kitic y col., 1986).

Se observó que cuando la humedad relativa (HR) de la atmósfera era de 11%, las algas no alcanzaban el equilibrio ya que en las algas tal cual se alcanzaba una a_w de 0,215 y en las algas osmotizadas, de 0,398, a 25°C. Sin embargo las isotermas se obtuvieron graficando las humedades (g agua /100 g de alga en base seca) alcanzadas por las algas frente a las humedades relativas de las diferentes soluciones salinas saturadas (rango de a_w de 0,110 a 0,974) a las cuales fueron expuestas, a temperaturas de 25°C y 45°C.

Puede observarse en las Figuras III-2 a III-4, que las isotermas no presentan la forma típica sigmoide de otros productos biológicos (Brunauer y col., 1938 y 1940; Kinsella y Fox, 1986). El comportamiento sorcional de las algas es semejante al mostrado por los azúcares y los azúcares-alcoholes: a baja a_w , sólo una pequeña cantidad de agua es adsorbida. Si el producto ha adsorbido suficiente agua (vapor) permitiendo que la superficie se disuelva, la cantidad de agua adsorbida aumenta bruscamente hasta que todo el producto

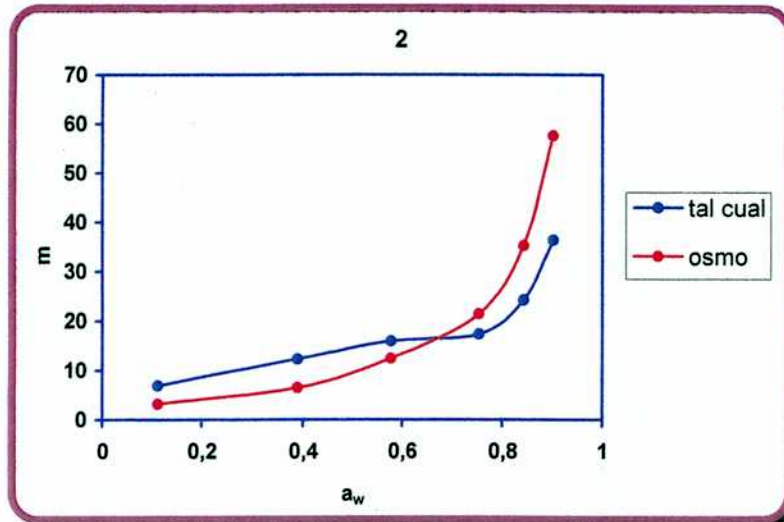
se disuelve. En la zona de quiebre, en el caso de los azúcares, cuando el producto comienza a disolverse en la superficie, existe una significativa dependencia con la temperatura (a mayor temperatura, los valores de a_w son menores para igual humedad) tal como observamos para nuestro producto. Por el aumento de solubilidad de los azúcares en agua, con el aumento de temperatura, el agua permite disolver más cristales, deprimiendo la a_w (Weisser, 1985).

En la Figura III-2 se observan las isotermas de desorción llevadas a cabo a 25°C con y sin tratamiento de ósmosis. Para el caso de la isoterma a 25°C de las algas con proceso de ósmosis, se observa que hasta $a_w \sim 0,7$ se presentan valores de humedad menores que para las algas tal cual y para a_w mayores a $\sim 0,7$, la tendencia se invierte. O sea, que a una a_w de $\sim 0,7$, se produce un cruce siendo allí la humedad de $\sim 15\%$ en base seca. Lazarides (1995), observó que en el rango de a_w 0,1-0,9, la ósmosis previa a la deshidratación al vacío producía una disminución en la humedad de equilibrio correspondiente a cada actividad acuosa.

La depresión de la a_w en alimentos se debe a una combinación de mecanismos cada uno de los cuales puede predominar en un rango dado de actividad acuosa. La disminución en los valores de sorción para a_w menores a $\sim 0,7$, a consecuencia de la ósmosis, podría deberse a entrecruzamientos producidos entre los componentes por las sustancias usadas para la ósmosis, el cual expondría menos sitios activos a la sorción, disminuyendo la humedad sorbida a cada a_w . El descenso de pH involucrado en el proceso de ósmosis también podría afectar los resultados (Lapasin y Pricl, 1995). A altas a_w , el efecto de aumento observado en la sorción podría tener que ver con que el fenómeno prevaleciente fuese la disolución, la cual se vería favorecida por la previa incorporación de NaCl y sacarosa en las algas tratadas. Una tendencia al cruce también se observó en otros productos tales como proteína de soja con y sin tratamiento térmico (Gerschenson y col., 1983)

Figura III - 2

Isoterma de desorción a 25°C de *Porphyra columbina* con y sin tratamiento osmótico.



m: humedad (g agua/100 g de alga en base seca).

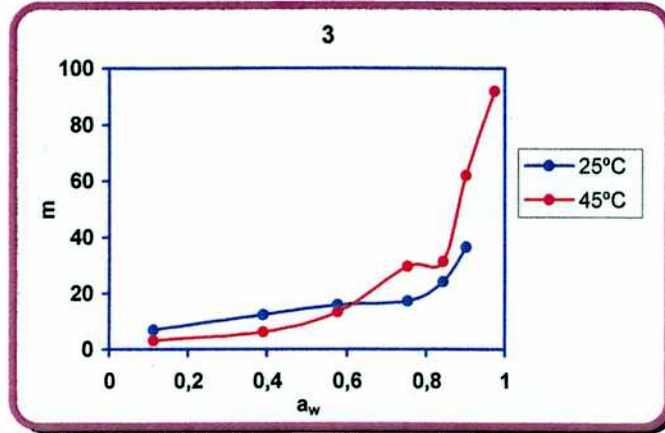
a_w : actividad acuosa.

osmo: osmotizada

En la Figura III-3 se puede observar un cruce entre las isoterma de desorción de las algas tal cual, para a_w cercano a 0,6, invirtiéndose luego la tendencia observada cuando se grafican los resultados obtenidos a 25°C y 45°C. Se puede apreciar que a mayor temperatura, los valores de humedad son menores para las a_w inferiores a $\sim 0,6$. Esto coincide con los resultados reportados por Iglesias y Chirife (1982) e Iglesias y col. (1986) para distintos alimentos.

Figura III - 3

Isoterma de desorción a 25°C y 45°C de *Porphyra columbina*.

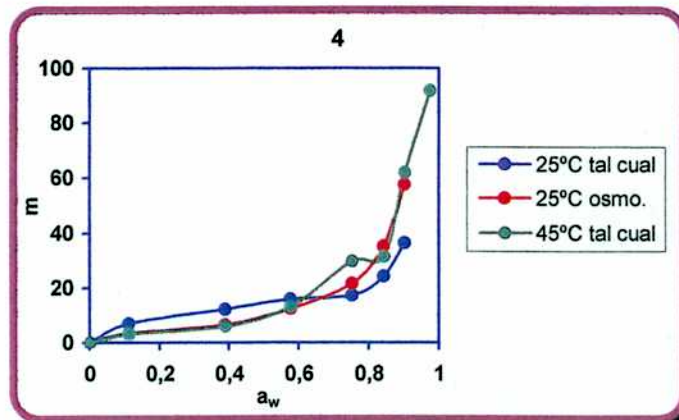


m: humedad (g agua/100 g de alga en base seca).
 a_w : actividad acuosa.

En la Figura III-4, a manera de referencia, se muestran las tres isotermas desarrolladas bajo las condiciones especificadas, donde claramente se observan los cruces que se producen en las mismas. Puede observarse que las isotermas a 25°C osmotizadas y la de 45°C son prácticamente iguales hasta a_w 0,6.

Figura III - 4

Isotermas de desorción a 25°C y 45°C de algas *Porphyra columbina* con y sin tratamiento osmótico



m: humedad (g agua/100 g de alga en base seca).
 a_w : actividad acuosa.
osmo.: osmotizada.

III. B. 3. Resultados del ajuste de los datos sorcionales.

La dificultad de tener un solo modelo matemático ya sea teórico o empírico para describir exactamente la isoterma de sorción, en todo el rango de a_w , y para diferentes tipos de alimentos, se debe a que la disminución de a_w en los alimentos se produce por la combinación de diversos factores los cuales pueden ser predominantes en un rango de a_w y no en otro. Las isotermas de sorción de alimentos representan las propiedades higroscópicas de todos los constituyentes que integran el alimento, las cuales pueden cambiar en razón de interacciones químicas y/o físicas como consecuencia de aplicación de calor o cuando son sometidos a otros pre-tratamientos y debido al propio fenómeno de sorción, ya que el agua sorbida en el alimento puede vehicular y desencadenar cambios tales como los cambios de fase de los azúcares que se encuentran en los alimentos (Chinfe e Iglesias, 1978).

Como se hizo referencia en el acápite de materiales y métodos, los modelos que se usaron para ajustar las isotermas de desorción obtenidas, fueron, los que habitualmente son propuestos en la bibliografía para diferentes alimentos.

Los modelos BET, GAB, Henderson, Halsey, Bradley y Oswin fueron aplicados a los datos obtenidos, para todas las pruebas realizadas. De todos ellos el modelo de Oswin fue el que mostró mejor ajuste en todo el rango de a_w estudiado. Se reportan los resultados de este ajuste así como los obtenidos con BET por el interés en los estudios de estabilidad.

III. B. 3. 1. Modelo de BET.

Se ajustaron los datos obtenidos para $a_w \leq 0,577$ con el modelo de BET, para las isotermas obtenidas a 25°C con y sin tratamiento. Es de destacar que este modelo se ha postulado para isotermas de adsorción (Brunauer y col., 1938), a pesar de lo cual el ajuste ha sido adecuado con los datos de desorción a 25°C.

La isoterma obtenida a 45°C no presentó un buen ajuste con este modelo, ni siquiera considerando un rango de a_w más estrecho.

Los resultados pueden observarse en la Tabla III-3. Empleando un análisis de varianza (ANOVA) se obtuvieron valores de R^2 entre 0,93 y 0,98 y un valor de F aceptable ($p: 0,05$), en ambos casos.

Tabla III - 3

Parámetros resultantes del ajuste de las Isotermas de desorción a 25°C con la ecuación BET.

Tratamiento	m_m (g /100 g b. s.)	a_w &	q (Kcal/mol)	F	R^2
Algas tal cual	6,94 ± 0,48	0,11	3,92 ± 0,10	79,5984	0,9876
Algas osmotizadas	5,44 ± 0,90	0,35	1,18 ± 0,22	14,2498	0,9344

m_m : humedad de monocapa

q: calor de sorción

& : estimado a partir de la isoterma de 25°C

b.s.: base seca

Se puede observar que la ósmosis produce un descenso aunque no significativo ($p: 0,05$) en la humedad de monocapa a 25°C y un aumento en la actividad acuosa correspondiente a dicha humedad. Se observa también un descenso significativo en el calor de sorción. Lazarides (1995) también observó una disminución en la humedad de monocapa de rodajas de manzana deshidratadas al vacío cuando la deshidratación fue precedida por ósmosis en solución de sacarosa. Sin embargo, él encontró un aumento en el calor de sorción con la ósmosis a lo cual atribuyó la mayor energía requerida para la remoción de agua durante la deshidratación al vacío.

Rhim (1993) estudió las características de sorción de algas *Porphyra yezoensis* secadas y sazonadas a las temperaturas de 30°C, 40°C y 50°C. Dichos datos fueron modelados usando la ecuación de BET, para todo el rango de a_w de 0,1 a 1,0; los valores de humedad de monocapa, resultaron ser de 5,26; 4,46 y 3,49 % en base seca, respectivamente. En este estudio, el tiempo para alcanzar el equilibrio en el contenido de humedad varió entre 4 y 6 hrs. Hirata e Ishitani (1985) destacaron la importancia de estudiar las condiciones óptimas de almacenamiento de *Porphyra yezoensis* deshidratada por la labilidad de su calidad (deterioro de carotenoides, clorofila y vitamina C)

observando que el contenido de humedad del alga juega un rol muy importante en la calidad, especialmente a temperatura ambiente. Por todo ello, la aparente constancia de la humedad de monocapa con un correlato de mayor a_w a esa humedad, permitiría asegurar un producto más resistente a humedades relativas más altas luego del tratamiento de ósmosis.

III. B. 3. 2. Modelo de Oswin.

Este modelo es ampliamente usado en bibliografía para el ajuste del comportamiento sorcional de leche en polvo descremada y té liofilizado hasta a_w de 0,5, para diferentes variedades de maíz, trigo y maní (Labuza y col., 1976; Chirife e Iglesias, 1978). De acuerdo con Boquet y col. (1978), el modelo de Oswin ajusta adecuadamente los datos de sorción de vegetales y de alimentos almidonáceos o proteináceos.

Los resultados obtenidos del ajuste de nuestros datos a la ecuación de Oswin, se reportan en la Tabla III-4. Se observa que los valores de R^2 varían entre los valores de 0,90 – 0,98 y el parámetro de Durbin-Watson (D-W) toma valores mayores a 0,80. Los valores de F para los tres casos estudiados fueron significativos (p : 0,05). Se observa un descenso en la constante a y ascenso en n con el tratamiento de ósmosis así como un efecto no significativo del aumento de temperatura en el rango 25°C - 45°C en el comportamiento sorcional.

Tabla III - 4
Ajuste de las isotermas de desorción al modelo de Oswin.

Tratamiento	a (g agua/100 g alga b. s.)	n	R^2	F	D-W
Algas tal cual (25°C)	13,16 ± 2,12	0,42 ± 0,09	0,9208	140,47	1,172
Osmotizadas (25°C)	8,75 ± 2,00	0,84 ± 0,13	0,9820	600,77	1,966
Algas tal cual (45°C)	15,64 ± 4,28	0,51 ± 0,10	0,9000	153,42	1,070

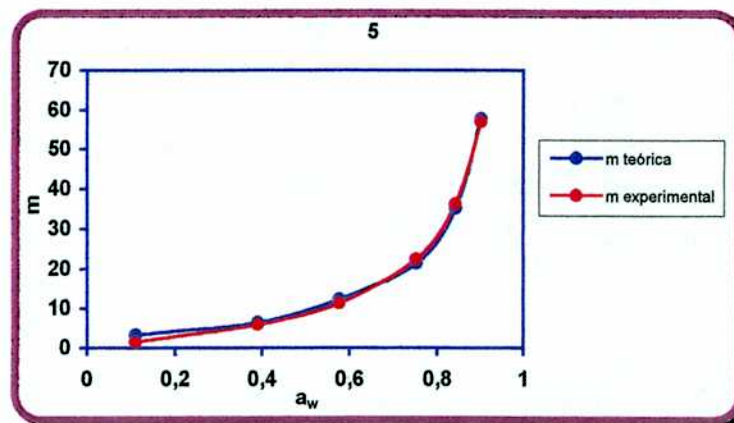
a }
n } Parámetros del modelo de Oswin

D-W : parámetro de Durbin-Watson del test para autocorrelación.
b. s.: base seca.

En la Figura III-5 se observa, a modo de ejemplo, la curva experimental y teórica basándose en el ajuste realizado con la ecuación de Oswin, correspondiente a las algas osmotizadas. En la misma se puede apreciar el buen resultado obtenido.

Figura III - 5

Ajuste con el modelo de Oswin de la isoterma de desorción a 25°C de las algas osmotizadas.



m : humedad (g agua/100g de alga en base seca)

a_w : actividad acuosa.

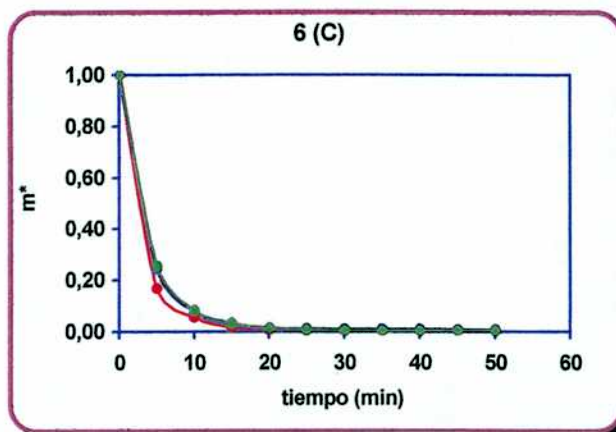
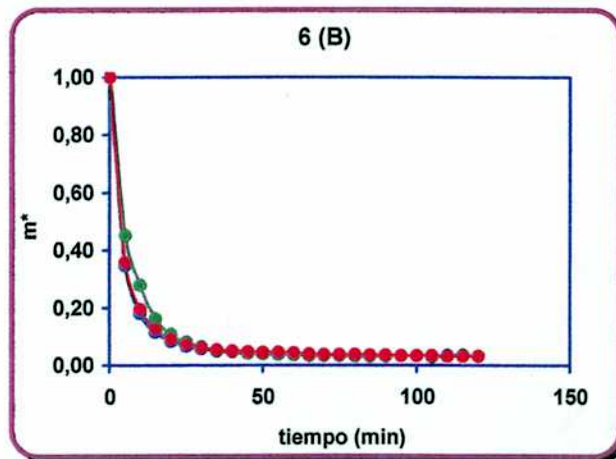
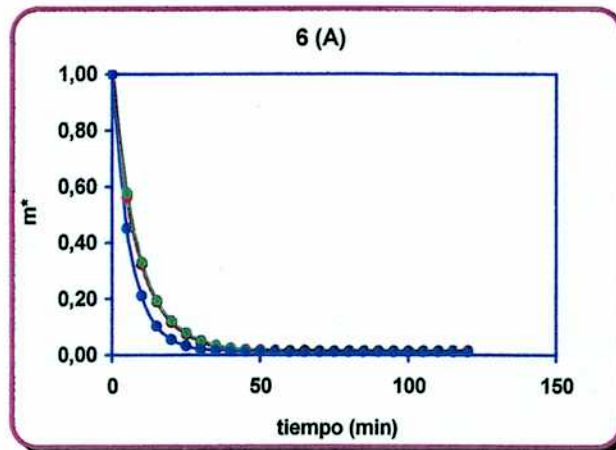
III. C. Secado de *Porphyra columbina*.

Los datos de secado se representaron como m^* versus tiempo, siendo m^* la humedad adimensional ($m - m_e / m_i - m_e$, donde m es la humedad al tiempo t , m_e es la humedad de equilibrio y m_i es la humedad inicial, todas las humedades expresadas como g agua/g alga base seca). Para el cálculo de m^* se requiere del valor de la humedad de equilibrio. Dicho valor se obtuvo de la isoterma de desorción del producto para las condiciones de humedad relativa del aire usado para el secado según lo reportado en materiales y métodos.

Ensayos típicos de reproducibilidad de las distintas experiencias de secado se muestran en las Figuras III-6 (A, B y C) para algas con y sin proceso de ósmosis y a temperaturas de 30°C y de 55°C. Se puede observar, en dicha figura, la buena reproducibilidad, obtenida en los ensayos realizados.

Figura III - 6

Reproducibilidad de las curvas de secado de algas tal cual (T: 30°C, A; 55°C, C) y de algas osmotizadas (T: 30°C, B)



m^* : corresponde a $m - m_e / m_i - m_e$, donde m es la humedad al tiempo t , m_e es la humedad de equilibrio con el aire usado y m_i es la humedad inicial, todas las humedades m expresadas como g agua/g alga base seca.

III. C. 1. Curvas de secado para los diferentes tratamientos.

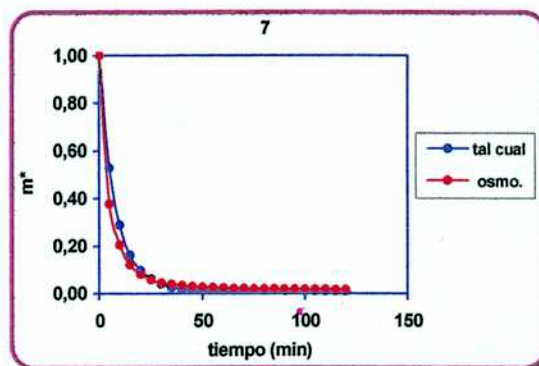
Los datos que se obtuvieron del curso de la pérdida de humedad de las algas en estudio bajo los términos de m^* versus el tiempo de las algas tal cual o con tratamiento de ósmosis, realizadas a 30°C por 120 min, están representados en la Figura III-7. Estas curvas muestran las formas características que se obtienen cuando se secan productos biológicos.

En las curvas de secado no se detectó la presencia de un período inicial de velocidad de secado constante, hecho ya observado por otros investigadores al deshidratar en corriente de aire distintos alimentos (Álvarez y col., 1995; Vaccarezza y Chirife, 1975).

De acuerdo a lo que se observa en las curvas de secado, en la parte inicial, la caída de m^* es mayor por que el contenido de agua es alto. A medida que se desarrolla el proceso, la disminución de la humedad remanente y la modificación de los componentes de las algas determinarían la disminución de la velocidad de secado observada. Es de destacar que las algas *Porphyra spp* poseen sustancias coloidales en su estructura tisular, las cuales pueden modificarse por el tratamiento térmico aplicado, afectando el movimiento de agua durante el secado.

En la Figura III-7 puede observarse una velocidad levemente mayor de pérdida de humedad a 30°C en el caso de las algas osmotizadas.

Figura III - 7
Secado a 30°C de *Porphyra columbina* con y sin tratamiento osmótico previo.

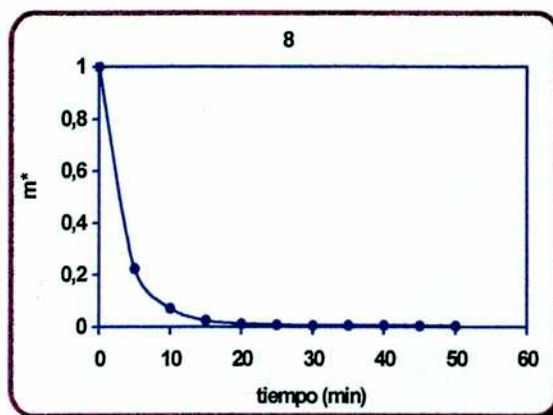


m^* : humedad adimensional que corresponde a $m - m_e / m_i - m_e$, donde m es la humedad al t , m_e es la humedad de equilibrio y m_i es la humedad inicial, todas la humedades m expresadas como g agua/g alga base seca
osmo. : osmotizada.

En la Figura III-8, se muestran los resultados de secado de las algas a 55°C.

Figura III- 8

Secado a 55°C de *Porphyra columbina* (sin tratamiento de ósmosis)

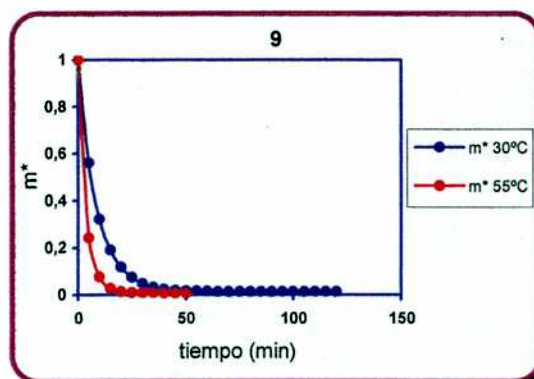


m^* : humedad adimensional que corresponde a $m - m_e / m_i - m_e$, donde m es la humedad al tiempo t , m_e es la humedad de equilibrio y m_i es la humedad inicial, todas la humedades m expresadas como g agua/g alga base seca.

Cuando se comparan las curvas de secado de las algas sin tratamiento de ósmosis realizadas a 30°C y a 55°C, puede observarse que a mayor temperatura, la velocidad de secado es mayor (Figura III-9).

Figura III- 9

Secado de *Porphyra columbina* a 30°C y 55°C sin tratamiento de ósmosis previo.



m^* : humedad adimensional que corresponde a $m - m_e / m_i - m_e$, donde m es la humedad al tiempo t , m_e es la humedad de equilibrio y m_i es la humedad inicial, todas la humedades m expresadas como g agua/g alga base seca.

Las algas tal cual presentaban un contenido de humedad inicial de 79%, aproximadamente. Después del procedimiento del secado a 30°C, éste se redujo a un nivel final de 9,62% y cuando el secado se realizó a 55°C, la humedad alcanzó un valor de 3,53%. Al secar algas osmotizadas a temperatura de 30°C, se redujo la humedad hasta el 7,31% (Tabla III-5).

Tabla III - 5

Humedad final del alga luego de los tratamientos.

Tratamiento	Humedad final (g agua / 100 g alga)
Algas tal cual 30°C	9,62 ± 1,18
Algas osmotizadas 30°C	7,31 ± 0,09
Algas tal cual 55°C	3,53 ± 2,40

Las algas muestran una a_w inicial de 0,998; después de las 2 hrs. del desarrollo del secado a 30°C, la a_w alcanzó valores de 0,420 y 0,480 para las algas sin tratamiento de ósmosis y con tratamiento de ósmosis, respectivamente (valor experimental). Por lo tanto, no se alcanza el valor de monocapa en ninguno de los dos casos. Es de destacar que los valores de a_w obtenidos de la isoterma a 25°C fue de 0,25 y 0,47 para cada una de las algas precitadas lo que permite llegar a la misma conclusión.

En el caso del secado a 55°C, se alcanza en aproximadamente 40 min, una a_w de 0,200. Como el valor de monocapa no se encuentra disponible no se puede informar la relación del valor obtenido con éste.

III. C. 2. Modelos de secado.

Entre las ecuaciones citadas en la introducción, se testeó la aplicabilidad del modelo simple exponencial y del modelo de Page (1949), para modelar los datos experimentales obtenidos en el presente trabajo, dado el amplio uso de los mismos en los casos de secado en lecho fino. Los datos se correlacionaron en la forma de m^* vs el tiempo t .

El criterio usado para elegir el modelo que mejor describe los datos experimentales es el del valor más alto del coeficiente de regresión, del parámetro F y del coeficiente de Durbin-Watson ($D-W$).

No se obtuvo un buen ajuste de los datos para el modelo simple exponencial con las algas en estudio, por lo que estos datos no se informan.

Para el modelo de Page (1949), los datos cinéticos fueron modelados en un rango de m^* comprendido entre el valor inicial y un valor final de $\sim 0,020$, rango en el cual los datos mostraron un buen ajuste del modelo para los distintos casos, a 30°C . Pero para el secado a 55°C , se pudo ajustar hasta la m^* final de $\sim 0,005$. Probablemente los cambios ocurridos al material a cada temperatura de secado, condicionaron la bondad del ajuste a las humedades precitadas.

Como se observa en la Tabla III-6, el ajuste es muy significativo ($p: 0,05$) dado los valores obtenidos de los parámetros F y de $D-W$, estando los coeficientes de regresión por encima de $0,98-0,99$.

Se puede observar en la Tabla III-6 que k aumenta significativamente ($p: 0,05$) con la temperatura. Sokhansanj y Patil (1996) observaron, en general, igual tendencia, cuando secaron en lecho fino, tallos de alfalfa a temperaturas de 40 a 800°C . Asimismo puede observarse un aumento de k y una disminución de n con el tratamiento de ósmosis. En la Figura III-10 se puede observar que prevalece el aumento de k determinando un aumento de la velocidad de secado con el aumento de temperatura y un leve aumento de dicha velocidad con la ósmosis.

El aumento de temperatura de secado acelera el proceso de deshidratación en coincidencia con lo ya reportado en bibliografía (Li y Morey, 1984; Madamba, 1994 y 1996; Mazza y Le Maguer, 1980; Sharaf-Eldeen y col., 1980).

Islam y Flink (1982) estudiaron el secado en corriente de aire de rodajas de papa a 65°C, reportando una disminución del coeficiente de difusión del agua con la impregnación previa con sacarosa. Análogos resultados fueron informados por Karathanos y col. (1995) y Nieto (1998), luego de experiencias con manzanas y mango. Álvarez y col. (1995) reportaron que la inmersión en solución 51% de glucosa no producía diferencias significativas en el valor de difusividad efectiva para frutillas. El incremento en la concentración de sólidos solubles tendería a producir un aumento en la resistencia interna al movimiento de humedad pero la degradación de polisacáridos de la pared celular así como las pérdidas al medio de componentes solubles la disminuirían. De acuerdo a cuál de las dos tendencias prevalece en cada tejido vegetal sería el efecto observado por aplicación de la impregnación previa al secado. En nuestro caso se observa una leve tendencia al aumento de la velocidad de secado con la ósmosis lo cual mostraría la prevalencia del segundo de los factores mencionados.

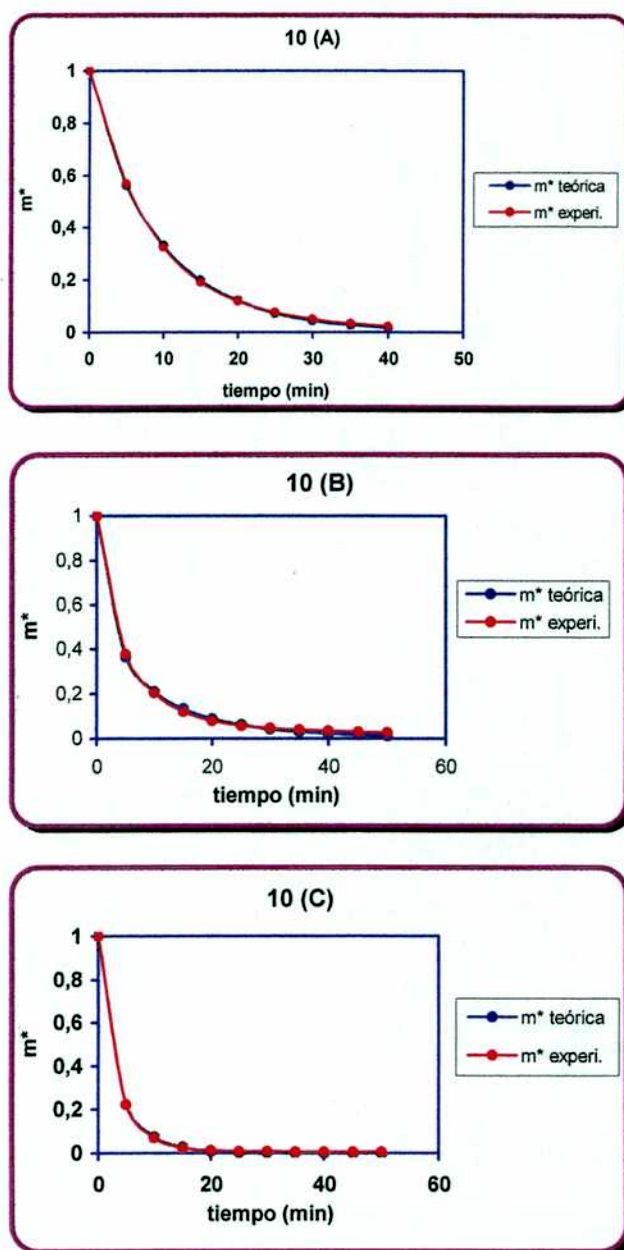
Tabla III- 6
Parámetros resultantes de la aplicación del modelo de Page
a *Porphyra columbina*.

Algas/ temperatura	k (min⁻ⁿ)	n	R²	F	D-W	N
Tal cual, 30°C	0,15 ± 0,04	0,92± 0,11	0,9885	2242,59	2,796	27
Osmotizadas, 30°C	0,36± 0,06	0,64± 0,06	0,9931	4577,09	2,615	33
Tal cual, 55°C	0,42 ± 0,07	0,79 ± 0,09	0,9978	14788,95	3,008	33

k: constante del modelo de Page.
n: constante del modelo de Page.
N: número de datos
D-W: parámetro de Durbin-Watson.

Figura III- 10

Aplicación del modelo de Page a algas *Porphyra columbina* sin tratamiento de ósmosis (30°C, A; 55°C, C) y osmotizadas (30°C, B)



m^* : humedad adimensional que corresponde a $m - m_e / m_i - m_e$, donde m es la humedad al tiempo t , m_e es la humedad de equilibrio y m_i es la humedad inicial, todas la humedades m expresadas como g agua/g alga base seca.
experi.: curva experimental.

III. D. Resultados de color.

En este trabajo se estudió la variación del color de las algas *Porphyra columbina* por efecto del tratamiento de ósmosis y la deshidratación en corriente de aire.

Se midieron los valores triestímulo Hunter L*, a* y b*; y con éstos parámetros se calculó la diferencia de color (ΔE) y el ángulo Hue. Se reportan estos parámetros para las algas tal cual, con tratamiento de ósmosis y algas secadas a 30°C por 120 minutos con y sin tratamiento de ósmosis previo. Los resultados se pueden observar en la Tabla III-7.

Tabla III - 7
Parámetros de color L*, a* y b* para *Porphyra columbina*.

Tratamiento	L*	a*	b*	θ HUE
Alga tal cual	6,08 $\pm 0,21$	6,02 $\pm 0,20^c$	5,40 $\pm 0,30$	41,88 $\pm 0,04$
Alga osmotizada	4,45 $\pm 0,10^a$	4,70 $\pm 0,07$	0,37 $\pm 0,10$	4,56 $\pm 0,02$
Alga deshidratada	4,86 $\pm 0,45^{ab}$	5,18 $\pm 0,26$	3,69 $\pm 0,23$	35,42 $\pm 0,05$
Alga osmotizada y deshidratada	5,23 $\pm 0,39^b$	5,62 $\pm 0,19^c$	0,07 $\pm 0,16$	0,71 $\pm 0,03$

L*, a*, b*: parámetros de color.

θ Hue: ángulo Hue.

Parámetros con igual letra no son significativamente diferentes (p:0,05).

Dentro del tratamiento de secado u otra operación industrial con aplicación de calor, se producen muchas reacciones, las cuales influyen en la variación del color. En el caso de vegetales, se produce la degradación de los pigmentos, especialmente las clorofilas y carotenos; asimismo procede el pardeamiento por la reacción de Maillard y por la oxidación del ácido ascórbico.

Barreiro y col. (1997), realizaron una investigación sobre tomates, observando que, por el tratamiento térmico, se produce la degradación del licopeno (pigmento rojo). Éste, originalmente presenta la forma trans, isomerizándose con el proceso térmico a la forma cis, conduciendo esto al cambio de color. Del mismo modo, la clorofila se ve afectada por el proceso y se transforma a feofitina.

Las algas *Rhodophytas* presentan como pigmento responsable del color, la ficoeritrina (cromoproteína), pigmento soluble en agua que es similar a la ficocianina. En un intento de revelar los cambios conformacionales de la molécula de ficoeritrina, las propiedades físicas de la misma fueron investigadas por Ogawa y col. (1991a) quienes observaron, que a pH menor a 5, por ejemplo, la densidad óptica y la constante de sedimentación aumentan con la disminución del pH. Los autores refieren que la ficoeritrina adopta 3 formas distintas, dependiendo del pH: por arriba de 9, presenta una forma moderadamente expandida; cuando está por debajo de pH 5, presenta una forma agregada y entre pH 5 y 9, una forma compacta. Estos investigadores reportan una reacción reversible de disociación-asociación para la ficocianina en el rango de pH 5,4-6,8. En nuestro trabajo, cuando se somete a las algas al tratamiento de ósmosis se lleva el pH a ~ 3,2, lo que afectaría al pigmento de las algas. Recordemos como se ha dicho anteriormente, que el pH del agua de mar es de 7,5-8,5.

Según los estudios que realizaron Araki y col. (1982), cuando almacenaron "*hoshi-nori*" (alga desecada) por 6 meses a 15-18°C, la misma sufrió la degradación de los pigmentos ficoeritrina, ficocianina, clorofila *a* y los carotenoides. Utilizaron para tal estudio, el método de la cromatografía de columna de intercambio iónico, y concluyeron que la ficoeritrina y ficocianina fueron los pigmentos más estables: sólo se alteró el 10% de estos pigmentos, a una a_w de 0,6. Sugirieron que el color de '*hoshi-nori*' puede ser preservado seguro a una a_w de 0,1 que correspondería al valor de monocapa BET.

Araki y col. (1985) estudiaron la estabilidad de los pigmentos tanto de *yaki-nori* como de *hoshi-nori*, cuando fueron almacenados por tres días a 20°C en 100% de HR y observaron que la clorofila *a* se degradó, para el caso de *hoshi-nori*, a clorofilida *a* y feoforbida *a*; en cambio, en *yaki-nori* sólo lo hizo a feofitina *a*, debido a que la clorofilasa que hidroliza a la clorofila y feofitina *a*, a

la forma clorofilida y feoforbida respectivamente, probablemente se hubiese inactivado por acción del proceso de tostado. A su vez, la clorofila a y los carotenoides fueron degradados de similar forma en el *yaki-nori*, cuando éste fue almacenado por tres meses, en diferentes condiciones de a_w y temperatura.

La descomposición del pigmento de *Porphyra* está muy relacionada con el efecto de a_w en el caso del alga secada. Lee y Choi (1973) examinaron la descomposición del pigmento a temperatura ambiente por 50 días. A valores de a_w de 0,11 a 0,22 la degradación de la clorofila alcanzó un valor mínimo, pero a niveles de a_w más altos, la degradación se incrementó y se formó feofitina. También hubo pérdida de los carotenos a valores de a_w de 0,22-0,34. La máxima estabilidad de ambos pigmentos se alcanzó al contenido de humedad de monocapa.

En nuestro trabajo, las algas deshidratadas alcanzaron una a_w final de 0,42 y 0,48 sin y con tratamiento osmótico previo, sugiriendo una potencialidad de inestabilidad de los pigmentos durante el almacenamiento.

Por otro lado, Hirata e Ishitani (1982), refieren que la ficoeritrina es susceptible a la degradación a contenidos de humedad superiores a 8% a 20°C. Sin embargo, el aumento de humedad no influiría en la degradación de la ficocianina y aloficocianina indicando que las biliproteínas son más estables a la humedad que la clorofila (Park y col., 1973).

III. D. 1. Parámetros de color.

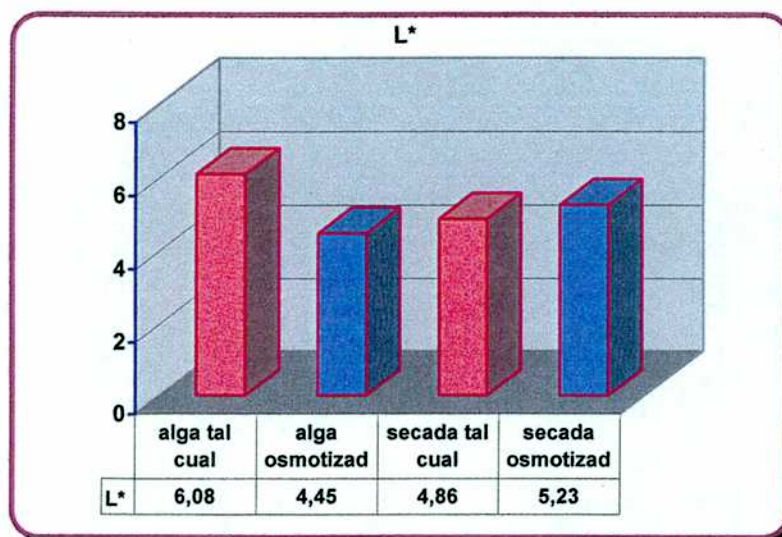
III. D. 1. 1. Parámetro de color L^* .

En la Figura III-11 se muestran los valores de L^* , para el caso de algas frescas, pudiéndose observar que la luminosidad disminuye leve pero significativamente ($p: 0,05$) con todos los tratamientos. Posiblemente la ósmosis (alcanzando pH 3,2) y el secado, influyan en la degradación de los pigmentos del alga, muchos de los cuales son termolábiles y afectados por el cambio de pH como se dijo previamente. Ello determinaría la formación de otros compuestos que generan coloraciones distintas así como una disminución de la luminosidad.

Barreiro y col. (1992) estudiaron la cinética de cambio de color por tratamiento térmico, en pasta de tomate, observando que para el cambio de L^* se observaban dos etapas: en una primera etapa ocurría el cambio de luminosidad según una reacción de primer orden que involucraría la degradación de pigmentos más termolábiles; luego, procedería una segunda reacción, también de primer orden, en la cual ocurriría la degradación de los pigmentos más termoestables. Pezzutti (1994), atribuye el descenso de luminosidad al amarronamiento involucrado en la deshidratación de ajo y cebolla.

Figura III - 11

Cambios de luminosidad (L^*) de *Porphyra columbina* por el tratamiento.



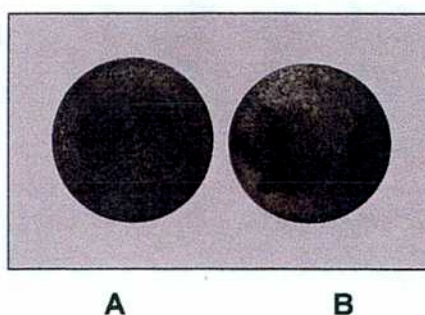
III. D. 1. 2. Parámetro de color a^* .

Durante el tratamiento térmico, se producen cambios de color, probablemente por reacciones de pardeamiento (pardeamiento del ácido ascórbico, reacción de Maillard). De acuerdo con Ha (1975), después de secar las algas *Porphyra*, éstas adoptan un color casi negro y de apariencia brillante.

Este cambio de color sería producido por la combinación de 2 pigmentos específicamente diferentes, la ficoeritrina y la clorofila, y el color obtenido sería el factor dominante en la decisión de la calidad en el alga desecada. En nuestro caso, luego de la deshidratación, el alga se observa de un color marrón oscuro (Figura III-12)

Figura III – 12

Alga *Porphyra columbina* deshidratada sin (A) y con (B) tratamiento osmótico previo



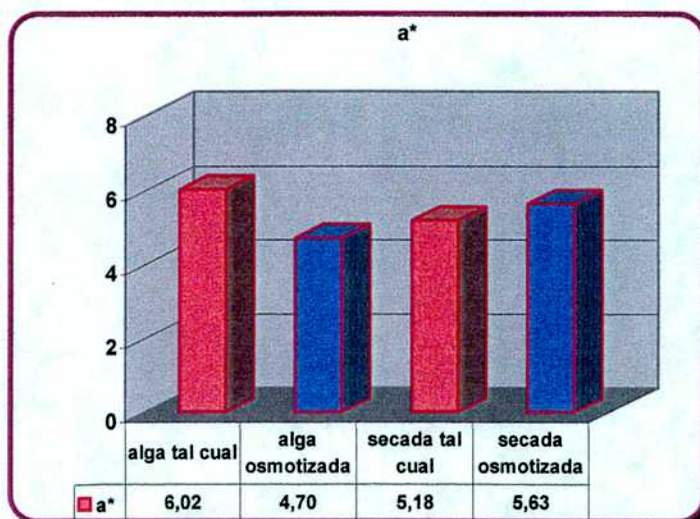
En la Figura III-13 se puede observar la disminución del parámetro a^* con la ósmosis y la deshidratación.

La coloración de las algas *Porphyra* se debe al pigmento ficoeritrina, el cual puede verse afectado por el efecto de la temperatura y también por el cambio de pH, al igual que las clorofilas también presentes. Frente al proceso de ósmosis, la ficoeritrina puede isomerizarse por el cambio de pH. Desde ya que otros cambios en los pigmentos ocurren en paralelo: solubilización de ficoeritrina y ficocianina así como cambios en la ficocianina por efecto del pH (Ogawa y col., 1991a). Cuando se secan las algas, la clorofila se degrada a feofitina y también pueden degradarse carotenos, ficoeritrina y ficocianina (Araki y col, 1982), pudiendo determinar todo ello el cambio de color observado.

En nuestro caso la variación del parámetro a^* es de aproximadamente 22%, 14% y 7% para las algas osmotizadas, secadas y osmotizadas-secadas respecto a las frescas, (Figura III-13). Probablemente el efecto del cambio de pH sobre la ficoeritrina se vea, al menos, parcialmente compensado por el efecto de la deshidratación sobre la clorofila, determinando así que la variación de a^* en las algas osmotizadas y secadas respecto a las frescas sea no significativo.

Figura III - 13

Efecto del tratamiento aplicado al parámetro de color a^* .



La disminución observada de a^* con los tratamientos implica una leve disminución del color rojo.

III. D. 1. 3. Parámetro de color b^* .

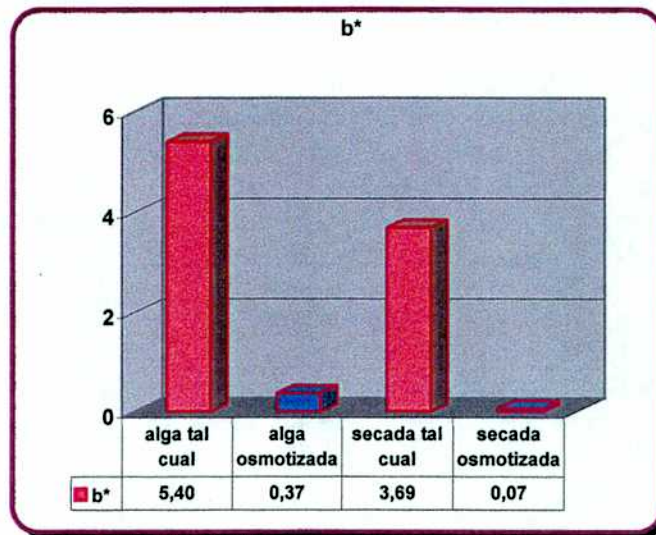
Este parámetro es muy sensible al proceso de ósmosis como se observa en la Tabla III-7. Esta diferencia se mantiene luego del secado.

Es de destacar que a simple vista, el alga se torna más azul-violácea perdiendo los amarillos luego de la ósmosis (lo que es coherente con la disminución del valor de b^* a 0,37) y que no pueden apreciarse diferencias visibles entre las algas con y sin tratamiento de ósmosis luego de la deshidratación.

Podemos observar en la Figura III-14 la disminución del parámetro b^* con los tratamientos, el cual es, aproximadamente, de 93% para las algas frescas osmotizadas; cuando las algas son secadas, es de ~ 32% y cuando son osmotizadas-secadas, la pérdida es de ~ 98%. Por lo tanto, este parámetro es el que muestra más variación de los hasta ahora discutidos, por efecto de la ósmosis, conservándose la diferencia luego del secado.

Figura III - 14

Efecto del tratamiento aplicado al parámetro de color b^* .



III. D. 1. 4. Ángulo hue.

El ángulo hue está relacionado con el color característico y éste está representado por amarillo para un ángulo de 90° ; los productos con un ángulo hue más alto son más verdes, mientras que aquellos con ángulo hue más bajo son rojos o anaranjados (Barreiro y col., 1997).

El ángulo hue disminuye en su valor frente a los tratamientos de ósmosis y de ósmosis-secado (Tabla III-7). Las algas frescas sin tratamiento muestran un valor de hue de 41,88 (menor de 90°): éste es el valor más alto hallado. Cuando son osmotizadas, el ángulo hue disminuye significativamente hasta 4,56 lo que indica una disminución de los amarillos. Ello ya se había observado al analizar el cambio del parámetro b^* .

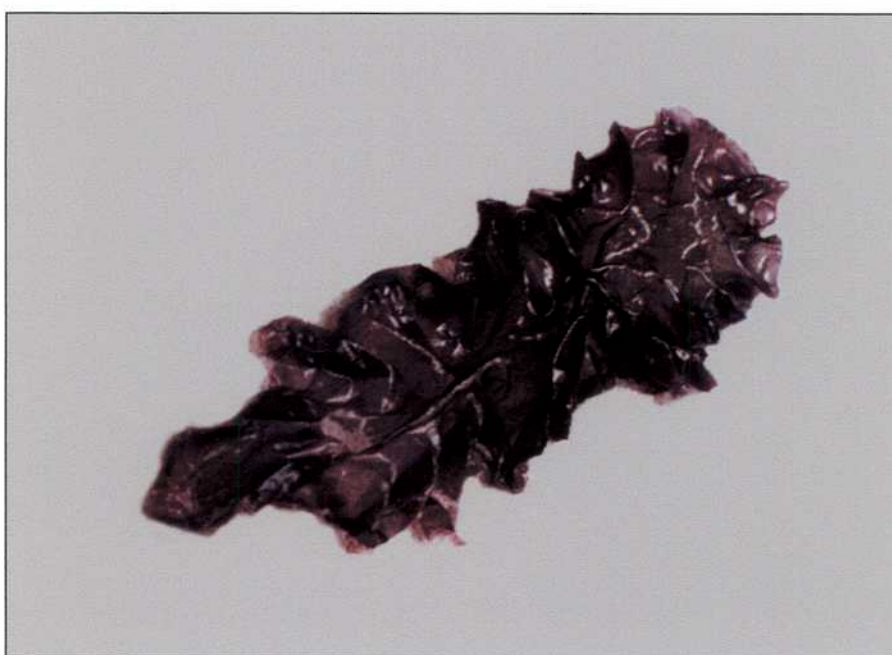
El cambio en el ángulo hue frente al proceso de ósmosis (pH 3,2) indica un cambio de color del alga, cuyos talos muestran un tono violeta luego de la ósmosis con pérdida de amarillos tal como se puede apreciar en la Figura III-15.

Figura III - 15

**Alga *Porphyra columbina* antes (A) y después (B)
del tratamiento osmótico**



A



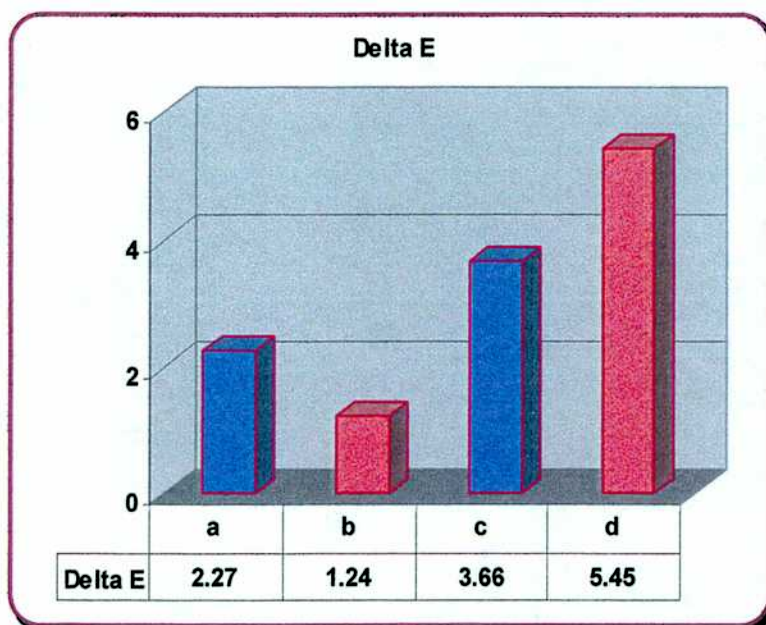
B

III. D. 1. 5. Parámetro delta E.

Según se ve en la Figura III-16, la diferencia de color (ΔE) es mayor cuando se comparan algas tal cual y algas osmotizadas (ΔE : 5,45). Esta diferencia es también alta cuando se comparan las algas deshidratadas sin y con ósmosis previa (ΔE : 3,66).

Figura III - 16

Efecto del tratamiento en la diferencia de color (ΔE).



a: algas tal cual vs algas secadas.

b: algas osmotizadas vs algas osmotizadas-secadas.

c: algas secadas vs algas osmotizadas-secadas.

d: algas tal cual vs algas osmotizadas.

Del cálculo de la diferencia de color, se puede concluir que es la etapa de ósmosis la que introduce mayor diferencia en el color y no la de secado.

III. E. Textura.

III. E. 1. Efectos de borde.

En una primera etapa del estudio de la textura, se realizaron ensayos con celdas de distinto diámetro, como se explicó en materiales y métodos, para evaluar la existencia de efectos de borde.

El análisis de los resultados obtenidos para las curvas de relajación trabajando a esfuerzo (fuerza por unidad de área, F/A) constante, con las celdas de 45 mm y 90 mm de diámetro, mostraron la no-existencia de efectos de borde. Ello se puede observar en la Tabla III-8 donde se ven los parámetros a y b resultantes de linealizar las curvas de relajación de acuerdo con Peleg (1979).

Tabla III - 8

Parámetros de Peleg (1979) para las curvas de relajación de algas: Efecto del diámetro de la celda.

Tratamiento	a		b	
	d = 90 mm	d = 45 mm	d = 90 mm	d = 45 mm
Alga tal cual	0,343 ± 0,055	0,335 ± 0,035	0,009 ± 0,004	0,008 ± 0,001
Alga osmotizada	0,700 ± 0,011	0,762 ± 0,013	0,016 ± 0,002	0,013 ± 0,001

d: diámetro de la celda.

a, b: parámetros de la ecuación de Peleg (1979).

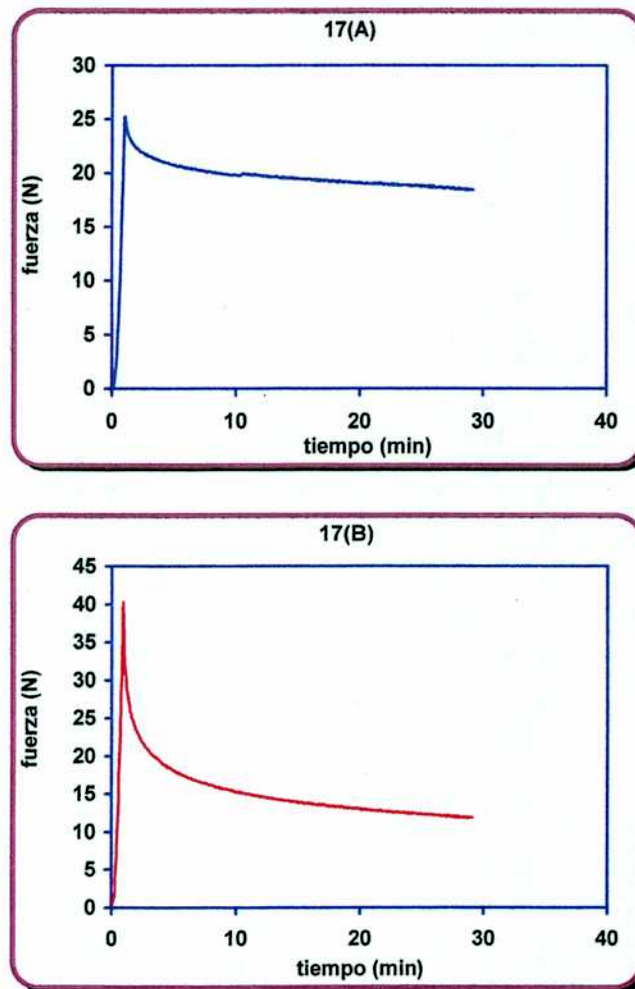
Viendo que no existe diferencia significativa entre los resultados de las celdas de mayor y menor diámetro, se adopta utilizar la celda de menor diámetro en estudios sucesivos.

III. E. 2. Curvas fuerza-deformación y relajación de las algas.

Cuando se realiza la compresión de las algas a deformación constante de 5 mm, se obtienen curvas como la mostrada en la Figura III-17. Podemos ver así que las algas deshidratadas con ósmosis previa alcanzan una fuerza máxima de ~ 40 Newton (N) mientras que las algas sin tratamiento presentan una fuerza máxima de ~ 25 N. También se observa en dicha figura la posterior relajación del esfuerzo.

Figura III - 17

Curvas de fuerza-deformación y relajación de algas deshidratadas (A) y osmotizadas-deshidratadas (B).



En la Tabla III-9 se pueden observar los resultados de la linealización de las curvas de relajación según el método de Peleg (1979). Las constantes **a** y **b** dan una idea de cuan sólido es el producto. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede ver que en el caso de las algas deshidratadas tal cual la constante **b** toma un valor de 0,361 frente al valor de 0,711 en las algas deshidratadas osmotizadas (celda de menor diámetro), lo que nos indica que el alga tal cual relaja más lentamente que el alga con tratamiento de ósmosis. En la Figura III-17 y reafirmando esto, se puede ver que a los 30 min el alga deshidratada presenta una fuerza residual de relajación de aproximadamente 20N y la osmotizada-deshidratada, de aproximadamente 12N. A su vez, se puede observar que las algas deshidratadas presentan un valor de **a** menor que las osmotizadas-deshidratadas, mostrando una característica de comportamiento más cercana a la de los sólidos en el primer caso.

Tabla III - 9

Parámetros de Peleg (1979) para las curvas de relajación de algas deshidratadas: efecto del tratamiento de ósmosis*.

Tratamiento	a	b
Algas tal cual	0,302 ± 0,059	0,361 ± 0,128
Algas osmotizadas	0,711 ± 0,011	0,711 ± 0,037

*: deformación ~17%.

III. E. 3. Estudio de la cohesividad de las algas deshidratadas.

De acuerdo a lo que refieren Onwulata y col. (1996) la cantidad de energía absorbida como resultado de la compresión que se efectúa sobre el sistema (polvo) o lo que es lo mismo el trabajo irre recuperable, proporciona un índice de la cohesividad del polvo.

Los polvos cohesivos son aquellos en los cuales las fuerzas interpartícula juegan un rol importante en el comportamiento mecánico del lecho de polvo. Este hecho puede dificultar la fluidez del polvo y favorecer la aglomeración por formación de puentes estables entre partículas.

Las fuerzas interpartícula en un lecho de polvo pueden ser el resultado de:

- * Absorción de agua (materiales higroscópicos)
- * Fusión (ejemplo, compuestos lipídicos).
- * Reacciones químicas que liberan líquido (ejemplo, pardeamiento).
- * Excesiva cantidad de ingredientes líquidos (ejemplo, aceites aromatizantes).
- * Liberación de humedad por cristalización de azúcares amorfos.
- * Humedecimiento accidental del equipo.

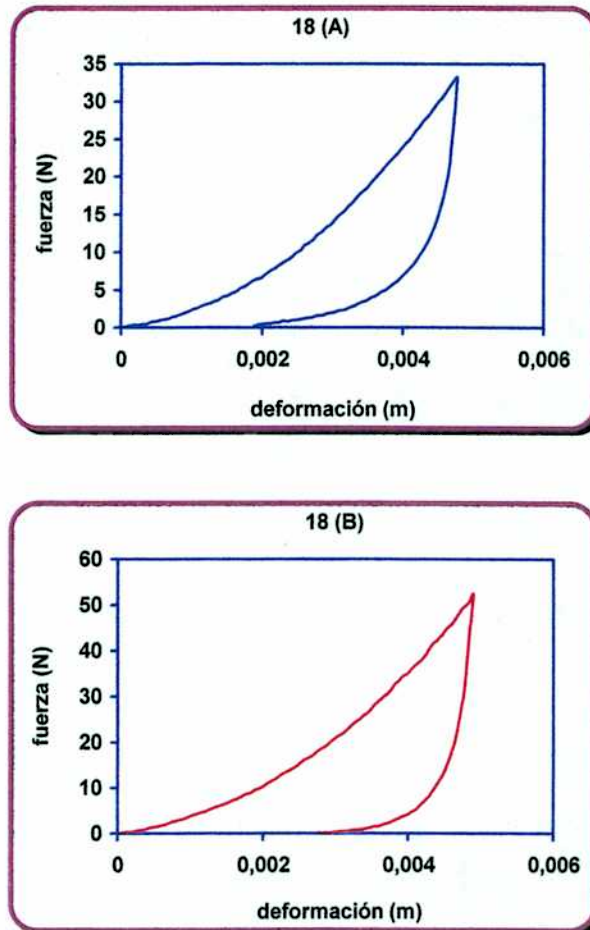
Un interesante mecanismo responsable de la formación de puentes es la característica termoplástica de los polvos vegetales o frutales ricos en azúcar. Cuando hay suficiente humedad pueden desarrollarse propiedades termoplásticas a relativamente baja temperatura. Por ejemplo, Peleg (1977), reporta que para jugo de naranja con 1% de humedad, la temperatura necesaria es 60°C y con 3% de humedad, 37°C.

De acuerdo con Moreyra y Peleg (1980) los polvos cohesivos presentan un mayor trabajo irrecuperable o perdido en los procesos de compresión-decompresión. En cambio, para los polvos no cohesivos, el trabajo irrecuperable en estos procesos, es menor. El trabajo o energía perdida sería el absorbido por estos polvos para ser usado en los procesos de fricción y reorientación de las partículas en el sistema mismo.

En nuestros sistemas constituidos por polvos de algas deshidratadas, se realizaron ensayos de compresión-decompresión y se calcularon las energías irrecuperables. En la Figura III-18 (A y B) se pueden observar las curvas obtenidas.

Figura III- 18

Estudio del trabajo irrecuperable en algas deshidratadas (A)
y en algas osmotizadas-deshidratadas (B)



Los resultados de la energía o trabajo irrecuperable se dan en la Tabla III-10. Es de destacar que para esta fase del trabajo se usó una deformación constante de 5 mm. Se puede observar que la energía que absorben las algas sin tratamiento es de 0,18 Nm mientras que para las algas osmotizadas es de 0,37 Nm. Probablemente en el caso de las algas osmotizadas, existan más fenómenos friccionales o sea mayor la tendencia a la cohesividad debido a los solutos incorporados, los cuales aumentarían la termoplasticidad del material, determinando ello una mayor cantidad de trabajo irrecuperable a consecuencia de los cambios introducidos por la ósmosis en las características del polvo.

Tabla III - 10

Energía irrecuperable en la compresión-decompresión de algas deshidratadas

Tratamiento	Energía (Nm)
Algas tal cual	0,18 ± 0,05
Algas osmotizadas	0,37 ± 0,10

III. F. Densidad.

Los productos alimenticios en estado de polvo poseen propiedades que le son particulares como la densidad, compresibilidad, etc. las cuales condicionan las operaciones, procesos, condiciones de almacenamiento y estibaje. De acuerdo con Peleg (1977), la compactabilidad o compresibilidad describe la influencia de la presión en la densidad global.

En la Tabla III-11 se puede observar el aumento de la densidad de las algas deshidratadas y molidas en el caso de previo tratamiento de ósmosis. Esta tendencia se repite cuando se realiza la compactación del polvo por un proceso estandarizado explicado en materiales y métodos.

La relación de Hausner es aproximadamente igual con o sin ósmosis previa al secado, revelando igual compactabilidad de ambos polvos.

Tabla III - 11

Densidad de algas deshidratadas y molidas.

Densidad (g/cm³)			
Tratamiento	Sin golpeteo	Con golpeteo	Relación de Hausner
Algas tal cual	0,244 ± 0,020	0,265 ± 0,007	1,089 ± 0,109
Algas osmotizadas	0,484 ± 0,035	0,527 ± 0,023	1,088 ± 0,111

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que las algas osmotizadas presentan un menor volumen específico (volumen ocupado por un gramo de sustancia) que las algas sin osmotizar lo que puede ser perjudicial desde el punto de vista de la comercialización ya que el consumidor apreciaría como menos ventajosa la compra de un producto con menor volumen por unidad de masa adquirida. La tendencia comentada no se afecta por aplicación de un proceso de compactación por aplicación de “golpeteo”.

III. G. Rehidratación.

Como se observa en la Tabla III-12 las algas deshidratadas tal cual presentan una capacidad de rehidratación casi 100% superior a las algas osmotizadas-deshidratadas. Probablemente, en nuestro caso, el tratamiento de ósmosis con NaCl y sacarosa podría afectar la característica tisular del alga determinando la menor rehidratación observada en las algas osmotizadas rehidratadas. Ello nos define una superior calidad para el producto deshidratado tal cual, si se considera este parámetro como un índice de la posibilidad de reconstituir el alimento a su característica original.

Sin embargo, debemos destacar que, en nuestro caso, ambos productos deshidratados sorben más agua que lo esperado de acuerdo a la humedad original de las muestras. Este fenómeno es especialmente notable para las algas deshidratadas tal cual, las cuales luego de la rehidratación presentan el aspecto de una masa gelatinosa. Quintero Ramos y col. (1998) estudiando el escaldado de calabacita criolla propusieron la existencia de una relación entre el endurecimiento de la pared celular, la cual prevendría el daño por tratamiento térmico, con la disminución de la sorción de agua en los ensayos de rehidratación. De acuerdo con este enfoque, la menor rehidratación de las algas osmotizadas-deshidratadas revelarían un menor daño por tratamiento térmico.

Tabla III - 12

Capacidad de rehidratación* de algas *Porphyra columbina*.

Tratamiento	Relación de rehidratación (g agua/g alga deshidratada)
Algas tal cual	7,6825 ± 0,1452
Algas osmotizadas	3,9325 ± 0.0960

: rehidratada durante 1 min.

IV. CONCLUSIONES.

- * Se realizó la impregnación osmótica de las algas con diferentes soluciones. La mayor depresión de a_w de las algas se consiguió con una solución ternaria de a_w 0,770 conteniendo NaCl y sacarosa, la cual permitió alcanzar valores de a_w al cabo de 72 hrs, de 0,970. La pared celular de las algas constituida por sustancias coloidales complejas conferiría una cierta impermeabilidad y tendencia a la hinchazón de la pared celular que junto con la resistencia a la desecación y la tolerancia a la salinidad determinarían la dificultad observada para la depresión del a_w .

- * Se realizaron las isotermas de desorción de las algas *Porphyra columbina*. Las isotermas de desorción no presentan las formas típicas sigmoides de otros productos biológicos. Se testeó la ecuación de BET en el rango de a_w entre 0,110 y 0,577 para el modelado del comportamiento sorcional de las algas tal cual y osmotizadas a 25°C. Se obtuvieron resultados satisfactorios con valores de R^2 mayores a 0,93. Como resultado de la aplicación del modelo se llegó a obtener los valores de monocapa para las algas tal cual y osmotizadas resultando valores de 6,94 g/100 g de alga y de 5,44 g/100 g de alga en base seca respectivamente. El modelo matemático que mejor ajustaba el comportamiento sorcional fue el modelo de Oswin existiendo una buena correlación entre los valores teóricos y experimentales.

- * Las curvas de secado de las algas *Porphyra columbina*, muestran la forma típica reportada en bibliografía para diferentes alimentos. Si bien las algas osmotizadas presentan una velocidad levemente mayor de pérdida de humedad a 30°C, esa diferencia no es significativa. Se observa una mayor velocidad de deshidratación con la temperatura en el rango 30°C a 55°C. La cinética del secado se modeló con distintos modelos propuestos que se encuentran en la literatura para lecho fino y el mejor ajuste se logró con el

de Page (1949) lográndose valores de R^2 mayores a 0,98. Es de destacar que las algas secadas a 30°C muestran un nivel final de humedad de 9,62% y en el caso de las algas osmotizadas se alcanza un valor de 7,31%; sin embargo, en ambos casos la a_w fue superior al valor correspondiente al de monocapa, lo cual no garantiza la estabilidad y vida segura del producto deseable.

- * Al estudiar el color y su variación frente al tratamiento térmico y de ósmosis en las algas *Porphyra columbina* se observó que los parámetros L^* , a^* , b^* , ángulo Hue y delta E variaron expresando el cambio de color observado. El valor de L^* disminuyó para los casos de las algas deshidratadas, deshidratadas-osmotizadas y aquellas que fueron sólo osmotizadas, lo mismo que el parámetro a^* ; pero, es el parámetro b^* el que muestra mayor variación para el caso de las algas osmotizadas lo que indicaría la pérdida de los colores amarillos con incremento de los azules ya que el color de las algas se torna más azul-violáceo. El cambio observado en estos parámetros reflejaría el efecto del cambio de pH involucrado en la ósmosis y/o el efecto de los distintos solutos o de la propia inmersión. La temperatura también influye en el color tal como se observa en nuestros resultados luego de la deshidratación. La tendencia precitada se corrobora con la variación del ángulo Hue y el valor del delta E, que claramente muestran la fuerte influencia del tratamiento osmótico sobre las algas más que la del tratamiento térmico.
- * Se realizaron las curvas fuerza-deformación de las algas deshidratadas tal cual y osmotizadas y se linealizaron usando para ello la ecuación de Peleg (1979) obteniéndose los valores de los parámetros a y b , los cuales indican que son las algas tal cual las que muestran un mayor carácter sólido. Esto es corroborado con la mayor fuerza residual de relajación de las algas deshidratadas tal cual, las cuales muestran un valor de 20N frente a los 12N de las algas osmotizadas-deshidratadas.
- * El estudio de la cohesividad revela que las algas deshidratadas tal cual absorben una energía de 0,18 Nm en el proceso de compresión-

decompresión usada mientras que las osmotizadas-deshidratadas absorben 0,37 Nm, lo cual muestra una mayor tendencia a la cohesividad en este último caso. Probablemente los solutos incorporados en la ósmosis aumenten la termoplasticidad del material determinando ello una mayor cantidad de trabajo irrecuperable a consecuencia de los cambios introducidos por la ósmosis en las características del polvo.

- * En el caso de la determinación de la densidad de las algas, las que fueron osmotizadas-deshidratadas presentaron mayor densidad pero a través de la relación de Hausner se observa que tanto las algas deshidratadas tal cual como las osmotizadas-deshidratadas muestran igual compactabilidad. El menor volumen específico de las algas osmotizadas-deshidratadas podría ser perjudicial desde el punto de vista de la comercialización por su influencia negativa en el consumidor.
- * En lo que se refiere a la rehidratación, son las algas tal cual las que sorben más agua o se rehidratan mejor que las osmotizadas, pero en ambos casos sorben más agua que la correspondiente a su propia humedad inicial, posiblemente por cambios histológicos o bioquímicos en las mismas.

Podríamos decir que la ósmosis no ofrece ventajas definidas como pretratamiento a la deshidratación por calor de las algas. Ello se debería a que la introducción de un paso de ósmosis con la depresión de a_w , cambio de pH e ingreso de solutos involucrados no afecta a simple vista el color final del producto deshidratado, produciendo además un polvo con menores características sólidas, con menor volumen específico, con menor capacidad de rehidratación y no ayuda a alcanzar al cabo de 2 hrs de secado a 30°C, valores de a_w menores a los de monocapa de acuerdo a lo aconsejado por bibliografía. Por otra parte es necesario remarcar que un paso adicional como el de ósmosis involucra un aumento de los costos del proceso el cual no se justifica a menos que haya un correlato ventajoso a través de la disminución de costos de los otros pasos involucrados y /o la mejora de la calidad del producto final.

V. BIBLIOGRAFÍA.

- * **Achanta, S. y Okos, M. R.** (1995). Impact of drying on biological product quality. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications - ISOPOW Practicum II*. Barbosa-Cánovas G. V. y Welti-Chanes J. (Eds.). Technomics Publishing Co., Inc., Lancaster, U.S.A.
- * **Aguerre, R.; Suarez, C. y Viollaz, P.E.** (1982). Drying kinetics of rough rice grain. *Journal of Food Technology*. **17**: 679-686.
- * **Aguerre, R. J.; Suarez, C. y Viollaz, P. E.** (1986). Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena: application to the prediction of the effect of temperature on food isotherms. *Journal of Food Science*. **51**: 1547-1549.
- * **Aguerre, R. J.; Viollaz, P. E. y Suarez, C.** (1996). A fractal isotherm for multilayer adsorption in foods. *Journal Food Engineering*. **30**: 227-238.
- * **Aitken, K.A.; Melton, L.D. y Brown, M. T.** (1991). Seasonal protein variation in the New Zealand seaweeds *Porphyra columbina* Mont. and *Porphyra subtumens* J. Ag. (*Rhodophyceae*). *Japanese Journal of Phycology*. **39**: 307-317.
- * **Alvarez, C. A.; Aguerre, R.; Gómez, R.; Vidales, S.; Alzamora, S. M. y Gerschenson, L. N.** (1995). Air dehydration of strawberries: Effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport. *Journal of Food Engineering*. **25**: 167-178.
- * **Alzamora, S.M.; Cerrutti P.; Guerrero S. y López-Malo, A.** (1995). Minimally processed fruits by combined methods. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications - ISOPOW Practicum II*. Barbosa-Cánovas G. V. and Welti-Chanes J. (Eds.). Technomics Publishing Co., Inc., Lancaster, USA.
- * **Alzamora, S. M. y Chirife J.** (1980). Some factors controlling the kinetics of moisture movement during avocado dehydration. *Journal of Food Science*. **45**: 1649-1651 y 1657.
- * **Alzamora, S. M.; Chirife, J. y Briozzo, J.** (1992). On the improvement of thiamine retention during thermal processing of canned low-acid foods. *Anales de la Asociación Química Argentina. Bs. As. Argentina*. **80**: 479-485.

- * **Alzamora, S.M.; Gerschenson, L. N.; Cerruti, P. y Rojas, A.M. (1989).** Shelf-stable pineapple for long-term non-refrigerated storage. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. **22**: 233-236.
- * **Alzamora, S.M.; Gerschenson, L. N.; Vidales, S. L. y Nieto, A.B. (1997).** Structural changes in minimal processing of fruits: Some effects of blanching and sugar impregnation. En *Food Engineering 2000*. Fito Maupoey P.; Ortega Rodriguez, E. y Barbosa-Cánovas, G. V. (Eds.) Chapman and Hall, Nueva York, U.S.A.
- * **Alzamora, S. M.; Tapia M. S.; Argaiz, A. y Welti, J. (1993).** Application of combined methods technology in minimally processed fruits. *Food Research International*. **26**: 125-130.
- * **Anderson, R.B. (1946).** Modification of the Brunauer, Emmett, and Teller equation. *Journal of the American Chemistry Society*. **68**: 686-691.
- * **Araki, S.; Ma, J.; Ogawa, H.; Oohusa, T. y Kayama, M. (1985).** Influences of water activity and temperature on water sorption and pigment stability of toasted and dried laver "yaki-nori" *Porphyra yezoensis*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. **51 (7)**: 1109-1114.
- * **Araki, S.; Ogawa, H.; Oohusa, T.; Ueno, J.; Saito, M.; Imayoshi, J. y Kayama, M. (1982).** Studies on quality preservation of dried laver 'nori' *Porphyra yezoensis*. II Changes of the pigments in dried laver 'nori' at different water activities. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. **48 (5)**: 647:651.
- * **Arasaki, S. y Arasaki, T. (1983).** *Vegetables from the sea* Japanese Publishers Inc. Tokyo, Japón.
- * **Arasaki, T. y Mino, N. (1973).** Alkali-Soluble proteins in marine algae. *Journal of Japanese Society of Food Nutrition*. **26**: 129-133.
- * **Argaiz; A.; López-Malo, A.; Welti, J. y Alzamora, S. M. (1991).** Fruit preservation by combined method. En *ACS Symposium on Minimally Processed Fruits and Vegetables*. Academic Press, Nueva York, U.S.A. pp. 25-30.
- * **Baird, D. C. (1991).** *Experimentación: Una Introducción a la Teoría de Mediciones y al Diseño de Experimentos*. 2a. Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana. S.A. , ciudad de Méjico, Méjico.
- * **Bala, B. K. y Woods, J. L. (1992).** Thin layer drying models for malt. *Journal of Food Engineering*. **16**: 239-249.

- * **Barat, J. M. E.; Chiralt, A. y Fito, P. (1998).** Equilibrium in celular food osmotic solution system as related to structure. *Journal of Food Science.* **63 (5):** 836-840.
- * **Barreiro, J. A.; Milano, M. y Sandoval, A. J. (1997).** Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering.* **33:** 359-371.
- * **Bender, A. L. (1978).** Vitamins. En: *Food processing and nutrition.* Capítulo 3. Academic Press, Nueva York, U.S.A. **pp.** 27-57.
- * **Berkaloff, A.; Bourguet, J.; Favard, P. y Guinnebault, M. (1977).** *Biología y Fisiología Celular.* 6ta. Edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.
- * **Biswal, R.N. y Le Maguer, M. (1989).** Mass transfer in plant materials in aqueous solutions of etanol and sodium chloride: Equilibrium data. *Journal of Food Processing Engineering.* **1:**159-176.
- * **Bohinski, R. C. (1978).** *Bioquímica.* 2a Edición. Editorial Fondo Educativo Interamericano, S.A., Bogotá, Colombia.
- * **Bold, H. C. y Wynne, M. J. (1985).** *Introduction to the Algae: Structure and Reproduction.* 2a Edicion. Prentice - Hall International, Inc. Londres, UK.
- * **Bonazzi, C.; Dumoulin, E.; Raoult-Wack, A. L.; Berk, Z.; Bimbenet, J.J.; Courtois, F.; Trystram, G. y Vasseur, J. (1996).** Food drying and dewatering. *Drying Technology.* **14:** 2135-2170.
- * **Boquet, R.; Chirife, J. e Iglesias, H. A. (1978).** Equations for fitting water sorption isotherms of foods II. *Journal of Food Technology.* **13:** 319-327.
- * **Boulianne, M. y King, A. J. (1998).** Meat color and biochemical characteristics of unacceptable dark-colored broiler chicken carcasses. *Journal of Food Science.* **63 (5):** 759-762.
- * **Bourne, M. C. (1982).** *Food texture and viscosity.* Academic Press, Londres, Inglaterra.
- * **Bradley, R. S. (1936).** Polymolecular adsorbed films. Part I. The adsorption of argon on salt crystals at low temperatures and the determination of surface fields. *Journal of Chemical Society.* **58:** 1467-1474.
- * **Brooker, D. B.; Bakker-Arkema, F. W. y Hall, C. W. (1974).** *Drying cereal grains.* AVI Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut, U.S.A.
- * **Brown, M. T.; Frazer, A. W. J.; Brasch, D. J. y Melton. L. D. (1990).** Growth and reproduction of *Porphyra columbina* Mont. (Bangiales, *Rhodophyceae*) from Southern New Zealand. *Journal of Applied Phycology.* **2:** 35-44.

- * **Brunauer, S.; Emmett, P. H. y Teller, E. (1938).** Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemical Society*. **60**: 309-319.
- * **Brunauer, S.; Deming, L. S.; Deming, E. W. y Teller, E. (1940).** On a theory of Van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical Society*. **62**: 1723-1732.
- * **Burkitt, D. P. (1971).** Epidemiology of cancer of the colon and rectum. *Cancer*. **28**:3-13.
- * **Calzada, J. y Peleg, M. (1978).** Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationships of solid foods. *Journal of Food Science*. **43**: 1087 -1092.
- * **Carreño, J.; Almela, L.; Martínez, A. y Fernández-López, J. A. (1997).** Chemotaxonomical classification of red table grapes based on anthocyanin profile and external colour. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. **30 (3)**: 259-269.
- * **Chapman, V.J. y Chapman, D.J. (1980).** Seaweeds and their uses. Ed. Chapman and Hill, Londres. UK. pp: 88-89 y 98-147.
- * **Cheftel, J-CI; Cheftel, H. y Besancon, P. (1983).** Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Vol. II. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- * **Chirife, J.; Favetto, G.; Ferro Fontán, C. y Resnik, S.L. (1983).** The water activity of standard saturated salt solutions in the range of intermediate moisture foods. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. **16**: 36-38.
- * **Chirife, J. e Iglesias, H. A. (1978).** Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1: A review. *Journal of Food Technology*. **13**: 159-174.
- * **Chirife, J.; Timmermann, E. O.; Iglesias, H. A. y Boquet, R. (1992).** Some features of the parameter K of the GAB equation as applied to sorption isotherms of selected food materials. *Journal of Food Engineering*. **15**: 75-82.
- * **Clydesdale, F. M. (1972).** Measuring the color of foods. *Food Technology*. **26 (7)**: 45-51.
- * **Clydesdale, F. M. (1976).** Instrumental techniques for color measurement of foods. *Food Technology*. **30 (10)**: 52-54 y 58-59.
- * **Clydesdale, F. M. (1984).** Color measurement. En *Food Analysis: Principles and Techniques*. Vol. 1 Physical Characterization. Gruenwedel, D. W. y Whitaker, J. (Eds.). Marcel Dekker, Inc., Nueva York, U.S.A.

- * **Clydesdale, F. M.** (1998). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Volume 38/ Issue 1:1-24.
- * **Coultate, T. P.** (1984). *Alimentos. Química de sus componentes*. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- * **Collignan, A. y Raoult Wack, A. L.** (1992). Dewatering through immersion in sugar/salt concentrated solutions at low temperature: An interesting alternative for animal foodstuffs stabilization. En *Drying 92*, Editor A. S. Mujumdar, Elsevier Sc. Publishers, Londres, Inglaterra, pp. 1887-1896.
- * **Collignan, A. y Raoult Wack, A. L.** (1994). Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. **27**: 259-264
- * **Davidson, R. L.** (1980). *Handbook of water-soluble gums and resins*. Mc Graw-Hill. Nueva York, U. S. A.
- * **de Boer, J.H.** (1953). *The dynamical character of adsorption*. 2da. Edición. Clarendon Press, Oxford, Inglaterra.
- * **Dixon, P. S.** (1973). *Biology of the Rhodophyta*. Hafner. Press, Nueva York, U. S. A.
- * **Dyerberg, J. y Bang, H.O.** (1979). Hemostatic function and platelet polyunsaturated fatty acid in Eskimos. *Lancet*. **2**: 433-435.
- * **Fajardo, M. A.; Alvarez, F.; Pucci, O. N. y de Portela, M. L.** (1996). Contenido de algunos minerales esenciales en *Porphyra columbina* Montagne (*Rhodophyta* Bangiales) de la costa Patagónica. *La alimentación Latinoamericana*. **213**:76-80.
- * **Fajardo, M. A.** (1998). *Estudio de las Algas Patagónicas del género Porphyra para su Aprovechamiento en la Alimentación Humana*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina.
- * **Favetto, G. y Chirife, J.** (1985). Simplified method for the prediction of water activity in binary aqueous solutions. *Journal of Food Technology*. **20**: 631-633.
- * **Fellows, Peter.** (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y Prácticas*. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- * **Fennema, O. R.** (1993). *Pigmentos y Otros Colorantes*. En *Química de los Alimentos*. Ed. Acribia S. A. Zaragoza, España.
- * **Ferro, Fontan, C.; Benmergui, E. A. y Chirife, J.** (1880). The prediction of water activity of aqueous solutions in connection with intermediate moisture

foods. III Aw Prediction in multicomponent strong electrolyte aqueous solutions. *Journal of Food Technology*. **15**: 47-58.

- * **Fito, P. y Chiralt, A.** (1995). An update on vacuum osmotic dehydration. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications ISOPOW Practicum II*. Barbosa-Cánovas G. V. y Welti-Chanes J. (Eds.) Technomics Publishing Co., Inc., Lancaster, U.S.A. pp: 351-374.
- * **Flink, J.M.** (1980). Dehydrated carrot slices. *Food Processing Engineering*. **1**: 412-418.
- * **Floros, J. D. y Manjeet, S. Ch.** (1988). Microstructural changes during steam peeling of fruits and vegetables. *Journal of Food Science*. **53 (3)**: 849-851.
- * **Francis, F. J. y Clydesdale, F. M.** (1975). "Food Colorimetry: Theory and Applications" Avi Publ. Co., Westport, Connecticut, U.S.A.
- * **Francis, F. J.** (1963). Color control. *Food Technology*. **17 (5)**: 38-42 y 44-45.
- * **Francis, F. J.** (1989). Food Colorants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **28 (4)**: 273.
- * **Friedlander, S. F.; Melton, L.D. y Brown, M. T.** (1989). Ascorbic acid in the New Zealand seaweeds *Porphyra columbina* Mont. and *Porphyra subtumens* J. Ag. (*Rhodophyceae*). *Japanese Journal Phycology*. **37**: 295-301.
- * **Fujiwara-Arasaki, T.; Mino, N. y Kuroda, M.** (1984). The protein value in human nutrition of edible marine algae in Japan. *Hydrobiologia*. **116/117**: 513-516.
- * **Gerschenson, L. N. ; Boquet, R. y Bartholomai, G.** (1983). Effect of thermal treatments on the moisture sorption isotherms of protein isolate, starch and flour from chickpea. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. **16**: 43-47.
- * **Giangiaco, R.; Torreggiani, D. y Abbo, E.** (1987). Osmotic dehydration of fruit. Part 1. Sugar exchange between fruit and extractin syrups. *Journal of Food Processing Preservation*. **11**: 183-195.
- * **Glasstone, S. y Lewis, D.** (1962). Soluciones diluidas. En *Química*. Editorial Médico Quirúrgica, Bs. As., Argentina. pp: 280-319.
- * **Greenspan, L.** (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal Research of the National Bureau of Standards. A Physics and Chemistry*. **81 A (1)**: 89-96.

- * **Guggenheim, E. A.** (1966). Applications of statistical mechanics. Clarendon Press Oxford, UK.
- * **Ha-B. S.** (1975). Color fixing effect of tannic acid in laver. Bulletin of the Korean Fisheries Society. **8 (1)**: 31-36.
- * **Hailwood, A. J. y Horrobin, S.** (1946). Adsorption of water by polymers: analysis in terms of a simple model. Transactions of the Faraday Society. **42 B**: 84-92.
- * **Hall, C. W.** (1970). Drying Farm Crops. Lyall Book Depot, Ludhiana.
- * **Halperin, D.R.** (1978). Algas en la Alimentación Humana. Contribución Técnica, No 10. Bs. As., Argentina.
- * **Halsey, G.** (1948). Physical adsorption on non-uniform surfaces. The Journal of Chemical Physics. **16**: 931-937.
- * **Hawkes J. y Flink J.M.** (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. Journal of Food Processing Preservation. **2**: 265-284.
- * **Henderson, S. M.** (1952). A basic concept of equilibrium moisture. Agricultural Engineering. **33**: 29-32.
- * **Hirase, S. y Watanabe, K.** (1972). Fractionation and structural investigation of funoran. Processing of the International Seaweed Symposium. **7**: 451-454.
- * **Hirata, T. e Ishitani, T.** (1982). Stability of dried laver, *Porphyra yezoensis*, packaged in water-permeable film. Report of the National Food Research Institute. **39**: 39-42.
- * **Hirata, T. e Ishitani, T.** (1985). Simulation of moisture and chlorophyll changes in dried laver, *Porphyra yezoensis*, in a desiccant-enclosing packaging system. Journal of Japanese Society of Food Science and Technology. **32 (4)**: 266-273.
- * **Hirata, T.; Watanabe, N. e Ishitani, T.** (1986). Prediction of moisture changes in roasted and seasoned lavers, *Porphyra yezoensis*, double-packed with polyolefin plastic materials. Journal of Japanese Society of Food Science and Technology. **33 (4)**: 685-689.
- * **Hunter, C. J.** (1975). Edible Seaweeds. A survey of the Industry and prospects for farming the Pacific Northwest. Marine Fisheries. Review. **37: (2)**: 19-26.
- * **Hunter, R. S.** (1952). Photoelectric Tristimulus Colorimetry with three filters. Circ. C. 429. U.S. Dept. Comm Natl. Bur. Std (U.S.). 429-433.

- * **Iglesias, H. A. y Chirife, J. (1976).** BET monolayer values in dehydrated foods and food components. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. **9**: 107-110.
- * **Iglesias, H.A. y Chirife, J. (1982).** Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components. Academic Press. Nueva York, U.S.A.
- * **Iglesias, H. A.; Chirife, J. y Fontan, F. C. (1986).** Temperature dependence of water sorption isotherms of food materials. *Journal of Food Science*. **51**: 551-553.
- * **Ihl, M.; Monsalves, M. y Bifani, V. (1998).** Chlorophyllase Inactivation as a measure of blanching efficacy and colour retention of artichokes (*Cynara scolymus L.*). *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. **31 (1)**: 50-56.
- * **Islam, M. N. y Flink, J. M. (1982).** Dehydration of potato. II Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. *Journal of Food Technology*. **17**: 387-403.
- * **Jensen, W. A. y Salisbury, F. B. (1988).** Reino Plantae: Algas. En: Botánica. 2a Edición. Ed. Mc Graw-Hill. Mexico. pp: 487-508
- * **Jiang, Shann-Tzong; Ho, Ming-Lang; Jiang, Sheng-Ho.; Lo, L. y Chen, Hsing-Chen. (1988).** Color and quality of mackerel surimi as affected by alkaline washing and ozonation. *Journal of Food Science*. **63 (4)**: 652-655.
- * **Jin-wen, Ma. y Wei, Tan. (1984).** Screening for antimicrobial activities in marine algae from the Qingdao coast, China. *Hydrobiología*. **116/117**: 517-520.
- * **Jouppila, K. y Roos, Y. (1997).** Water sorption isotherms of freeze-dried milk products: Applicability of linear and non-linear regression analysis in modelling. *International Journal of Food Science and Technology*. **32**: 459-471.
- * **Kapsalis, J. G.; Drake, B. y Johansson, B. (1970).** Textural properties of dehydrated foods. Relationships with the thermodynamics of water vapor sorption. *Journal of Texture Studies*. **1**: 285-308.
- * **Karathanos, V. T.; Kostaropoulos, A. E. y Saravacos, G. D. (1995).** Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. *Drying Technology*. **13**: 1503-1521.
- * **Kinsella, J. E. y Fox, P. F. (1986).** Water sorption by proteins: milk and whey proteins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **24 (2)**: 91-139.
- * **Kitic, D.; Favetto, G.; Chirife, J. y Resnik, S. (1986).** Measurement of water activity in the intermediate moisture range with the Novasina

Thermosconstanter humidity meter. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. **19**: 297-301.

- * **Kloareg, B. y Quatrano, R. S.** (1988). Structure of the cell walls of marine algae ecophysiological function of the matrix polysaccharides. *Annal Review Oceanography Marine and Biology*. **26**:259-315.
- * **Labuza, T. P.** (1972). Processing and storage effects on nutrients in dehydrated foods. *Critical Reviews in Food Technology*. **3**: 217-237.
- * **Labuza, T. P.** (1983). Standard procedure for isotherm determination. *Cereal Foods Worlds*. **28**: 258
- * **Labuza, T. P.; Acott, K; Tatini, S. R.; Lee, R. Y.; Flink, J. y McCall, W.** (1976). Water activity determination: a collaborative study of different methods. *Journal of Food Science*. **41**: 910-917.
- * **Lahaye, M.** (1991). Marine algae as sources of fibres: Determination of soluble and insoluble dietary fibre contents in some "sea vegetables". *Journal of the Science of Food Agriculture*. **54 (4)**: 587-594.
- * **Lapasin, R. y Pricl, S.** (1995). The polysaccharides: sources and structures. *En Rheology of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications*. Blackie Academic and Professional, Londres, UK. pp: 1-118.
- * **Lazarides, H. N.; Nickolaidis, A. y Katsanidis, E.** (1995). Sorption changes induced by osmotic preconcentration of apple slices in different osmotic media. *Journal of Food Science*. **60 (2)**: 348-350 y 359.
- * **Lee, K. H. y Choi, H. Y.** (1973). Water activity and pigment degradation in dried laver stored at room temperature. *Bulletin of the Korean Fisheries Society*. **6 (1/2)**: 27-36.
- * **Lee, R. E.** (1980). *Phycology*. Cambridge University Press. Nueva York, U.S.A.
- * **Lehninger, L.A.** (1972). Transporte electrónico fotosintético y fosforilación. *En "Bioquímica"*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. pp:483-510.
- * **Leistner, L.** (1985). Hurdle technology applied to meat products of the shelf stable and intermediate moisture food types. *En: Properties of Water in Foods*. D. Simatos y J. L. Multon. (Eds.). Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Boston, U.S.A. pp: 309-329.
- * **Leistner, L. y Rodel, W.** (1976). The stability of intermediate moisture foods with respect to microorganisms. *En: Intermediate Moisture Foods*. R. Davies,

G.G.; Birch y K.J. Parker. (Eds.). Applied Science publishers, Ltd., Londres, UK. pp: 120-130.

- * **Leistner, L. y Russel, N. J.** (1991). Solutes and low water activity. En: Food Preservatives. N. J. Russell y G. W. Gould. (Eds.). Van Nostrand Reinhold, Nueva York. pp: 111-115.
- * **Lenart, A. y Flink, J.M.** (1984). Osmotic concentration of potato. II Spacial distribution of the osmotic effect. Journal of Food Technology. **19**: 65-89.
- * **Lerici, C. R.; Pinnavaia G.; Dalla, Rosa M. y Bartolucci, L.** (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. Journal of Food Science. **50**: 1217-1219 y 1226.
- * **Levring, T.; Hoppe, H. A. y Schmid, O. J.** (1969). Marine Algae: A Survey Research and Utilization. Cram de Grutyer and Co., Hamburgo, Alemania.
- * **Lewis, M. J.** (1993). Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado. Editorial Acirbia S.A. Zaragoza, España.
- * **Lewis, W. K.** (1921). The rate of drying of solid materials. Journal of Industrial Engineering Chemistry. **13**: 427-432.
- * **Li, H. y Morey, R. V.** (1984). Thin layer drying of yellow dent corn. Transactions of the ASAE. **27 (2)**: 581-585.
- * **Lozano, R. D.** (1978). El color y su Medición. 1ra. Edición. Editorial América, Bs. As., Argentina.
- * **Madamba, P. S.; Driscoll, R. H. y Buckle, K. A.** (1994). Shrinkage, Density and Porosity of Garlic during Drying. Journal of Food Engineering. **23**: 309-319.
- * **Madamba, P. S.; Driscoll, R. H. y Buckle, K. A.** (1996). The thin-layer drying characteristics of garlic slices. Journal of Food Engineering. **29**: 75-97.
- * **Mashigeni, K. E.** (1983). Algal resources, exploitation and Use in East Africa, In Progress in Phycological Research. Vol. 2, Round F. E. and Chapman, D. J. (Eds.). Elseiver Science. Publishing Company Nueva York. pp: 387:420.
- * **Matouk, A. M.** (1976). Heat and moisture movements during low temperature drying and storage of maize grain. PhD Thesis. University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- * **Mazza, G.** (1983). Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. Journal of Food Technology. **18**: 113-123.

- * **Mazza, G. y Le Maguer, M. (1980).** Dehydration of onion: Some theoretical and practical considerations. *Journal of Food Technology*. **15**: 181-194.
- * **Melton, L. D.; Friedlander, S. F. y Brown, M. T. (1989).** Ascorbic acid in the New Zealand seaweeds *Porphyra columbina* Mont. and *Porphyra subtumens*. (*Rhodophyceae*). *Japanese Journal of Phycology*. **37**: 259-301.
- * **Metzler, D. E. (1981).** Bioquímica: Las reacciones químicas en las células vivas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.
- * **Mickley, H. S; Sherwood, T. K. y Reed, C. E. (1957).** Applied mathematics in chemical engineering. McGraw-Hill Book Co., Nueva York, U.S.A.
- * **Mir, M. A. y Nath, N. (1995).** Sorption isotherms of fortified mango bars. *Journal of Food Engineering*. **25**:141-150.
- * **Miura, A. (1975).** *Porphyra* cultivation in Japan. En: Advance of phycology in Japan. J. Tokida y H. Hirose. (Eds.). W. Junk, La Haya, Holanda. pp: 273-304.
- * **Misra, M. K. y Brooker, B. D. (1980).** Thin layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. *Transactions ASAE*. **23**:1254-1260.
- * **Mizrahi, S.; Labuza, T.P. y Karel, M. (1970).** Computer aided prediction of extent of browning in dehydrated cabbage. *Journal of Food Science*. **35**: 799-803.
- * **Monsalve-González, A.; Barbosa-Cánovas, G. V. y Cavalieri, R.P. (1993).** Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. *Journal of Food Science*. **58 (5)**: 1118-1124.
- * **Moreyra, R. y Peleg, M. (1980).** Compressive deformation patterns of selected food powders. *Journal of Food Science*. **45**: 864-868.
- * **Morrow, C. y Mohsenin, N. (1966).** Consideration of selected agricultural products as viscoelastic materials. *Journal of Food Science*. **31**: 686-698.
- * **Mukai, L. S. Craigies, J. S. y Brown, R. (1981).** Chemical composition and structure of the cell walls of the conchocells and the tallus phases of *Porphyra tenera* (*Rhodophyceae*). *Journal of Phycology*. **17**: 192-198.
- * **Mumford, T. F. y Miura, A. (1984).** *Porphyra* as food. Tokyo. University of Fisheries, Japan. pp: 3-4.
- * **Munda, Ivka, M. (1987).** Preliminary information on the ascorbic acid content in some Adriatic seaweeds. *Hydrobiología*. **151/152**: 477-481.

- * **Muntada, V.;** Gerschenson, L.; Alzamora, S.M. y Castro, M.A. (1999). Solute infusion effects on texture of minimally processed kiwifruit. *J. Food Science*. **63 (4)**: 616-620.
- * **Nickerson, D.** (1946). Color measurement and its application to the grading of agricultural products. A handbook on the method of disk colorimetry. Misc. Píbl. 580, USDA, Washington, U.S.A.
- * **Nieto, Andrea, B.** (1998). Influencia de la estructura celular en el fenómeno de transporte de humedad durante el secado en corriente de aire de mango. Tesis para optar el título de Magister en Bromatología y Tecnología de la Industrialización de los Alimentos. UBA. Bs. As., Argentina.
- * **Nisizawa, Kazutosi;** Noda, Hiroyuki; Kikuchi, Ryo y Watanabe, Tadaharu. (1987). The main seaweed foods in Japan. *Hydrobiologia*. **151/152**: 5-29.
- * **Nixon, R. y Peleg, M.** (1995). Effect of sample volume on the compressive force-deformation curves of corn flakes tested in bulk. *Journal of Texture Studies*. **26**: 59-69.
- * **Noda, H.;** Amano, H.; Abo, K. y Horiguchi, H. (1981). Sugars, organic acids and minerals of nori, the dried laver *Porphyra spp.* Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fishery. **47**: 57-62.
- * **Noda, H.;** Horiguchi, Y. y Araki, S. (1975). Studies on the flavor substances of "nori", the dried laver *Porphyra spp.* II Free amino acids and 5' nucleotides. Bulletin Japanese Society Scientific Fishery. **41**: 1299-1303.
- * **Noda, H. e lwata, S.** (1978). A guide to the improvement of nori products. National Federation of Nori and Shellfish Fisheries Cooperative Associations. Japan. **9**:27-35.
- * **Norrish, S.** (1966). An equation for the activity coefficients and equilibrium relative humidity of water in confectionery syrups. *Journal of Food Science*. **1**: 25-39.
- * **Ogawa, H.;** Mizuno, H.; Saito, T.; Yamada, Y.; Oousa, T. e Iso, N. (1991a). Effects of pH on the conformation of phycoerythrin from nori *Porphyra spp.* Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. **57 (5)**: 899-903.
- * **Ogawa, H.;** Oohusa, T.; Saito, T.; Iso, N.; Mizuno, H. y Fujino, A. (1991b). Texture of Nori *Porphyra spp.* Formerly Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fishery. **57(2)**: 301-306.

- * **Onwulata, C.;** Konstance, R. y Holsinger, V. (1996). Flow properties of encapsulated milkfat powders as affected by flow agent. *Journal of Food Science*. **61 (6)** :1211-1215.
- * **Oohusa, T.** (1984). Technical aspects of nori (*Porphyra*) cultivation and quality preservation of nori products in Japan today. *Hydrobiologia*, **116/117**: 95-114.
- * **Oswin, C. R.** (1946). The kinetics of package life. III. Isotherm. *Journal of Chemical Industry*. Londres. **65**: 419-421.
- * **Page, G.** (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layer. M. Sc. Thesis, Purdue University. Lafayette, IN, U.S.A.
- * **Pak, N. y Araya, H.** (1996). Macroalgas marinas comestibles de Chile como fuente de fibra dietética: Efecto en la digestibilidad aparente de proteínas, fibra y energía y peso de deposiciones en ratas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. **46 (1)**: 42-46.
- * **Park, Y. H.;** Koizuni, C. y Nonaka, J. (1973). Effect of a humid atmosphere upon the chemical composition of nori. I Chlorophyll, carotenoid and phycobilin. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. **39 (10)**: 1045-1049.
- * **Peleg, M.** (1977). Flowability of Food Powders and Methods for its Evaluation. A review. *Journal of Food Process and Engineering*. **1**: 303-328.
- * **Peleg, M.** (1979). Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. *Journal of Food Science*. **44**: 277-281.
- * **Peleg, M. y Hollenbach.** (1984). Flow conditioners and anti-caking agents. *Food Technology*. **38 (3)**: 93-102.
- * **Peleg, M. y Mannheim, C. H.** (1973). Effect of conditioners on the flow properties of powdered sucrose. *Powder Technology*. **7**: 45-50.
- * **Peleg, M.;** Mannheim, C. H. y Passy, N. (1973). Flow properties of some food powders. *Journal of Food Science*. **38**: 959-964.
- * **Peleg, M. y Moreyra, R.** (1979). Effect of moisture on the stress relaxation pattern of compacted powders. *Powder Technology*. **23**: 277-279.
- * **Penfield, M. P. y Campbell, A. M.** (1990). *Experimental food science*. Capítulo 3: Evaluating Food by Objective Methods. 3a ed. Academic Press Inc. Nueva York. U.S.A. pp: 23-50.
- * **Perry, J. H.** (1963). In *chemical engineers. Handbook*. Fourth Edition. International Student Edition Mc-Graw-Hill. Book Company, Nueva York, U.S.A.

- * **Pezzutti, A.** (1994). Diseño y simulación de la deshidratación de ajo y cebolla. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- * **Pietsch, W. B.** (1969). Adhesion and agglomeration of solids during storage y flow and handling. Transactions of the ASME. **5**: 435
- * **Pitzer, K.** (1973). Thermodynamics of electrolytes. Journal of Physical Chemistry. **77**: 258-278.
- * **Prior, B. A.** (1979). Measurement of water activity in foods: A review. Journal Food Protection. **42 (8)**: 668-674.
- * **Pomeranz, Y. y Meloan, C. E.** (1994). Food Analysis: Theory and Practice. Third Edition. Chapter 7: Measurement of Color. Chapman and Hall. Nueva York. pp: 87-98.
- * **Quintero-Ramos, A.; Sánchez de la Paz, A. L.; Meza- Velázquez, J. A.; Jiménez, J. A.; Barbosa-Cánovas, G. y Anzaldúa- Morales, A.** (1998). Optimización del escaldado de calabacita criolla (*Cucurbita pepo*) deshidratada a temperaturas bajas y tiempos largos. Food Science and Technology International. **4**: 159-167.
- * **Rangroo, S. and Rao, D. G.** (1992). Drying of Toria (*Brassica campistris* var. *toria*): Part. 2- Drying Conditions. Journal of Food Engineering. **17**: 59-68.
- * **Rao, D. G.; Sridhar, B. S. and Nanjundaiah, G.** (1992). Drying of toria (*Brassica campistris* var. *toria*) seeds: Part 1- Diffusivity Characteristics.. Journal of Food Engineering .**17 (1)**: 49-58.
- * **Raoult-Wack A.** (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods, Trends in food Science and Technology. **5**: 255-260.
- * **Raoult-Wack, A. L.; Guilbert, S. y Lenart, A.** (1992). Recent advances in dewatering through immersion in concentrated solutions. En Drying of solids. A. S., Mujumdar (Eds.). Oxford and IBH Publishers, Nueva York, U.S.A. pp:21-51.
- * **Raoult, A-Wack.. L.; Rios, G.; Saurel, R.; Giroux, F. y Guilbert, S.** (1994). Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). Food Research International. **27**: 207-209.
- * **Raven, P. H.; Evert, R. F. y Eichhorn, S. E.** (1991). Biología de las Plantas. 4ta Edición. Editorial Reverté. S. A. México.

- * **Rhim, Jong-Whan.** (1993). Study on the moisture sorption characteristics of seasoned dried laver. *Journal of the Korean Society of Food and Nutrition.* **22 (4):** 476-483.
- * **Rhoering, K. L.** (1988). The physiological effects of dietary fiber. A review. *Food Hydrocolloids.* **2:** 1-18.
- * **Rockland, L. B. y Stewart, G.** (1981). *Water activity: Influence on food quality.* Academic Press. Nueva York, U.S.A.
- * **Ross, K.** (1975). Estimation of water activity in intermediate moisture foods. *Food Technology.* **29:** 26-34.
- * **Ruegg, M. y Moor, V.** (1984). *J. Dairy Res.* **51:** 103-105
- * **Sahut, S.** (1995). Etude preliminaire du comportement de produits vegetaux soumis a la deshydratation-impregnation par immersion cas des feuilles de manior et des algues *Porphyra columbina*. Rapport de stage. Thèse d'ingénieur. Árad (Montpellier, Francia), Unesp (San Pablo, Brasil); UBA, (Bs.As. ,Argentina).
- * **Sankat C. K., Castaigne F. y Maharaj R.** (1996). The air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *International Journal of Food Science Technology.* **51:** 123-125.
- * **Sapers, G. M.; Taffer, I. y Ross, L. R.** (1981). Functional properties of a food colorant prepared from red cabbage. *Journal of Food Science.* **46:** 105-109.
- * **Saravacos, G. D. y Charm, S. E.** (1962). A study if the machanism of fruit and vegetable dehydration. *Food Technology.* **16:** 78-81.
- * **Scagel, R. F.; Bandoni, R. J.; Rouse, G. E.; Schofield, W. B.; Stein, J. R. y Taylor, T.M. C.** (1980). *El Reino Vegetal: Los grupos de plantas y sus relaciones evolutivas.* Ediciones Omega. Barcelona, España.
- * **Setser, C. S.** (1984). Color: Reflection and transmission. *Journal of Food Quality.* **6:**183-197.
- * **Sharaf-Eldeen, Y. I.; Blaisdell, J. L. y Hamdy, M. Y.** (1980). A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE.* **23 (5):** 1261-1265 y 1271.
- * **Shepherd, H. y Bhardwaj, R. K.** (1986). A study of the desorption isotherms of rewetted pigeon pea type 17. *Journal of Food Science.* **51 (3):** 595-598.
- * **Shi, X. Q.; Fito, P. y Chiralt, A.** (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research International.* **28:** 445-454.

- * **Shin, S. y Bhowmik, S. R. (1995).** Thermal kinetics of color changes in pea puree. *Journal of Food Engineering.* **24:** 77-86.
- * **Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. (1969).** *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research.* W. H. Freeman and Company Publisher. San Francisco, U.S.A.
- * **Sokhansanj, Shahab y Patil, R.T. (1996).** Kinetics of dehydration of green alfalfa. *Drying Technology.* **14 (5):** 1197-1234.
- * **South, G. R. y Whittick, A. (1987).** *Introduction to Phycology.* Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK.
- * **Spieß, W. E. L. y Wolf, W. R. (1983).** *Physical Properties of Foods.* Jowitt, R. y col. Editores. Applied Science Publishers, Londres. pp.: 65-91.
- * **Subba, Rao, G. N. (1965)** Use of seaweeds directly as human food. *Indo Pacific Fisheries Council Regional Studies.* FAO Regional Office for Asia and the Far East Maliwan Mansion. Bangkok, Tailandia. **2:** 1-32.
- * **Stadelmann, E. (1966).** Evaluation of turgidity, plasmolysis and deplasmolysis of plant cells. En *Methods in cell physiology* D. M. Prescott., Academic Press. Nueva York, U.S.A. **11:** 143-216.
- * **Strasburger, E.; Noll, F.; Schenck, H. y Schimper, A. F. W. (1983).** *Tratado de Botánica.* 7a Edición. Editorial Marín.
- * **Tolaba, M. (1989).** Deshidratación de maíz en corriente de aire. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- * **Tolaba, M.P. y Suarez, C. (1990).** Desorption isotherms of shelled maize: whole, dehulled and hulls. *International Journal of Food Science and Technology.* **25:** 435-441.
- * **Tolaba, M.P.; Suarez, C. y Viollaz, P.E. (1997).** Heats and entropies of sorption of cereal grains. A comparison between integral and differential quantities. *Drying Technology.* **15:** 137-150.
- * **Torreggiani, D. (1995).** Technological aspects of osmotic dehydration in foods. En *Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications ISOPOW Practicum II.* Barbosa-Cánovas G. V. y Welti-Chanes J. (Eds.). Technomics Publishing Co. , Lancaster, U.S.A. pp: 281-304.
- * **Torreggiani, D.; Forni, E. y Rizzolo, A. (1987).** Osmotic dehydration of fruit. *Journal of Food Processing Preservation.* **12:** 24-44.
- * **Treybal, Robert, E. (1970).** Secado. En *Operaciones con transferencia de masa.* Editorial Hispano Americana S.A., Bs.As., Argentina. pp:653-720.

- * **Trowell, H.** (1974). Definitions of fiber. *Lancet*. **1**:503.
- * **Tseng, C. K. y Fei, X. G.** (1987). Macroalgal commercialization in the Orient. *Hydrobiologia*, **151/152**: 167-172.
- * **Uddin, M.S. y Hawlader, N.A.** (1990). Evaluation of drying characteristics of pineapple in the production of pineapple powder. *Journal of Food Processing Preservation*. **14**: 375-391.
- * **Ulbricht, D.; Normand, M.; Peleg, M. y Horowitz, J.** (1994). Assessment of the crumbliness of individual fragile particulates from that of their assemblies. *Powder Technology*. **81**: 83-91.
- * **Vaccarezza, L. M.; Lombardi, J. L. y Chirife, J.** (1974). Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. *Journal of Food Technology*. **9**: 317-327.
- * **Vaccarezza, L. M. y Chirife, J.** (1975). On the mechanism of moisture transport during air drying of sugar beet root. *Journal of Food Science*. **40**: 1286-1289.
- * **van den Berg, C. y Bruin, S.** (1981). Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. En *Water activity: Influences on Food Quality*. L. B. Rockland y G. F. Stewart. (Eds.). Academic Press, Nueva York. U.S.A. pp:1-61.
- * **Van Rest, D. J. e Isaacs, G. W.** (1968). Exposed layer drying rates of grain. *Transactions ASAE*. **11 (2)**: 236-239.
- * **Wang, N. y Brennan, J. G.** (1991). Moisture sorption characteristics of potatoes at four temperatures. *Journal of Food Engineering*. **14**: 269-287.
- * **Weberling, F. y Schwantes, H. O.** (1981). *Botánica Sistemática: Introducción a la Botánica Sistemática*. Ediciones Omega. S.A. Barcelona, España.
- * **Weisser, H.** (1985). Influence of temperature on sorption equilibria. En *Properties of Water in Foods*. D. Simatos y J. L. Multon. (Eds.). Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Boston, U.S.A. pp: 95-118.
- * **White, G. M. ; Bridges, T. C.; Loewer, O. J. y Ross, I. J.** (1981). Thin layer drying model for soybeans. *Transactions ASAE*. **24**: 1643-1646.
- * **White, G. M.; Ross, I. J. y Westerrman, P. W.** (1973). Drying rate and quality of white shelled corn as influenced by dew point temperature. *Transactions ASAE*. **16 (1)**: 118-120.

- * **Xia, Bangmei y Abbott, I. A. (1987).** Edible seaweeds of China and their place in the chinese diet. *Economic Botany*. **41 (3):** 341-353.
- * **Yanagisawa, Y.; Ono, M. y Kawai, M. (1993).** Sensory and instrumental evaluation of the texture of "nori" products. *Journal of Japanese Society of Food Science and Technology*. **40 (3):** 187-193.
- * **Zapsalis, C. y Beck, R. A. (1985).** Food chemistry and nutritional biochemistry. John Wiley, Nueva York. **pp.:** 549-579, 415-504.