

**Centro de Investigación en  
Alimentación y Desarrollo, A.C.**

---

ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE CALLOS  
SECOS A PARTIR DE ALMEJA MANO DE LEÓN

*(Nodipecten subnodosus)*

POR

ENRIQUE MÁRQUEZ RÍOS

TESIS APROBADA POR LA DIRECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE  
ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS

HERMOSILLO, SONORA

DICIEMBRE DEL 2002

## DECLARACIÓN INSTRUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos a CIAD, previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión, del director o directora de la tesis.

---

Dr. Alfonso Gardea Vejar

Director General

## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de Enrique Márquez Ríos, la han encontrado satisfactoria y recomiendan sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.

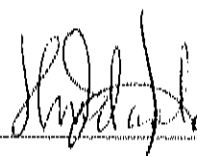


---

Dr. Ramón Pacheco Aguilar  
Director de Tesis

---

Dr. Alfonso N. Maeda Martínez



---

Dra. Herlinda Soto Valdés

---

Dra. Natalia González Méndez

## **DEDICATORIA**

### **AMI HIJA ALONDRA**

por ser lo mas grande y maravilloso que me ha regalado la vida, por inspirar y motivarme para seguir alcanzando metas.

### **A MI ESPOSA CARMEN**

por estar siempre conmigo en los momentos mas dificiles de la vida, por apoyarme y dar todo de ella sin exigirme nada a a cambio, por todos aquellos tan maravillosos que pasamos. Gracias Carmen

### **A MIS PADRES:**

José Luis y Martha Elvia. Con respeto y profundo agradecimiento, por su confianza y apoyo que siempre me han brindado. Los quiero mucho.

### **A MIS HERMANOS:**

José Luis, Javier, Ramona y Lupita. Lo mejor para cada uno de ellos, con el cariño de siempre.

### **A TODOS**

**Gracias!!!**

## AGRADECIMIENTOS

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por apoyarme en la realización de mis estudios de posgrado.

**Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.** por haberme permitido alcanzar una meta más dentro de mi formación personal y profesional.

**A la Dirección de Tecnología de Alimentos de Origen Animal** por proporcionarme su apoyo incondicional.

**Al Dr. Ramón Pacheco Aguilar** por permitirme trabajar a su lado y por contribuir en gran parte a mi formación profesional y humana. Su amistad, asesoría, tiempo y paciencia son cosas que siempre valoraré. Mi más sincero reconocimiento.

**Al Dr. Alfonso Maeda Martínez, a la Dra. Herlinda Soto Váldez y a la Dra. Natalia González Méndez,** por ser parte de mi comité de tesis. Sus comentarios enriquecieron en grande el presente trabajo de investigación. Gracias por su confianza y por el tiempo y esfuerzo dedicado durante la realización de este trabajo de investigación.

**A mis Maestros** del programa de maestría por todos los conocimientos adquiridos y por aguantarme durante todo este tiempo.

A **mis Compañeros** por todo los momentos buenos y malos que pasamos juntos.

Al Area de carnes integrado por la **Dra. Natalia González**, y su equipo humano: **M. en C. Libertad Zamorano**, **M. en C. Humberto González** y al **Técnico Germán Cumplido** por ayudarme y facilitarme ingredientes y equipo durante la realización del estudio experimental. Así como por ayudarme en la parte del desarrollo de productos y medición de textura (por Instron) de los mismos. Gracias por contar con ustedes.

Al Depto. de Tecnología de Cereales: **Q. B. María del Carmen Granados**, por su asesoría y prestación de equipo. Ello contribuyó al desarrollo de una parte del experimental, que comprende el desarrollo de productos liofilizados. Así como a la determinación de textura por punción. Gracias.

Al Depto. de Fisiología vegetal: **Dr. Miguel Angel Téllez**. Por prestarme su Colorímetro, así como por la asesoría brindada para su utilización. .

A Coordinación de Docencia: **Dr. Juan Pedro Camou**, **Norma Lucia Ferrer B. Hector Galindo** y **Ana Isabel**, por toda su ayuda durante mi estancia en la maestría.

**Gracias!!!!!!!!!!!!!!!**

## CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE CUADROS	xiii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	5
Generalidades de los Moluscos	5
Generalidades de la Almeja Mano de León	7
Productos Comerciales y Desarrollo de Nuevos Productos a Partir de callo de Almeja	8
El Agua en los Alimentos	9
La Deshidratación	11
Mecanismo de la Deshidratación	12
Velocidad de Secado	12
Temperatura del Aire de Secado	13
Humedad Relativa del Aire de Secado	14
Velocidad del Aire de Secado	14

	Pág.
Actividad de Agua	14
Efecto de la Aw Sobre el Deterioro Microbiano	17
Efecto de la Aw Sobre la Cinética de las Reacciones de Deterioro	21
Oscurecimiento Enzimático	23
Oscurecimiento no Enzimático	24
Reacciones de Maillard	24
Efecto de la Aw en la Reacción de Maillard	26
Efecto de Tiempo y Temperatura en la Reacción de Maillard	27
Efecto del pH en la Reacción de Maillard	28
Isotermas de Sorción	29
Dependencia de la Temperatura	32
Histéresis	33
Envasado de Alimentos Secos	35
Identificación de Envases	36
Selección del Envase	37
Propiedades de Textura en los Alimentos	38
Percepción de Textura	39
La Textura en el Desarrollo de Nuevos Productos	39



	Pág.
Punción como Prueba de Textura	40
MATERIALES Y MÉTODOS	42
Materia Prima	42
Pretratamiento de la Muestra Previo al Secado	42
Inmersión en Solución Ácida	42
Cocido	44
Secado	44
Determinaciones a Realizar	45
Análisis Proximal	45
Cinética de Secado	45
Textura	45
Color	45
Actividad de Agua	46
Isotermas de Adsorción	46
Identificación de Envases	47
DISEÑO EXPERIMENTAL	48
ESTUDIOS PRELIMINARES	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52

	Pág.
Análisis Proximal	52
Rendimiento	52
Cinética de Secado	54
Textura	61
Color	63
Actividad de Agua	71
Isotermas de Sorción	73
Identificación de Envases Comerciales	83
CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 1	Tendencias de la producción anual de la almeja mano de león en la Laguna Ojo de Liebre en Baja California Sur, México.	2
Figura 2	Ilustración esquemática anatómica de las escalopas.	6
Figura 3	Velocidad de deterioro de los alimentos en función de la actividad de agua.	16
Figura 4	Curvas típicas de isotermas de adsorción y desorción de alimentos.	31
Figura 5	Isoterma de un alimento a 25 y 45 °C mostrando el cambio potencial de $A_w$ respecto al cambio en la temperatura.	34
Figura 6	Diagrama de flujo utilizado en el presente trabajo.	43
Figura 7	Cinética de secado de músculo abductor de almeja mano de león a 50 °C sujeto a inmersión ácida a pH 3.	57
Figura 8	Cinética de secado de músculo abductor de almeja mano de león a 60 °C sujeto a inmersión ácida a pH 3.	58
Figura 9	Cinética de secado de músculo abductor de almeja mano de león a 70 °C sujeto a inmersión ácida a pH 3.	59
Figura 10	Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre la textura de músculo abductor seco de almeja mano de león.	62
Figura 11	Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el color de músculo abductor seco de almeja mano de león.	64
Figura 12	Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el parámetro de color "L" en músculo abductor seco de almeja mano de león.	65
Figura 13	Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el parámetro de color "a" en músculo abductor seco de almeja mano de león.	67

Figura	Título	Pagina
Figura 14	Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el parámetro de color “b” en músculo abductor seco de almeja mano de león.	68
Figura 15	Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el ángulo de matiz en músculo abductor seco de almeja mano de león.	69
Figura 16	Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre la cromaticidad de músculo abductor seco de almeja mano de león.	70
Figura 17	Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre la actividad de agua de músculo abductor seco de almeja mano de león.	72
Figura 18	Isotermas de adsorción para callos de almeja mano de león secados a 50 °C.	74
Figura 19	Isotermas de adsorción para callos de almeja mano de león secados a 60 °C.	75
Figura 20	Isotermas de adsorción para callos de almeja mano de león secados a 70 °C.	76
Figura 21	Efecto de la temperatura de secado sobre las isotermas de sorción de músculo abductor control.	78
Figura 22	Efecto de la temperatura de secado sobre las isotermas de sorción de músculo abductor inmerso 1 h a pH 3.	79
Figura 23	Efecto de la temperatura de secado sobre las isotermas de sorción de músculo abductor inmerso 3 h a pH 3.	80
Figura 24	Espectros de infrarrojo de tres envases comerciales	84

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
Cuadro 1	Valores de actividad acuosa mínima para el crecimiento de microorganismos de importancia en alimentos.	20
Cuadro 2	Análisis proximal de callo de almeja mano de león fresco congelado.	53
Cuadro 3	Rendimiento de callo mano de león previo al secado.	53
Cuadro 4	pH de callo mano de león para cada uno de los pretratamientos.	53
Cuadro 5	Parámetros de la ecuación BET.	82

## RESUMEN

En los últimos años, la producción y consumo de pectínidos entre los que destaca la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) se ha incrementado a nivel mundial. Lo anterior es producto del exquisito sabor y textura que presenta su músculo abductor, lo cual ha promovido una gran diversificación de las líneas de producción, ampliando la gama de productos existentes en el mercado. Entre estos destacan, además de los frescos y fresco-congelados tradicionales, los productos secos que son de amplia aceptación en países orientales, europeos y actualmente en Estados Unidos y Canadá.

En el presente trabajo de investigación se trabajó en la deshidratación de callos de la almeja mano de león debido a la importancia que presenta actualmente esta pesquería y a la demanda del sector empresarial por generar nuevas alternativas de comercialización para esta especie.

La almeja mano de león se caracteriza por el gran tamaño de sus callos. Para este estudio se utilizaron callos entre 60 y 80g de peso. Inicialmente, el objetivo fue secar callos enteros; sin embargo, resultados preliminares indicaron la necesidad de rebanarlos, para obtener mejores resultados. Para eficientar el proceso de secado las muestras rebanadas se sometieron a un pretratamiento de inmersión en solución de ácido cítrico 0.1 M (pH 3) por un tiempo de 0, 1 y 3 h, lo cual resultó una reducción del pH muscular y un acercamiento de las proteínas a su punto isoeléctrico, produciendo una mayor liberación de humedad del callo y un secado más rápido. Se evaluaron 3 temperaturas de secado 50, 60 y 70 °C. El proceso de secado concluyó cuando el contenido de humedad final fue 20 %.

El pretratamiento en solución ácida resultó en una drástica disminución de tiempos de secado y por consiguiente en una disminución de gastos de energía, lo que vendría a redituarse en una disminución de costos de operación en el secado. A 50 °C los tiempos de secado fueron de 22, 10 y 8.5 h; a 60 °C, fueron de 15, 9.5 y 8 h; mientras que a 70 °C, de 13, 8 y 6 h, para el callo control, una y tres horas de inmersión ácida, respectivamente. La disminución del tiempo de secado respecto al control a 50 °C fue de 55 y 61 %; a 60 °C de 37 y 47 %; mientras que a 70 °C fue de 38 y 53 % para una y tres horas de inmersión ácida, respectivamente.

La temperatura de secado no mostró un efecto significativo ( $p > 0.05$ ) sobre la textura, pero sí el pretratamiento ( $p < 0.05$ ), resultando en una menor dureza de los callos inmersos en solución ácida para cada una de las temperaturas de secado. El parámetro de color "L" (luminosidad) fue el más ilustrativo para describir los cambios de color como resultado de los tratamientos aplicados obteniéndose una interacción significativa ( $p < 0.05$ ) entre los efectos principales evaluados. Los callos control presentaron un menor valor de L en cada una de las temperaturas de secado, indicando que callos ácidos mostraron una tonalidad más clara respecto a los control. El ángulo de matiz indicó una tonalidad café, lo cual es característico en los productos secos. La actividad de agua presentó un efecto significativo con respecto a la temperatura y pretratamiento ( $p < 0.05$ ), tendiendo a disminuir al aumentar la temperatura de secado y a aumentar por efecto de la inmersión ácida.

El comportamiento de sorción para cada uno de los tratamientos mostró una gran similitud dentro de cada una de las temperaturas de secado. El fenómeno de histéresis se

presentó de una manera muy notoria como resultado de los tratamientos sobre las proteínas constituyentes del callo.

La cantidad de agua en la monocapa fue similar para cada uno de los tratamientos, mientras que el calor de sorción disminuyó por efecto de la temperatura. El efecto de la temperatura sobre el comportamiento de sorción no presentó un patrón común en la mayoría de los pretratamientos, siendo difícil predecir un comportamiento de la  $A_w$  respecto a la temperatura.



## INTRODUCCIÓN

La producción y cultivo de pectínidos se está incrementando considerablemente a nivel mundial, promoviendo la diversificación de las líneas de producción de estos organismos mediante el desarrollo de una amplia gama de productos frescos y fresco-congelados, procesados y listos para consumirse. Lo anterior ha traído como consecuencia un mayor consumo de pectínidos (Ocaño, 1999).

Los pectínidos son organismos de alto valor económico y al igual que todos los productos marinos son altamente perecederos, por lo que se deben manipular adecuadamente durante su captura y distribución. Lo anterior ha despertado el interés tanto de productores y procesadores de pectínidos, así como de la comunidad científica por generar nuevos productos, los cuales además de prolongar la vida de anaquel, representan alternativas de comercialización y dan un valor agregado a estos productos (Pacheco-Aguilar y col., 2002).

Moluscos como el abulón azul, almeja catarina y almeja mano de león representan en conjunto el recurso pesquero y acuacultural de mayor interés económico y social en la península de Baja California, teniéndose estadísticas de producción para este último solo de 1991 hasta el 2000 (Figura 1). La parte de mayor importancia comercial es su callo (músculo abductor), que tiene una alta demanda en el mercado internacional, principalmente en países asiáticos y europeos (Ocaño, 1999). De estos moluscos nuestras empresas sólo exportan el músculo abductor en fresco; por tal razón, surge el interés de procesarlo en presentaciones tradicionales ya existentes como lo son secos, con la finalidad de darle un valor agregado como ocurre en Japón, donde estos

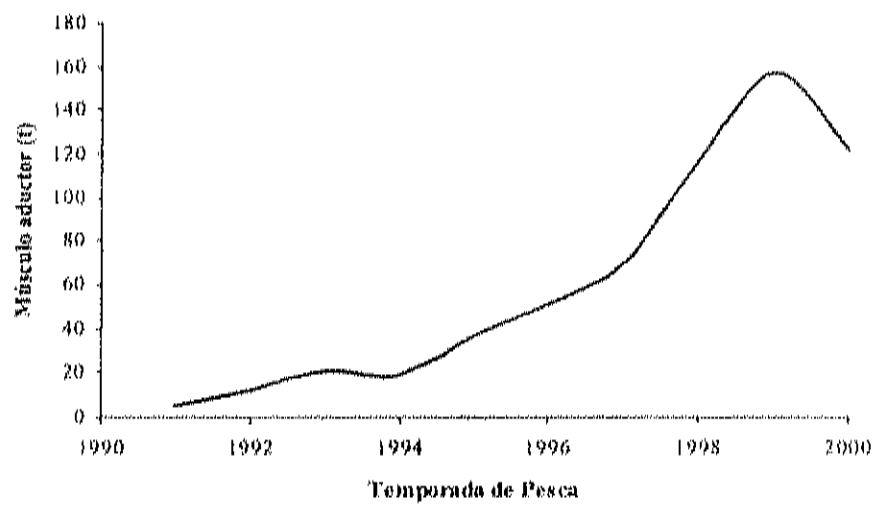


Fig. 1. Tendencias de la producción anual de la almeja mano de león en la Laguna Ojo de Liebre en Baja California Sur, México.

productos pueden alcanzar muy buenos precios (Chung y col., 2000). El músculo abductor no es la única porción comercial de los pectínidos, sino también el manto y vísceras se comercializan en seco en países europeos y asiáticos.

En México la almeja mano de león es un molusco altamente apreciado debido al sabor y textura que esta imparte. Su callo cuando ha llegado a una etapa adulta llega a pesar hasta 260 g. Su captura anual en la actualidad oscila alrededor de las 150 toneladas anuales de músculo abductor, siendo esta producción atribuida principalmente a su desarrollo silvestre. Actualmente en nuestro país debido a su alta aceptación y a la sobre-explotación que esto ha causado se han empezado a realizar esfuerzos intentando producirla mediante el desarrollo de cultivos (Robles, 2002).

La forma más común de procesamiento de los pectínidos además de la tradicional fresco-congelado es el enlatado, semiseco y seco (Ocaño, 1999). Estos últimos ha causado gran aceptación, sin embargo, existe poca información sobre las condiciones de secado así como los pretratamientos a los que se somete la muestra.

Una de las tecnologías de secado más utilizada para producción industrial es el secado por convección de aire, sin embargo el período de secado al que se somete el alimento viene a encarecer en gran medida el proceso. Además la permanencia del alimento por periodos prolongados dentro del desecador trae como consecuencia la formación de un color oscuro intenso resultado del oscurecimiento de Maillard. Por lo que la reducción en tiempos de secado disminuiría los costos de proceso así como la formación de color oscuro intenso.

En este trabajo se aplicó un pretratamiento en solución ácida con la finalidad de reducir tiempos de secado y el oscurecimiento no enzimático a partir de músculo abductor de almeja mano de león rebanado.

Con base en lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron: a) Establecer un proceso de secado para músculo abductor de almeja mano de león y evaluar sus propiedades físico-químicas en el producto terminado y b) Estudiar el comportamiento de sorción a 25 y 45 °C con la finalidad de observar la higroscopicidad del producto final, lo cual proporcionaría información sobre las condiciones de almacenamiento y características apropiadas del envase a utilizar. Como estudio complementario realizar la identificación de envases utilizados para este tipo de productos mediante espectroscopía de infrarrojo.

## ANTECEDENTES

### Generalidades de los Moluscos

Los moluscos son animales cuya concha y/o carne son muy apreciadas por el hombre. Tienen un cuerpo blando y en la mayoría de los casos está protegido por una concha. Estos organismos se han clasificado en cefalópodos, univalvos y bivalvos (Sikorsky, 1990). Los cefalópodos son moluscos que se caracterizan por no tener concha, entre los cuales existen una gran variedad de organismos como el calamar y el pulpo. Los univalvos son aquellos que presentan una sola concha como los gasterópodos y escafópodos. Por último, se encuentran los bivalvos que son organismos que tienen dos conchas, entre los cuales se encuentra la almeja mano de león (Dore, 1991).

La almeja mano de león es una escalopa que posee dos músculos abductores, uno de ellos compuesto de numerosas fibras musculares que corren paralelamente en dirección similar a la abertura de las conchas, al que se le conoce como músculo rápido o estriado y es el que utiliza para llevar a cabo el nado (Figura 2). El otro se encuentra a un lado del músculo anterior; es un tejido duro y fibroso que se conoce como túnico o liso (Ocaño, 1999).

La mayoría de las escalopas son hermafroditas funcionales con una gónada en forma de media luna. Generalmente la porción de las gónadas de color brillante es la femenina, mientras que la de color opaco indica la porción masculina (Dore, 1991).

La composición química del callo de escalopa es similar a la del pescado magro, conteniendo un porcentaje de humedad que fluctúa entre 74 y 80 %, lo cual influye en el desarrollo de reacciones deteriorativas. Asimismo, presenta un alto contenido de

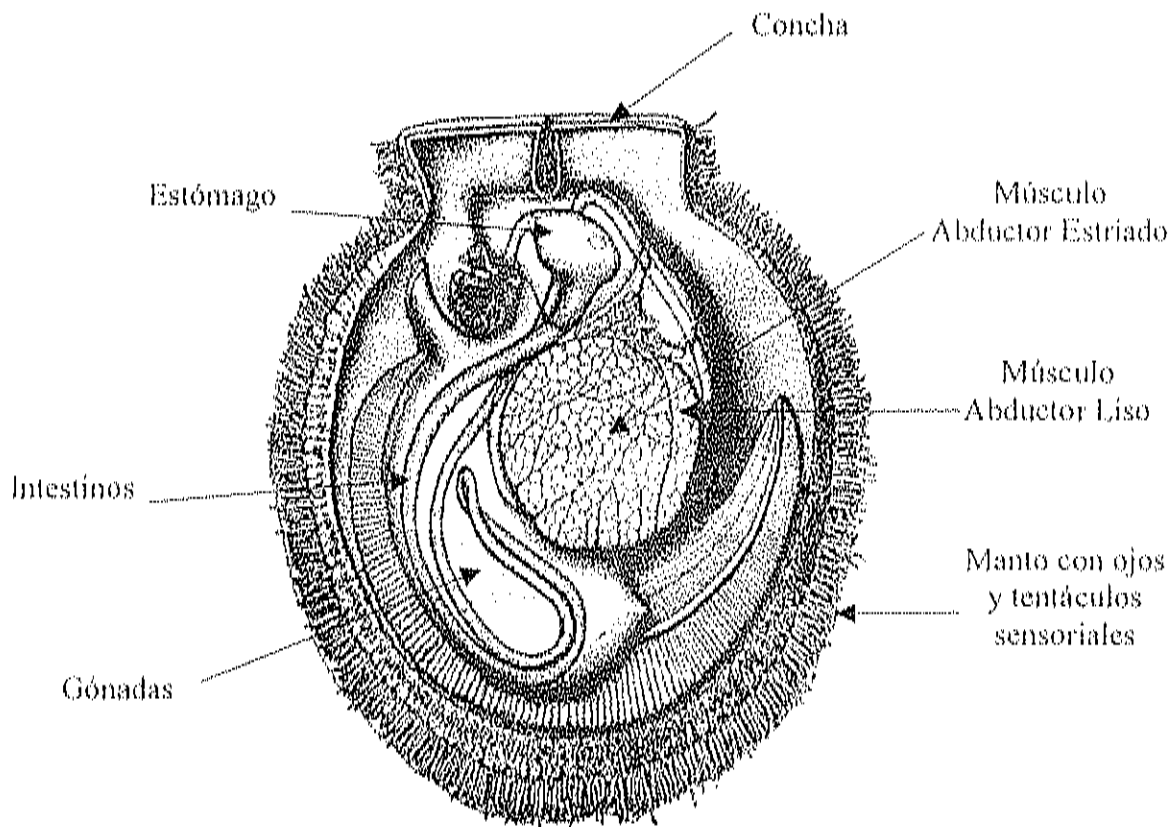


Fig. 2. Ilustración esquemática anatómica de las escalopos

Fuente (Dore, 1991)

proteínas que van del 15 al 20 %. El contenido lipídico es muy bajo, normalmente no mayor del 1 %, de aquí que se considere una especie magra. El callo presenta un contenido de carbohidratos de 2 a 2,5 % y un contenido de cenizas de 1,4 – 1,7 % (Dore, 1991).

En la actualidad existen en el mercado internacional productos secos de algunas especies de pectínidos con gran importancia comercial. Su consumo ofrece potencialmente una amplia gama de opciones, debido a su característico sabor y textura. Su delicioso sabor radica en su alto contenido de aminoácidos libres y carbohidratos (Pacheco-Aguilar y col., 2001).

En países como Japón y China el consumo de pectínidos se ha desarrollado activamente. Sin embargo, existe muy poca información sobre condiciones a aplicar durante su deshidratación, o pretratamientos previos que eficienticen dicho proceso.

#### Generalidades de la Almeja Mano de León

La almeja mano de león es una de las especies de mayor importancia económica en México. Se localiza desde la parte media de la Península de Baja California hasta el Perú y se encuentra a profundidades de entre 6 y 100 metros. Debido a su gran tamaño (175 mm) se considera una de las más espectaculares del oeste de América. La concha puede presentar varios colores, los cuales van desde un púrpura opaco o un blanco con líneas púrpuras opacas, hasta cinco matices brillantes de color naranja o magenta. Las conchas de estos organismos se caracterizan por presentar de 10 a 11 costillas muy sobresalientes, algunas de ellas son grandes protuberancias o nódulos, que permiten

identificar rápida y fácilmente a esta especie. Los callos obtenidos a partir de esta especie son de gran tamaño y de buena firmeza, por lo que son ampliamente aceptados por el consumidor (Ocaño, 1999; Felix-Pico, 1991).

### Productos Comerciales y Desarrollo de Nuevos Productos a Partir de Callo de Almeja

Los pectínidos son los principales moluscos bivalvos en los que se comercializa el callo, lo anterior se debe al alto porcentaje que representa su músculo abductor, respecto al peso total del organismo. Actualmente su consumo está ampliamente distribuido a nivel mundial. Japón, algunos países de Europa, Estados Unidos y Canadá, son los mayores y principales consumidores. En Japón se acostumbra a consumir al organismo entero. En Europa, se consume el músculo abductor con la gónada adherida, constituyéndose en un producto de alta demanda, mientras que en Estados Unidos y Canadá solo se comercializa el callo (Pacheco-Aguilar y col., 2002).

En países como Japón y China, la cultura del consumo de pectínidos se ha desarrollado activamente. Los pectínidos son de un excelente sabor, y su callo se consume no solo en fresco, sino también cocinado, asado y frito. De igual forma, se procesan como productos enlatados, secos y semi-secos. Otras presentaciones existentes en el mercado internacional son de humedad intermedia y ahumados. Algunas empresas japonesas procesan el manto, elaborando un producto conocido como "tsukadani". (Tanikawa, 1985).



A nivel mundial la demanda y consumo de pectínidos se ha multiplicado, de ahí el incremento de las líneas de diversificación de este tipo de productos se hayan incrementado, las cuales aparte de dar un valor agregado, proporcionan una mayor vida de anaquel al producto. A nivel laboratorio Ocaño (1999) desarrollo productos marinados, ahumados y liofilizados a partir de almeja mano de león. Una de las tecnologías más recientes utilizadas para la elaboración de productos a partir de callo es el "cold binding" o productos reestructurados. Esta tecnología se utiliza con la finalidad de obtener un callo de mayor tamaño a partir de callos chicos. Lo anterior se realiza ligando físicamente callos mediante agentes enlazantes como fibrinógeno o la enzima transglutaminasa. Los medallones de callos producidos por esta tecnología se utilizan para la elaboración de callos rellenos, empanizados, envueltos en tocino, fritos y precocidos para calentarse en microondas (Pacheco-Aguilar y col., 2002).

### El Agua en los Alimentos

En los alimentos, al igual que en todos los sistemas biológicos, el agua es uno de los componentes más importantes y abundantes. Se encuentra distribuida en diferentes concentraciones de manera compleja y heterogénea, contribuyendo en las propiedades reológicas y textura del alimento (Badui, 1982). Una observación común es que aquellos alimentos que contienen una mayor humedad normalmente se deterioran más rápidamente. Nuestros ancestros descubrieron que cuando los alimentos se secaban con fuego o mediante la radiación solar, se preservaban por mayor tiempo sin cambios adversos notables (Troller y Christian, 1978). La concentración de solutos durante el

secado trae como consecuencia una disminución en la actividad de agua la cual tiene un fuerte efecto sobre los cambios químicos, bioquímicos y microbiológicos que ocurren en el alimento.

En los últimos años se han intensificado estudios experimentales y teóricos de la asociación agua-alimento en un intento para entender e interpretar su comportamiento. Sin embargo su estudio ha sido difícil debido a la complejidad química que existe en los alimentos, debido a que son mezclas heterogéneas de materiales solubles orgánicos e inorgánicos (Rizvi y Benado, 1984). No obstante lo anterior, la aplicación de técnicas instrumentales de alta resolución como la resonancia magnética nuclear, difracción de rayos X e infrarrojo han sido de gran utilidad en la elucidación de la asociación agua-alimento (Weiser, 1980).

El agua que se asocia con la matriz sólida del alimento exhibe niveles variados de energía. Para describir la cantidad y forma en que se encuentra el agua en los alimentos se utilizan diferentes términos tal como agua libre, agua de deshidratación, monocapa, agua capilar y agua no congelable para describir la cantidad y forma en que se encuentra el agua en los alimentos (Rizvi y Benado, 1984). El agua en relación a su función en sistemas biológicos se clasifica en tres aspectos funcionales: 1) Estructural, el cual se relaciona con la posición y orientación de moléculas de agua con otras macromoléculas del alimento, 2) Dinámicos, el cual se refiere al movimiento molecular detallado del agua y su contribución a las propiedades hidrodinámicas del sistema y 3) Termodinámicos, el cual describe al agua en equilibrio con su alrededor a cierta temperatura y humedad relativa; es agua indisponible para solvatación de solutos y se

mantiene incongelable por debajo del punto normal de congelación (Rizvi y Benado, 1984).

### La Deshidratación

La deshidratación es probablemente el método más antiguo utilizado por el hombre para la conservación de los alimentos. El secado solar de frutas y el ahumado de pescado y carnes son conocidos como procesos originados en la antigüedad en donde el objetivo principal consistía en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su actividad de agua (Cohen y Yang, 1995; Rizvi y Benado, 1984; Spicer, 1974).

En los alimentos deshidratados la inhibición del crecimiento microbiano y la actividad enzimática se produce por descenso de su actividad de agua, ya que el tratamiento térmico que reciben es insuficiente (Ludorff y Meyer, 1978). La deshidratación reduce también su peso y volumen, lo que disminuye los gastos de transporte y almacenamiento (Achanta y Okos, 1996; Potter, 1978). En algunos casos sirve también para poner al alcance del consumidor una mayor variedad de alimentos (González y col., 2000). Sin embargo, la deshidratación altera en cierto grado, tanto las características organolépticas como el valor nutritivo de los alimentos, ya que la mayoría de las técnicas convencionales utilizan altas temperaturas en el proceso. Por lo anterior, las condiciones de secado consisten en tratar de reducir al mínimo las modificaciones que los alimentos experimentan durante el proceso (Fellows, 1994).

En las últimas décadas se ha puesto mucha atención sobre la calidad de los alimentos deshidratados, el método específico de secado así como los cambios físico-

químicos que ocurren durante el secado y que afectan la calidad del alimento. El método y condiciones de secado aplicado afecta las propiedades tales como color, textura, densidad, porosidad y la adsorción del alimento (Krokida y col., 2000).

### **Mecanismo de la Deshidratación**

Cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación lo cual permite que el agua contenida en el alimento se evapore. El vapor de agua que atraviesa por difusión la capa de aire en contacto con el alimento es arrastrado por el aire en movimiento, generándose así una zona de baja presión, creándose entre el aire y el alimento un gradiente de presión de vapor. Este gradiente proporciona la fuerza impulsora que permite eliminar el agua (Huai y Liu, 2001; Fellows, 1994).

### **Velocidad de Secado**

Durante la desecación de un alimento tienen lugar dos procesos. El agua en la superficie se evapora y el agua del interior se desplaza. Puede admitirse que la eliminación del agua ocurre en dos fases. Durante la primera fase, mientras la superficie se encuentra húmeda, la desecación solo depende del estado del aire que rodea al alimento, especialmente de su velocidad, temperatura y contenido de humedad. A esta fase de la desecación se le denomina periodo de velocidad constante y se mantiene hasta que el alimento alcanza una humedad crítica (Karmas, 1980; Burgess y col., 1965). La remoción de humedad en esta etapa ocurre a una velocidad constante, es decir la

humedad interna del producto se transporta hacia la superficie de éste a la misma velocidad a la que ocurre la evaporación (Cohen y Yang, 1995).

Cuando el contenido de agua del alimento desciende por debajo de la humedad crítica, la velocidad de deshidratación se hace paulatinamente más lenta acercándose a cero al alcanzarse el contenido de agua en equilibrio; es decir, el contenido de humedad del alimento se equilibra con el del aire. A este periodo se le denomina periodo de velocidad decreciente (Fellows, 1994).

Si la temperatura del aire es elevada y su humedad relativa es baja ocurre el riesgo de que la superficie del alimento se seque, debido a que la humedad de la superficie se seca más rápido de lo que el agua puede difundir del interior húmedo del producto hacia el exterior. Esta condición es conocida como endurecimiento de la cubierta y se puede evitar controlando la humedad relativa y temperatura del aire (Yongsawatdigul y Gunasekaran, 1996; Desrosier, 1986).

### **Temperatura del Aire de Secado**

A mayor diferencia de temperatura entre el medio de calentamiento y el alimento, mayor será la velocidad de transmisión de calor al alimento, proporcionando la fuerza impulsora para la eliminación de humedad. Además, cuanto más caliente el aire más humedad podrá absorber antes de saturarse. De este modo el aire de temperatura elevada recogerá la humedad expulsada del producto en mayor grado que el aire fresco (Potter, 1978).

### **Humedad Relativa del Aire de Secado**

El aire se humedece y enfría a medida que el agua se evapora del alimento. La captación de humedad por el aire, así como también su consiguiente enfriamiento, suponen un aumento de la humedad relativa y por tanto una disminución de la depresión del bulbo húmedo. Lo anterior se traduce en una reducción progresiva de la velocidad de desecación a lo largo de la corriente de aire (Kanujoso y col., 1995; Potter, 1978; Burgess y col., 1965).

### **Velocidad del Aire de Secado**

El aire es utilizado para conducir el calor al alimento y para acarrear el vapor húmedo liberado del mismo. Este suministro de calor trae como consecuencia que el agua del alimento vaporice provocando así la eliminación del agua para lograr de esta manera la desecación. El aire caliente recoge más humedad que el fresco, pero el aire en movimiento es todavía más efectivo. Este recoge con mayor efectividad la humedad de la superficie del alimento, previniendo la creación de una atmósfera saturada que disminuiría la velocidad de la eliminación subsiguiente de humedad (Potter, 1978).

### Actividad de Agua

Por mucho tiempo se ha reconocido la relación existente, aunque imperfecta entre el contenido de agua del alimento y su percibibilidad. Los procesos de deshidratación y concentración se han conducido principalmente con el propósito de incrementar la vida de anaquel. Sin embargo se ha observado que varios tipos de

alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su perecibilidad. Así el contenido de humedad por sí solo, no es un buen indicador de la estabilidad del alimento (Fennema, 1996). La propiedad más importante del agua en un alimento es su actividad de agua; esta describe el estatus de energía del agua en el alimento y por lo tanto su disponibilidad para actuar como solvente y participar en reacciones químicas y bioquímicas.

La actividad del agua ( $A_w$ ) es un concepto introducido por Lewis y Randall en 1923, el cual empezó a aplicarse a los sistemas biológicos por Scott en 1953. La  $A_w$  que es derivada de los principios fundamentales de termodinámica y física-química se define como la razón de la presión de vapor del agua ( $p$ ) de un alimento sobre la presión de vapor del agua pura ( $p_0$ ) a una temperatura dada (Labuza, 1980). Lo anterior se expresa a través de valores adimensionales comprendidos entre 0 y 1, donde entre más bajo sea la  $A_w$  el alimento será más estable a la mayoría de los cambios que ocurren como consecuencia del almacenamiento. La Figura 3 muestra el mapa de estabilidad global de un alimento en función de la  $A_w$ . El concepto de  $A_w$  es una propiedad importante para la seguridad alimentaria por lo que ha sido incorporado por algunas agencias regulatorias (FDA, CFR título 21).

La  $A_w$  es dependiente de la temperatura, debido a cambios en la disociación del agua, solubilidad de solutos en agua o el estado de la matriz. Aunque la solubilidad de los solutos puede ser un factor controlado, el control es usualmente sobre el estado de la matriz. Ya que el estado de la matriz (vítreo vs estado gomoso) es dependiente de la temperatura, no es sorprendente que la temperatura afecte la  $A_w$  del alimento.

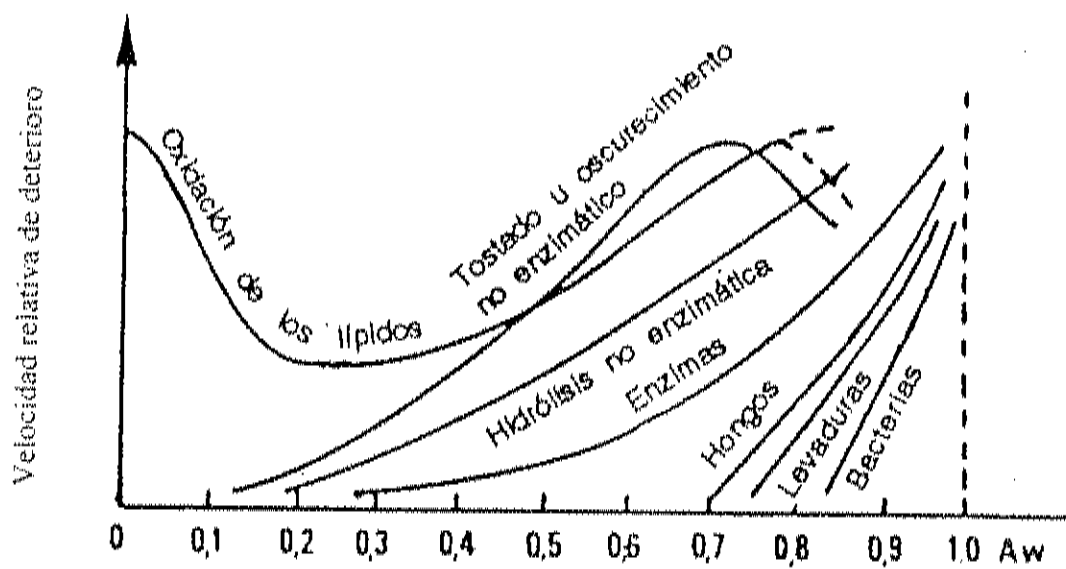


Fig. 3. Velocidad de deterioro de los alimentos en función de la actividad de agua

Fuente: Girar (1991).



Además este efecto depende del tipo de producto. Algunos alimentos incrementan su  $A_w$  cuando incrementa la temperatura, mientras que en otros alimentos ocurre un comportamiento inverso. Por lo tanto no se puede predecir los cambios en la  $A_w$  con respecto a la temperatura (Fontana, 2000).

En alimentos, una porción del contenido de agua total se encuentra fuertemente unida a sitios específicos sobre la matriz sólida. Estos grupos pueden incluir grupos hidroxilos de polisacáridos, grupos carbonilos y aminos de las proteínas, así como otros sitios polares que pueden mantener agua por puentes de hidrógeno, interacciones dipolo-dipolo o por otras interacciones fuertes. En los alimentos existe agua ligada que se encuentra unida fuertemente a la matriz del alimento, pero también hay moléculas de agua que se encuentran ligadas de una manera menos firme a la matriz, que aún no son disponibles como solvente para varios componentes solubles en agua. Muchos procesos de preservación se basan en la eliminación del agua libre en el alimento, reduciendo así la disponibilidad para desarrollo bacteriano y minimizando el deterioro químico y bioquímico que se presenta en el producto. (Khalloufi col., 2000).

#### Efecto de la $A_w$ Sobre el Deterioro Microbiano

El agua es esencial para la vida y los microorganismos no constituyen la excepción, ya que la necesitan en abundancia para su crecimiento y multiplicación. La ausencia de agua, o su pérdida, determina la suspensión de las actividades de las bacterias y mohos que alteran los alimentos, por esta causa la desecación puede usarse

como un medio de conservación (Burguess y col., 1965). El agua disponible para crecimiento microbiano y actividad química esta determinada no solo por el contenido de agua total, sino también por la naturaleza en que esta se encuentra con el alimento (Spicer, 1974).

Con el desarrollo de la microbiología durante los siglos XVIII y XIX se demostró la capacidad preservadora de la sal, azúcares y la deshidratación. La influencia de tales procesos sobre otras características como oscurecimiento no enzimático, rancidez oxidativa, sabor, textura y calidad nutricional se entenderían más adelante (Troller, 1980).

Al igual que la temperatura, pH y algunos otros factores que pueden influenciar el crecimiento y tipo de microorganismos en un alimento, la actividad de agua puede ser un factor muy importante. Una gran variedad de alimentos se preservan debido a una disminución en su  $A_w$ , sin embargo la combinación de ésta con otros factores, tales como calor, pH y disminución de oxígeno suele ser muy efectiva (Cherife y Favetto, 1992). Generalmente conforme la  $A_w$  es disminuida, el pH límite dentro del cual el microorganismo se desarrolla se hace más estrecho. La  $A_w$  mínima donde un microorganismo podría desarrollarse es más baja en condiciones aeróbicas que anaeróbicas, para aquellos organismos capaces de crecer facultativamente (Troller 1980).

Existen muy buenas razones teóricas y empíricas, así como conclusiones de muchos trabajos en que la  $A_w$  es un factor limitante para el crecimiento microbiano debido a que esta determina el estrés osmótico sobre el microorganismo. Las diferencias

en  $A_w$  puede indicarnos el tipo de microorganismos que se pueden presentar en cierto alimento (Cuadro 1). En general conforme la  $A_w$  disminuye el desarrollo microbiano se ve disminuido. Esta disminución no mata a las células microbianas, sino que solo retarda o reduce la velocidad de crecimiento (Troller, 1980). El concepto de  $A_w$  ha sido muy útil en la preservación de muchos productos. Se reconoce que la respuesta microbiana difiere si la  $A_w$  es determinada con diferentes solutos (Chirife y Del Pilar, 1994; Ken-Yuon y Torres, 1993).

La temperatura interactúa directamente con la  $A_w$ , es decir, cuando se aplica calor, la  $A_w$  mínima para desarrollo bacteriano se incrementa; sin embargo, cuando se emplea calor con la finalidad de eliminar algún microorganismo de un alimento de baja  $A_w$  este es protegido debido a la baja  $A_w$ . Durante el secado, el desarrollo bacteriano puede presentarse o no dependiendo de la temperatura de secado utilizada. Rahman y col (2000) encontraron que el secado de atún a 50 °C no disminuía la carga bacteriana, mientras que a 90 °C la letalidad se vio favorecida significativamente.

Los alimentos pueden ser deteriorados por la presencia de microorganismos o sus metabolitos. Por lo tanto establecer el límite en el cual se da el crecimiento microbiano así como la producción de sus metabolitos es importante para establecer la seguridad del alimento. En alimentos secos una causa común de deterioro es el crecimiento de hongos, siendo esto de gran importancia para la salud pública, ya que estos producen micotoxinas que pueden alterar la salud humana. La  $A_w$  mínima observada para la producción de micotoxina ha sido reportada como 0.81, la cual es considerablemente

Cuadro1. Valores de actividad acuosa mínima (Aw) para el crecimiento de microorganismos de importancia en alimentos.

---

Organismo	Mínima	Organismo	Mínima
Mayoría de bacterias dañinas	0.91	Salmonela	0.95
Mayoría de levaduras dañinas	0.88	Clostridium botulinum	0.95
Mayoría de los hongos dañinos	0.80	Escherichia coli	0.96
Bacteria halófila	0.75	Staphylococcus aureus	0.86
Levadura osmófila	0.60	Bacillus subtilis	0.95

---

Fuente: Badui (1982)

más alta que la correspondiente  $A_w$  mínima para el crecimiento de muchos hongos micotoxigénicos (Troller, 1980).

#### El efecto de la $A_w$ Sobre la Cinética de las Reacciones de Deterioro

El agua influencía la reactividad química de diferentes formas. Esta puede actuar como solvente, reactante o cambiando la movilidad de los reactantes afectando la viscosidad del sistema. La  $A_w$  juega un papel significativamente importante en determinar la actividad de enzimas y estabilidad de vitaminas en alimentos, además de influir sobre el color, sabor y aroma de los mismos. El control de la  $A_w$  es fundamental para mantener la estabilidad química de los alimentos. Se ha observado que la velocidad de la mayoría de las reacciones químicas incrementa al aumentar su  $A_w$  (Rockland y Nishi, 1980).

Los dos principales cambios no biológicos que ocurren durante el almacenamiento de productos con baja  $A_w$  son sin duda la autooxidación y el oscurecimiento no enzimático provocado por las reacciones de Maillard (Schwimmer, 1980). Los alimentos que contienen proteínas y carbohidratos son propensos a reacciones de oscurecimiento no enzimático (Fennema, 1996; Piggott y Barbee, 1990). En lo que se refiere a la oxidación lipídica esta se inhibe en un rango de  $A_w$  de 0.2 a 0.5. Por arriba o por debajo de estos límites las reacciones de oxidación proceden a gran velocidad (Fennema, 1996).

La actividad enzimática ha sido más extensamente documentada en sistemas congelados que en aquellos de baja humedad o  $A_w$ ; sin embargo, al parecer las enzimas

en ambientes secos pierden actividad como resultado de cambios en su estructura cuaternaria, así como en su estructura terciaria. Lo anterior se debe al reordenamiento de los enlaces disulfuro y a cambios en la estructura del agua alrededor de la enzima, especialmente en el sitio activo de la molécula. Un efecto en la estructura secundaria podría ser solo posible a valores extremadamente bajos de  $A_w$ , incluso por debajo de la capa BET (Brunauer, Emmett y Teller). No siempre la inactivación o prevención de actividad enzimática es conveniente ya que en algunos procesos tales como la deshidratación de papas dulces, es necesario potenciar la acción de  $\alpha$ -amilasa (Schwimmer, 1980).

Finalmente, el manejo de la actividad enzimática puede ser controlado mediante ciertas condiciones de secado, en donde se ha observado que un producto de calidad superior se asocia con una remoción lenta de agua a bajas temperaturas (en el rango de 40 a 60 °C) en donde la mayoría de las enzimas se preservan probablemente hasta el final del proceso. En la literatura se ha reportado la utilización de bajas temperaturas por largos tiempos de secado para elaborar diversos tipos de productos, como salchichas ahumadas, frutas y suplementos de proteínas. Algunos de los resultados eficaces obtenidos mediante secado lento pueden relacionarse a la retención parcial de la integridad celular del alimento previniendo el rápido acceso de las enzimas sobre sus sustratos durante y después del secado (Schwimmer, 1980).

### **Oscurecimiento Enzimático**

El estrés asociado con el manejo y procesamiento de animales y plantas, tales como anoxia, enfriado, congelado/descongelado, radiación ionizante, estimulación eléctrica, atmósferas modificadas, etc., puede causar una gran variedad de reacciones que pueden contribuir al deterioro. Una vez estresada la membrana biológica celular, ésta pierde su integridad física o permeabilidad selectiva, pudiendo llevar a una cascada de reacciones resultante de la compartimentalización celular (Haard, 1995).

El oscurecimiento enzimático es una reacción importante causada por la compartimentalización celular, la cual ocurre tanto en plantas como en animales (Haard, 1995). Este tipo de reacciones son deseables en procesos como fermentación de té, secado de dátiles, fermentación de cacao, elaboración de pan, entre otros. Los sustratos para esta reacción incluyen simples fenoles (catecol y ácido gálico), derivados del ácido cinámico (ácido clorogénico y dopamina) y flavonoides (catequin y epicatequin). Subsecuentemente ocurre una polimerización no enzimática llevando a la formación de pigmentos oscuros de alto peso molecular (Rizzi, 1997).

La propensión de un tejido al oscurecimiento enzimático esta en función de la especie. Estas diferencias pueden atribuirse a las variaciones en el contenido enzimático, y en ocasiones a la clase y cantidad de sustratos fenólicos presentes. En alimentos marinos el oscurecimiento enzimático se presenta comúnmente en el camarón, langosta y ostras. Los métodos utilizados en la industria alimentaria para minimizar estas reacciones incluyen exclusión de oxígeno, aplicación de acidulantes, inactivación térmica y el uso de inhibidores como sulfitos (Fennema, 1996).

### **Oscurecimiento no Enzimático**

El color en los alimentos procesados es un factor importante que puede determinar la aceptación o rechazo del consumidor. Durante la elaboración y procesado de algunos alimentos es posible que pueda ocurrir cierto oscurecimiento. Este es de gran importancia ya que puede ser indeseable, mientras que en algunas ocasiones puede contribuir de forma positiva en el sabor y aroma, tal es el caso del caramelo, café, pan y cereales (Rizzi, 1997).

Las dos principales formas de oscurecimiento no enzimático en alimentos son la caramelización y las reacciones de Maillard. La primera es una transformación de azúcares inducida por temperaturas alrededor de 150 °C. Esta no ha sido estudiada ampliamente, ya que pocos alimentos se someten a temperaturas tan elevadas, por lo cual su principal atención es en la elaboración de caramelos. En esta reacción los azúcares más simples pierden moléculas de agua de su estructura a través de un proceso llamado 1:2 y 2:3-enolización. La segunda forma de oscurecimiento es provocada por las reacciones de Maillard, en donde grupos aminos reaccionan con azúcares reductores para formar pigmentos oscuros. Esta reacción se puede llevar a cabo a temperaturas y diluciones mucho menores que la caramelización (Rizzi, 1997; Ibarz y col., 1989).

Reacciones de Maillard. Los productos secos son alimentos muy estables al deterioro microbiano y enzimático, sin embargo en ellos se producen ciertas reacciones químicas, las cuales tienen un fuerte impacto en la calidad sensorial y nutricional. Una de éstas son las reacciones de Maillard. La producción de compuestos coloridos como resultado de la



reacción de Maillard entre compuestos aminos y azúcares reductores es importante en la aceptación de los productos marinos secos (Chung-Hong y col., 1991). Lo anterior trae consigo la producción y acumulación de compuestos oscuros llamados melanoidinas, las cuales toman lugar durante el proceso y almacenamiento de los alimentos secos (Lewicki, 1997; Eskin, 1990).

En años recientes la reacción de Maillard ha ganado considerable importancia en áreas tan diversas como patología humana y química del sabor. Su universalidad y su importancia médica e implicaciones tecnológicas han hecho de ésta una de las reacciones más ampliamente estudiadas. El mecanismo es conocido como una serie de reacciones complejas llevando a la formación de una variedad de productos, incluyendo sabores, aromas y colores (Yaylayan, 1997).

La reacción entre azúcares y aminoácidos fue descrita primero en 1908 por Ling y Malting, quienes consideraron la formación de color en cerveza. En 1912, Louis Camille Maillard describió una reacción de oscurecimiento entre azúcares reductores y aminoácidos. A pesar de no ser el primero en reportar la reacción, Maillard fue el primero en detectar la significancia de la reacción en áreas diversas como la patología y medicina ([fscn1.fsci.umn.edu/TedLabuza/PDFfiles/papers Maillard-confectionery.pdf](http://fscn1.fsci.umn.edu/TedLabuza/PDFfiles/papers%20Maillard-confectionery.pdf)).

La reacción tiene tres fases básicas. La fase inicial es la condensación de un grupo carbonilo de un azúcar reductor con un grupo amino de una proteína o aminoácido, con subsecuente eliminación de una molécula de agua para formar una glucosilamina N-sustituída. Este compuesto es inestable y sufre el rearrreglo de Amadori para formar 1-amino-1-deoxi-cetosa. Las cetosaminas productos del rearrreglo de

Amadori pueden después reaccionar por tres vías distintas en una segunda fase. Una es la formación de reductonas y dehidroreductonas mediante la pérdida de agua. Una segunda vía es la producción de productos hidrolíticos fusionados de cadena corta. Estos luego sufren la degradación de Strecker con aminoácidos para formar aldehídos. Una tercer vía es la formación de una base de Schiff, (camino del furfural). Esto involucra la pérdida de 3 moléculas de agua, después una reacción con aminoácidos y agua (Rizzi, 1997; Fennema, 1996).

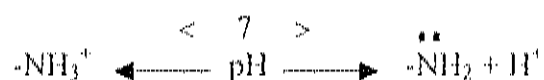
Todos estos productos reaccionan además con aminoácidos en una tercera fase para formar polímeros y copolímeros nitrogenados de color oscuro de nombre melanoídimas. Estas pueden tener efectos positivos o negativos sobre el sabor y aroma de los alimentos (Rizzi, 1997). Este último tipo de reacciones suceden más frecuentemente cuando un alimento se somete a temperaturas de proceso moderadas o cuando se almacenan por períodos muy largos, aumentando la intensidad de color al incrementar la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Badui, 1992). Esta reacción al igual que cualquier otra se ve influenciada por una gran cantidad de factores que afectan las reacciones involucradas. Entre estos podemos mencionar la temperatura, tiempo, pH, concentración, tipo de reactantes y actividad de agua, (Eskin, 1990).

Efecto de la  $A_w$  en la reacción de Maillard. La máxima estabilidad se logra usualmente cuando el contenido de humedad es cercano a la capa monomolecular BET. Cuando el contenido de humedad incrementa por encima de esta capa la velocidad de degradación química de alimentos usualmente se incrementa (Salvín, 1959).

La formación de estos compuestos oscuros se incrementa a medida que la actividad de agua aumenta, alcanzando un máximo en un rango de 0.6 - 0.7. Cuando la  $A_w$  es muy baja la movilidad de las especies reactivas se dificulta y esto ocasiona una velocidad de reacción lenta, mientras un incremento en el contenido de humedad o muy altas  $A_w$  tienden a diluir la concentración de reactantes y de esta manera disminuir la velocidad de reacción. Si el agua es un producto final de la reacción tal y como lo propusieron Karel y Nickerson (1964), un aumento en el contenido de humedad decrecería la velocidad de reacción debido a la acción de masas (Stamp y Labuza, 1983; Warmbier y col., 1976).

Efecto del tiempo y temperatura sobre la reacción de Maillard. El efecto del tiempo y la temperatura fueron estudiados por Maillard, quien descubrió que a mayor tiempo y temperatura se acentuaba la intensidad del color oscuro. El efecto de la temperatura se define mejor con la ecuación de Arrhenius. En la literatura la mayoría de los estudios solo han considerado el desarrollo del color existiendo poca información del efecto de la temperatura sobre los cambios en sabor. Por ejemplo si un sistema modelo conteniendo glucosa y lisina se calienta a 90 °C durante 1 h, o a 70 °C por 20 h, se observa como resultado que se pierde la misma cantidad de lisina en ambos experimentos, pero en el primero se registra el doble de absorvancia en UV, indicando así diferentes compuestos intermedios. De igual forma, el perfil varía con la temperatura y tiempo de cocinado ([fscn1.fsci.umn.edu/TedLabuza/PDFfiles/papers Maillard-confectionery.pdf](http://fscn1.fsci.umn.edu/TedLabuza/PDFfiles/papers%20Maillard-confectionery.pdf)).

Efecto del pH sobre la reacción de Maillard. El pH tiene un efecto significativo en la reacción de Maillard. En general la velocidad de oscurecimiento incrementa al aumentar el pH. La reacción generalmente tiene como mínimo un pH de 3. Un cambio en el pH trae también como consecuencia cambios en los mecanismos de reacción y por lo tanto la formación de diferentes compuestos volátiles y coloridos. La dependencia del pH al inicio de la reacción se atribuye a la cantidad de grupos aminos desprotonados presentes los cuales son controlados por el siguiente equilibrio:



al  $\text{pK}_a$  del grupo amino, en donde la mitad de los grupos se encuentran protonados (50%  $-\text{NH}_3^+$  y 50%  $\overset{\cdot\cdot}{\text{N}}\text{H}_2$ ) la transferencia de electrones en la especie protonada se ve imposibilitada. Así la velocidad de reacción se ve disminuida a pH por debajo del  $\text{pK}_a$  de los grupos aminos participantes. Teóricamente para un sistema puro el cambio de una unidad en pH causa que la reacción sea 10 veces más rápida, pero en sistemas complejos, como los alimentos esta velocidad solo se duplica o triplica (Rizzi, 1997; Eskin, 1990).

Por lo anterior una de las principales formas de controlar el oscurecimiento no enzimático es la disminución de pH del medio de reacción. La utilización de pretratamiento ácidos con este fin en productos secos se ha utilizado principalmente en vegetales, donde el oscurecimiento se debe en gran parte a enzimas fenolasas. En productos carnicos el empleo de soluciones ácidas se ha enfocado principalmente disminuir la flora bacteriana remanente después del secado (Calicioglu, 2002)

### Isotermas de Sorción

Los alimentos son de naturaleza compleja, principalmente sistemas multicomponentes y multifase con una estructura interna intrínseca, por lo tanto, el equilibrio en la sorción de humedad es una propiedad inherente de cada material (Lewicki, 1997). La información derivada del comportamiento de sorción es útil en los procesos de concentración y deshidratación debido a que la facilidad o dificultad de remover agua; determina las propiedades de barrera necesarias para envasar el alimento, asimismo determina el contenido de humedad necesario para detener el desarrollo bacteriano y predice la estabilidad física y química en función de su contenido acuoso (Velchev y Menkov, 2000; Suthar y Das, 1997; Fennema, 1996; Kaya y Oner, 1996; Isse y col., 1993; Onayemi y Oluwamukomi, 1987).

La isoterma de sorción de un alimento se describe mejor como una gráfica de la cantidad de agua adsorbida como una función de la humedad relativa del espacio de vapor alrededor del material. Esta cantidad de agua es aquella que se ha mantenido constante cuando se ha alcanzado el equilibrio a temperatura constante. La  $A_w$  o humedad relativa se obtiene de la siguiente ecuación:

$$A_w = P/P_o = \% \frac{\text{Humedad Relativa}}{100}$$

donde  $P$  = presión de vapor de agua ejercida por el alimento y  $P_o$  = presión de vapor de agua a la misma temperatura (Labuza, 1968).

Los alimentos muestran esencialmente dos diferentes tipos de isotermas, la típica forma sigmoide para la mayoría de los alimentos y el tipo de incremento gradual, el cual se ve con menos frecuencia (Lewicki, 1997). Estas se pueden obtener en dos

direcciones: adsorción o desorción. Una isoterma de adsorción se elabora colocando material seco a distintas humedades relativas determinando la ganancia o disminución de peso en el alimento. La isoterma de desorción se elabora colocando material húmedo a diferentes humedades relativas, para después cuantificar la pérdida de agua del alimento (Papadakis y col., 1993; Labuza, 1968).

La isoterma se divide en tres regiones dependiendo del estado del agua presenten el alimento. Como se ilustra en la Figura 4, la región A corresponde a la adsorción de agua para la monocapa molecular sobre los sitios polares en la matriz sólida del alimento, mediante interacciones agua-ion o agua dipólo. Esta agua es incongelable a  $-40$  °C, no tiene habilidad para disolver solutos y es insuficiente para tener un efecto plastificante sobre el sólido. La región B corresponde a la adsorción de capas de agua adicionales a la monocapa, esta agua se asocia a moléculas de agua vecinas y solutos, principalmente mediante puentes de hidrógeno. La mayor parte es incongelable a  $-40$  °C. Conforme se empieza a añadir agua en la parte de baja humedad de esta zona, se ejerce un efecto plastificante sobre los solutos, empiezan los procesos de disolución llevando a una aceleración en la mayoría de las reacciones. El agua en la región A y B usualmente representa alrededor del 5% del total del alimento. En la zona C el agua es congelable, disponible como solvente y fácilmente soporta el crecimiento de microorganismos (Fennema, 1996; Labuza, 1968).

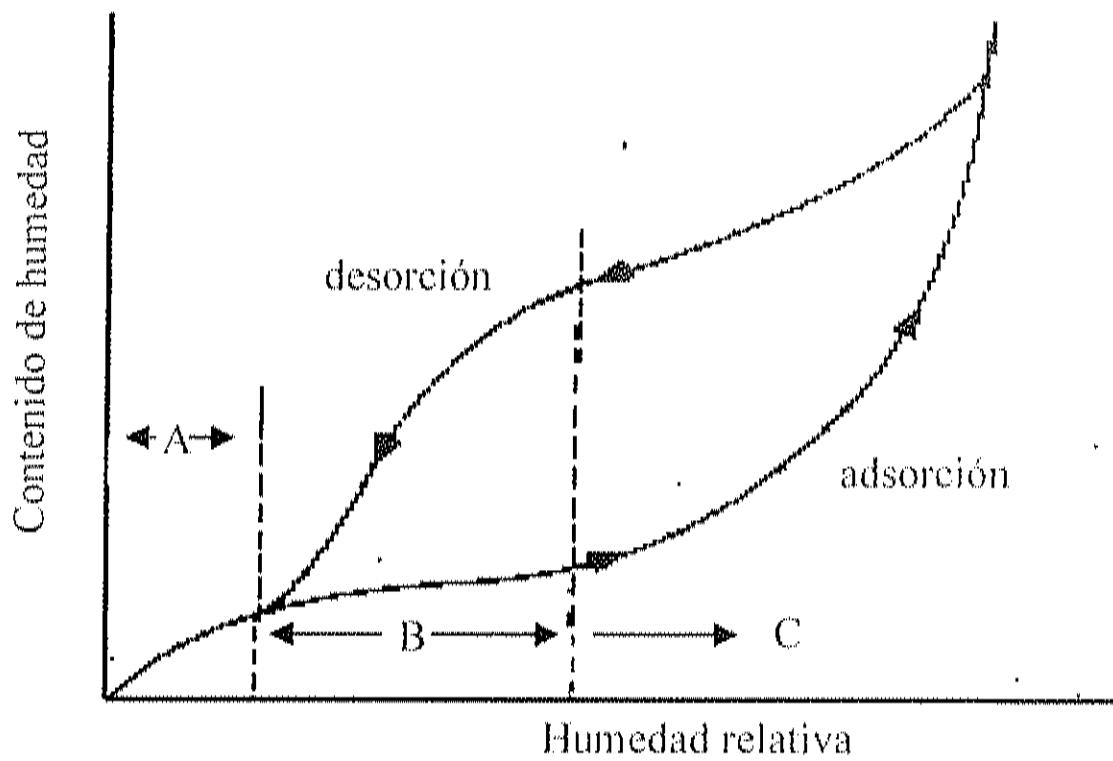


Fig. 4. Curvas típicas de isoterma de adsorción y desorción de alimentos

Fuente: Badui (1982)

Las isotermas de sorción de alimentos se han descrito por numerosos modelos (Lewick, 1998; García-Alvarado y col., 1995), de los cuales el más conocido es el modelo BET que ha dado buenos resultados para un amplio rango de alimentos en la región de  $A_w$  de 0.5 a 0.45 (Rizvi y Benado, 1984). Este modelo es apropiado en la determinación de la cantidad de agua en la monocapa, la cual viene a representar la mínima cantidad de agua en la cual un alimento vendría a ser más estable (Roos, 1993; Labuza, 1968). El modelo BET se rige bajo la siguiente ecuación:

$$\frac{A_w}{(1 - A_w)m} = \frac{1}{m_m K} + \frac{A_w(k-1)}{m_m K}$$

Donde  $m_m$  es el valor de la monocapa BET y  $K$  es una constante. La ecuación anterior puede escribirse de la siguiente manera:

$$\frac{A_w}{(1 - A_w)m} = b A_w + C$$

Donde  $b = (K-1)/m_m K$  y  $C = 1/m_m K$ .

Las constantes  $b$  y  $c$  se obtienen por regresión lineal.

### **Dependencia de la Temperatura**

Durante los últimos 50 años se ha estudiado y modelado extensivamente el comportamiento de sorción de varios tipos de alimentos y la influencia de la temperatura sobre el contenido de humedad en equilibrio (Khalloufi y col., 200). Los cambios en la  $A_w$  de un alimento pueden atribuirse a dos principales condiciones. Primero, si un alimento elaborado a  $A_w$  estable se envasa en un material permeable al vapor de agua,



este tenderá a ganar humedad de la atmósfera y la  $A_w$  incrementaría, resultando en un decremento en su vida de anaquel. La segunda condición ocurre cuando el alimento se envasa en un material impermeable a la humedad y se almacena a temperaturas altas. En la Figura 5 se muestran dos isotermas a 25 y 45 °C para el mismo alimento, indicando que a un contenido de humedad constante, la  $A_w$  incrementa con un aumento en la temperatura (Labuza y col., 1985). El fenómeno de sorción es dependiente de la temperatura y obedece a la relación de Clausius Clapeyron:

$$\frac{d(\ln a)}{d(1/T)} = - \frac{Q_s}{R}$$

donde  $a$  = actividad de agua,  $T$  = temperatura en grados kelvín,  $R$  = constante universal de los gases y  $Q_s$  es el calor de sorción.

La elaboración de isotermas a diferentes temperaturas proporciona información valiosa sobre los cambios energéticos en el sistema. El calor de sorción  $Q_s$  es fundamental en describir la energía necesaria para la remoción de agua de un alimento, el cual tiene su principal aplicación en la concentración y deshidratación de alimentos (Rizvi y Benado, 1984).

### **Histéresis**

Las curvas de desorción y adsorción nunca se traslapan (Figura 4), debido al fenómeno conocido como histéresis, donde típicamente a una  $A_w$  el contenido de agua de la muestra será mayor durante la desorción que durante la adsorción (Fennema, 1996). La histéresis se puede explicar por el efecto de la deshidratación sobre la estructura, ya que se ha reportado que severos tratamientos de calor disminuyen la

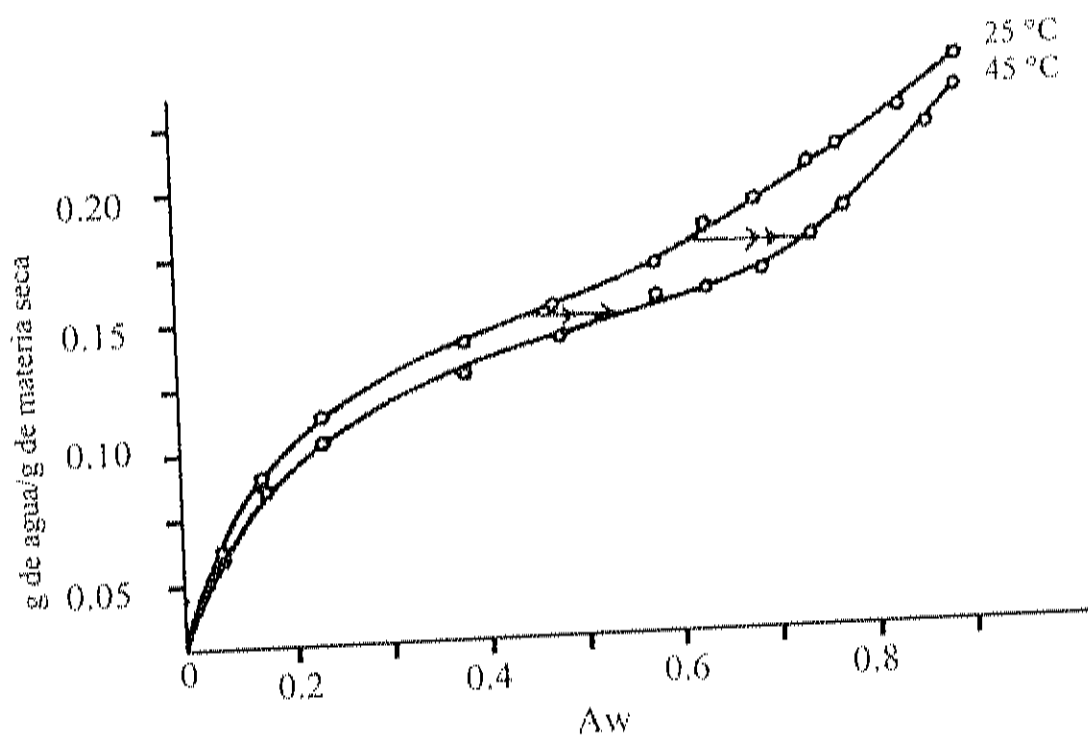


Fig. 5. Isotherma de un alimento a 25 y 45 °C mostrando el cambio potencial de Aw respecto al cambio en la temperatura.

Fuente: Labuza (1985)

capacidad de las proteínas para poder interactuar con moléculas de agua. La deshidratación puede causar daños serios sobre la estructura celular original, incluyendo probablemente destrucción irreversible de la membrana celular y degradación de las proteínas. Ya que las proteínas son las principales responsables de la sorción en todos los niveles de  $A_w$ , la destrucción de su estructura es la principal razón de una disminución en el contenido de humedad (Kaya y Oner, 1996).

El efecto de histéresis es más notable aún en el rango de humedad intermedia, aunque puede ocurrir en ambos rangos, es decir a altas y bajas  $A_w$  (Rockland y Nishi, 1980). La magnitud de la histéresis, la forma de la curva, su inicio y final pueden variar considerablemente dependiendo de factores como la naturaleza del alimento, cambios físicos que sufre durante la remoción o adición de agua, temperatura, velocidad de desorción y el grado de agua removido durante la desorción (Fennema, 1996).

### Envasado de Alimentos Secos

En raras ocasiones el crecimiento fúngico y bacteriano llega a ser un problema bajo condiciones normales de almacenamiento de ahí que un envase de buena barrera contra la humedad sea fundamental para los productos secos, donde el ingreso de humedad hacia el alimento resultaría en un ablandamiento, pérdida de crujibilidad, recristalización y desarrollo microbiano (Petersen y col., 1999; Labuza, 1982).

En un inicio, el objetivo principal de los envases fue contener a los alimentos con el fin de lograr un mejor manejo. Después, otra de sus características fue mantener su estabilidad química, bioquímica y microbiológica. Sin embargo, en la actualidad el

envase además de poseer las características antes mencionadas debe ser diseñado en forma atractiva para el consumidor (Griffin y col., 1980).

El envasado de un alimento por un período prolongado es parte integral de una cadena de producción, así como el proceso de abastecimiento con alimentos de alta calidad. Estos productos están sujetos a cambios adversos durante el almacenamiento, los cuales afectan la calidad durante la vida de anaquel. Dicha vida de anaquel puede ser influenciada por su envasado, el cual tiene como objetivo principal brindar una mayor estabilidad a los alimentos. Para cumplir con esta tarea el envasado debe ofrecer protección al alimento contra la invasión de insectos, parásitos y microorganismos, así como minimizar los cambios químicos y bioquímicos que ocurren durante el almacenamiento (Pfeiffer y col., 1999; Petersen, 1999)

### **Identificación de Envases**

El tecnólogo en alimentos se ve frecuentemente en la necesidad de identificar el polímero componente de determinado material de envase cuya identificación puede tener diferentes fines entre los cuales uno de los principales es el análisis de los materiales de envase de la competencia. Existen varios métodos para la identificación, como lo es la solubilidad, punto de fusión, densidad, etc; sin embargo, uno de los más eficaces es la utilización de la espectroscopia de infrarrojo, el cual viene a mostrar una huella digital del polímero que constituye al envase (Christopher y col., 1993).

### Selección del Envase

La selección del envase depende de varios factores como son: tipo de alimento, costos, necesidades técnicas de operación y equipo de envasado, así como el transporte, vida de anaquel y apariencia. Algo que resulta una tarea inicial en cualquier alimento es tener el mayor conocimiento posible, como por ejemplo, ¿cómo es su metabolismo o comportamiento con el tiempo?, ¿qué le afecta y de que forma?, ¿cómo se transporta?, ¿cómo se distribuye?, ¿cómo se almacena?, ¿cómo se comercializa?, ¿cuánto tiempo se mantiene en el hogar?, etc. (Rodríguez, 1997).

La principal función de un envase es proteger al alimento contra el medio ambiente, así como mantener su calidad a través de su vida de anaquel. Esta vida útil del producto se controla por tres principales factores: características del producto, condiciones de almacenamiento y distribución, así como las propiedades del envase (Petersen y col., 1999).

En lo que se refiere a las características del producto es importante el conocimiento de las reacciones deteriorativas tales como, cambios químicos, bioquímicos, físicos y microbiológicos. Problemas adicionales incluyen el ataque de insectos, roedores, etc. Los cambios químicos incluyen oscurecimiento enzimático y no enzimático, hidrólisis y oxidación de lípidos, hidrólisis de proteínas, degradación natural de pigmentos y cambios autolíticos. La velocidad de las reacciones químicas depende de numerosos parámetros, los cuales pueden ser controlados por una apropiada elección de envase. Los cambios físicos que se presentan en los alimentos incluyen endurecimiento,

pérdida de solubilidad, pérdida de capacidad de retención de agua, humedecimiento, inestabilidad de emulsiones, encogimiento, etc.

En el contexto de envasado el control de la sorción de humedad es la medida más importante para prevenir los cambios físicos mencionados (Petersen y col., 1999). Por lo que factores ambientales tales como, temperatura, humedad relativa e intensidad de luz a la cual se expone el producto durante su almacenamiento y distribución deben también tomarse en consideración al momento de seleccionar el envase (Petersen y col., 1999).

El conocimiento de las características del producto y las condiciones de almacenamiento y distribución dictan las propiedades de barrera del material de envase para aplicaciones específicas. Las propiedades de barrera incluyen permeabilidad a gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , etileno, etc.), vapor de agua, aromas y luz. Esos son factores vitales a considerar para mantener la calidad del producto (Marsh, 2001; Petersen y col., 1999).

#### Propiedades de Textura en los Alimentos

Los estándares internacionales definen textura como los atributos mecánicos, geométricos y de superficie, perceptibles mediante propiedades mecánicas y táctiles, en donde pueden participar receptores visuales y auditivos. Los atributos texturales se pueden dividir en tres categorías: mecánicos, geométricos y otros (Szczesniak, 1963). Los más estudiados son los primeros, percibiéndose estas cuando el alimento se deforma mediante masticado o cortado. Actualmente se consideran cinco características mecánicas primarias: dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad y adhesividad. De estas cinco surgen otras características mecánicas secundarias, tales como fragilidad,

chiclosidad y gomosidad (Jack y col., 1995; Bourne, 1978; Szczesniak, 1963; Friedman, 1963).

Las propiedades de textura se relacionan a la deformación, desintegración y la resistencia al flujo. Estas son medidas objetivas en función de tiempo, masa y distancia. La distinción entre textura y viscosidad es bastante simple. La viscosidad se define como la fricción interna del fluido o la resistencia a fluir, por lo cual solo es aplicable a fluidos, mientras que textura se relaciona a alimentos sólidos. Por otra parte, la reología es la ciencia que se encarga de estudiar tanto la deformación, como el flujo de la materia, es decir, textura y viscosidad (Giese, 1995).

### **Percepción de Textura**

La percepción de textura surge de un conjunto complejo de características sensoriales que se presentan antes y durante la masticación. La apariencia visual también juega un papel importante en la percepción de la textura. La manipulación de los alimentos antes de su consumo aporta una percepción inicial de textura, tales como firmeza, dureza, crujibilidad, untabilidad, viscosidad, pegajosidad, etc.

### **Textura en el Desarrollo de Nuevos Productos**

En la última década el interés del consumidor por la textura de sus alimentos se ha incrementado notablemente principalmente en los grupos de alto nivel socioeconómico por lo que la industria alimentaria ha tenido que responder ha esto. La textura ha ganado reconocimiento como una característica sensorial importante, la cual

es un factor principal en el desarrollo de nuevos productos. Los atributos de textura se pueden modificar y enfatizar; sin embargo, adaptaciones fortuitas a la formulación del producto puede llevar a cambios indeseables en su textura. Así, en el lógico desarrollo de productos se requiere un entendimiento total de los factores físico-químicos que pueden alterarla (Jack, 1995).

### **Punción como Prueba de Textura**

La prueba de punción es uno de los métodos más simples y ampliamente utilizados para medir objetivamente la firmeza de muchos productos. En esta prueba se mide la fuerza requerida para empujar alguna clase de punch o émbolo hacia el interior del alimento. La prueba se caracteriza por: a) usar un instrumento para medir fuerza; b) penetración del émbolo hacia el alimento y c) la penetración se realiza a distancia constante (Bourne, 1966).

El primer instrumento para medir punción fue desarrollado por Carpi en 1884, quien midió el peso requerido para forzar un émbolo de 2 mm de diámetro a una profundidad de 1 cm en aceite de oliva a 20 °C. Se han utilizado una gran variedad de instrumentos bajo el mismo principio para medir punción en distintos alimentos. Actualmente, las pruebas de punción se realizan con mayor rapidez, exactitud y mejor manejo de los datos con la ayuda de instrumentos como el analizador de textura TA.XT2 de la compañía Texture Technologies (Scarsdale, NY). Este equipo digital es altamente sofisticado y se encuentra acoplado a un software facilitando así su uso. Contiene



además una base de datos en donde se encuentran los resultados obtenidos para una gran variedad de alimentos (Bourne, 1966).

Cuando el émbolo toca y penetra el alimento este debe comprimir y cortar al producto. La fuerza de compresión debe ser proporcional al área bajo el émbolo y la fuerza compresiva del alimento. La fuerza de corte es proporcional al perímetro del émbolo y la fuerza de corte del alimento. Por lo anterior se ha postulado la siguiente ecuación en donde se describe la fuerza requerida para una prueba de punción:

$$F = K_C A + K_S P + C$$

Donde  $F$  = fuerza (kg.)

$K_C$  = coeficiente de compresión del producto prueba ( $\text{kg cm}^{-2}$ )

$K_S$  = coeficiente de corte del producto prueba ( $\text{kg cm}^{-1}$ )

$A$  = área del émbolo

$P$  = perímetro del émbolo

$C$  = constante (kg)

De lo anterior se concluye que la fuerza de punción para un alimento depende del área y perímetro del émbolo, así como de la fuerza compresiva y la fuerza de corte del alimento de prueba. De esta forma, la fuerza de punción para diferentes émbolos sobre el mismo alimento estará en función del área y perímetro del émbolo utilizado. Asimismo, la fuerza de punción con el mismo émbolo sobre diferentes alimentos, estará en función de la fuerza compresiva y la fuerza de corte que presenten dichos alimentos (Bourne, 1966).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia Prima

Para el presente estudio se utilizaron 100 kg de callo de almeja mano de león congelados individualmente, los cuales se adquirieron comercialmente en el mes de Diciembre y Enero del 2001 y 2002, en la ciudad de Guerrero Negro, Baja California Sur. Los callos congelados se enviaron via aérea y sin descongelarse a los Laboratorios del CIAD, A.C. de la ciudad de Hermosillo Sonora. Una vez recibidos los callos se almacenaron a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su utilización. El diagrama utilizado en el presente trabajo se muestra en la Figura 6.

### Pretratamiento de la Muestra Previo al Secado

#### **Inmersión en solución ácida**

El secado del músculo abductor entero se vio dificultado debido al gran tamaño de este, por lo cual se procedió a rebanarlo perpendicularmente a la orientación de las fibras musculares a un grosor de 1.2 cm. Sin embargo el tiempo de secado seguía siendo muy prolongado, por lo cual se propuso realizar una inmersión ácida con el objetivo de acelerar la desecación. Una vez rebanados, los callos se descongelaron  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 12 h. Con la finalidad de mantener el pH de la solución constante durante el periodo de inmersión se elaboro un buffer de ácido cítrico 0.1 M y NaOH hasta alcanzar el pH 3. Seguidamente las rodajas de callos se sometieron a inmersión en la solución ácida durante 0, 1 y 3 h. Esta inmersión ocasionó un lavado en el músculo abductor,

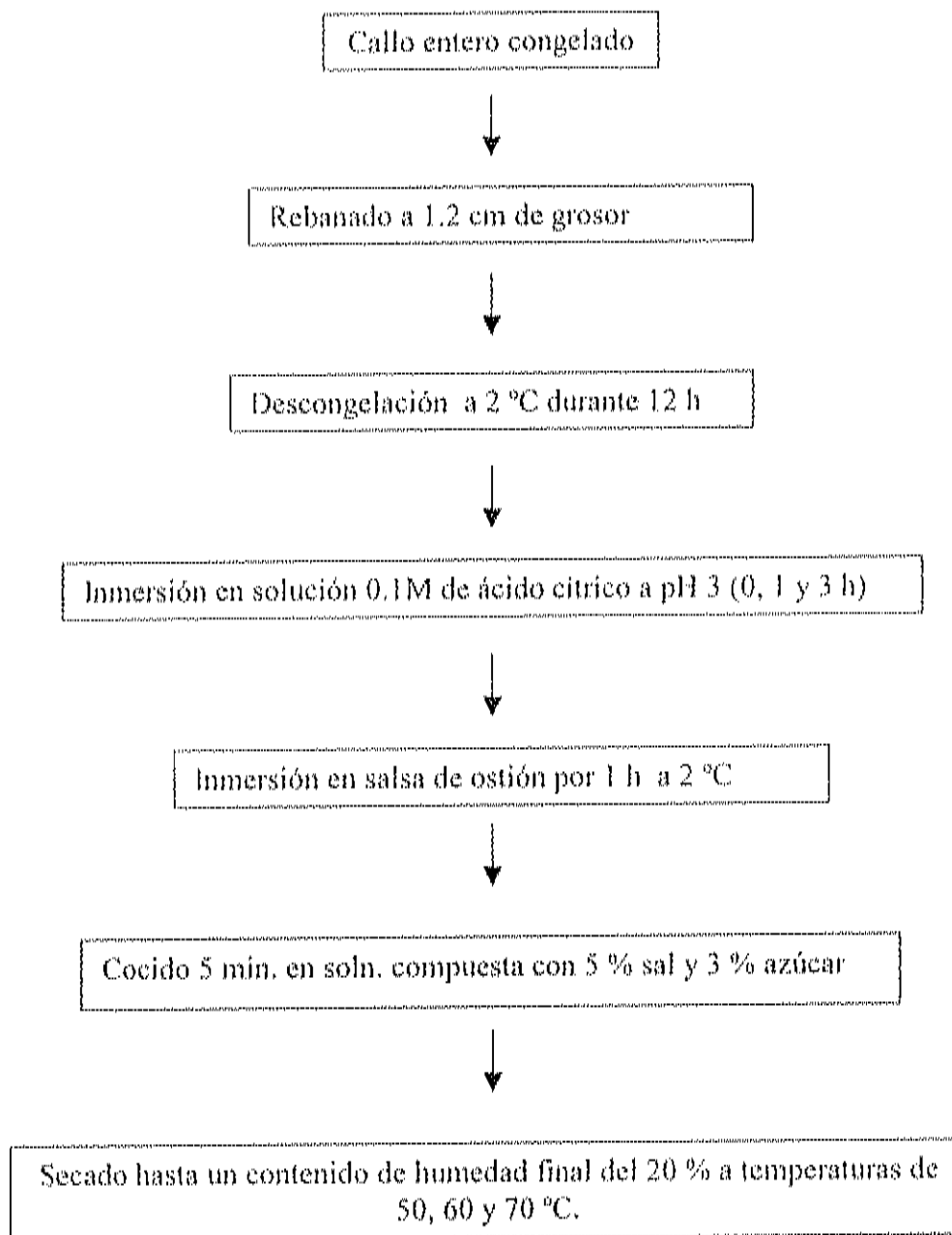


Fig. 6. Diagrama de flujo utilizado en la producción de callo seco de almeja mano de león.

## Determinaciones Realizadas

### **Análisis Proximal**

Se realizó de acuerdo a la metodología de la AOAC (1996), mientras que nitrógeno no proteico (NNP) se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Woyewoda y col. (1986).

### **Cinética de secado**

Las cinéticas de secado se elaboraron durante el transcurso de la desecación tomando 6 rodajas de callos cada hora del horno y calculando la disminución de humedad de estos por gravimetría. Los resultados se expresaron graficando porcentaje de humedad contra tiempo de secado.

### **Textura**

Para la evaluación de textura se empleó la prueba de punción utilizando un punzón plano de 1.2 mm de diámetro realizando una penetración de 0.3 milímetros para cada uno de los callos. La determinación se realizó con un analizador de textura TA.XT2 (Texture Technologies, Scarsdale, NY) utilizando una celda de compresión de 5 kg y una velocidad de cabezal de 10 cm/min.

### **Color**

La evaluación de color se llevó a cabo mediante colorimetría triestímulo utilizando un equipo minolta CR 300 (Minolta Corporation, Passaic, N.J.). Se midieron los parámetros

L, a y b. Se evaluó el efecto de los tratamientos (temperatura y tiempo de inmersión ácida) en estos parámetros y se calculó el ángulo de matiz y cromaticidad.

### **Actividad de Agua**

Esta determinación se realizó con un instrumento digital aqualab CX-2 (Decagon Devices, Inc. Pullman WA). Se tomó la lectura individual de cada rodaja, registrándose ésta una vez que la humedad del alimento y del ambiente alcanzó el equilibrio.

### **Isotermas de Adsorción**

Se elaboraron por duplicado para cada producto elaborado de acuerdo al método gravimétrico de la AOAC (1996), introduciendo cada callo seco en pequeños contenedores con humedad relativa controlada por diferentes soluciones saturadas [drierita, LiCl,  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{SrCl}_2$ , KCl y  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ]. Para la adsorción todas las muestras se sometieron a secado al vacío a 30 °C durante 21 días (Sheldon Manufacturing Inc., Cornelius, OR). Todas las muestras sometidas a humedades relativas por encima del 50 % se les aplicó radiación UV por 30 minutos con el fin de evitar el desarrollo de hongos. De igual manera se sometieron al mismo tratamiento todas las muestras para las isotermas de adsorción con la misma finalidad. Las charolas se colocaron a temperatura constante de 25 y 45 °C hasta que el alimento se equilibro con la humedad de la cámara. Se graficaron los gramos de agua por gramo de sólido contra las diferentes humedades relativas de las charolas.

### **Identificación de Envases**

Para la identificación de los materiales de envase de las muestras comerciales se utilizó un espectrofotómetro de transformada de Fourier, Perkin Elmer modelo FTIR 1600, (Nicolet Instrumental Corporation, Madison, WI.) mediante la técnica de transmisión, en la cual, la radiación electromagnética atraviesa la película de envase.

## DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño factorial  $2^3$  (Mongomery, 1991) con dos efectos principales, donde el efecto principal A temperatura de secado, tuvo 3 niveles (50, 60 y 70 °C) y efecto principal B, tiempo de inmersión ácida, también con tres niveles (0, 1 y 3 h). Se realizaron comparaciones múltiples por el método de Tukey, cuando fue necesario. Para todas las estadísticas se utilizó un nivel de significancia del 5 %.

## ESTUDIOS PRELIMINARES

En un inicio la idea original en el presente trabajo era trabajar con el músculo abductor entero, sin embargo se presentaron problemas en el secado debido principalmente al gran tamaño del callo. Los principales obstáculos presentados fueron la gran duración del proceso de secado, llegando a alcanzar hasta 40 h y las coloraciones café oscuro formadas por las reacciones de Maillard en el transcurso de la desecación.

Como corridas preliminares de secado se procedió a secar callo crudo masajado entero por 15 min. en solución salina y callo hervido entero por 5 min. en la misma solución. Se observó que el callo no cocido presentaba un aspecto poco agradable en el producto final seco, mientras que el callo sujeto a precocido fue el que mostró una mejor apariencia física al final de la desecación; es decir, se mantenía la forma original del callo fresco, por lo que se optó por trabajar con callo precocido. Se realizaron corridas de secado con diferentes tiempos de cocción (3, 5 y 10 min.) donde se observó que 5 minutos eran insuficientes para lograr que el callo obtuviera la rigidez suficiente y no se deformara durante la desecación, mientras que con 5 y 10 min. de cocción la apariencia final, así como las cinéticas de secado eran muy similares, por lo que se optó por dar un precocido de 5 min. en solución salina a ebullición.

Incluso con este pretratamiento, los inconvenientes de tiempos de secado sumamente prolongados y oscurecimiento intenso presentado en el producto final nos llevaron a rebanar el callo con el fin de minimizar lo anterior. En efecto, los tiempos de secado se vieron reducidos, así como el oscurecimiento provocado por las reacciones de



Maillard. Se procedió a rebanar el callo a un grosor de 1.2 cm con el fin de obtener callos secos con una altura similar a los existentes en el mercado.

La deshidratación por convección de aire para productos no muy delgados como en nuestro caso, conlleva a varias horas de desecación lo cual repercute directamente en la calidad final del alimento así como en la economía de los productores, por lo que se estableció la necesidad de disminuir esos tiempos de secado. Este fin ha sido muy estudiado principalmente en vegetales mediante la deshidratación osmótica, sin embargo en productos cárnicos y marinos se ha estudiado muy poco. Por lo que se propuso someter al músculo abductor rebanado en una solución ácida con el objetivo de disminuir su pH, alterando el balance de cargas en las proteínas miofibrilares reduciendo su capacidad de retención de agua para así facilitar la remoción de humedad durante la desecación. Con este tratamiento el tiempo de secado se vería reducido. Además, esta inmersión ácida traería implicaciones muy importantes en el desarrollo de color café en el producto, ya que la reacción de Maillard se vería disminuida a pH por debajo del  $pK$  de los grupos aminos de los aminoácidos. Como preliminares, el músculo abductor rebanado se sujetó a inmersión a pH de 2, 3, 4 y 5, observándose que a pH 2 las proteínas del músculo entran en solución, mientras que a pH mayores a 3 el tiempo de inmersión tiene que ser muy prolongado para que haya un cambio de pH en el músculo, por lo que se optó por trabajar a pH 3.

El rango de temperaturas utilizado (50, 60 y 70 °C) es muy común en la deshidratación de productos cárnicos y marinos, ya que a temperaturas menores la desecación es sumamente lenta y se corre el riesgo de que el alimento no alcance a

deseccarse hasta la humedad deseada, debido a que aire a menor temperatura tiene menor capacidad de mantener humedad, por lo que se podría llegar a un equilibrio entre el ambiente de secado y el alimento. A temperaturas mayores dado el grosor del músculo abductor se presentaron cambios desagradables en su superficie, producto de condiciones drásticas de secado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis Proximal

El Cuadro 2 muestra los resultados del análisis proximal realizado a callo fresco-congelado de almeja mano de león. El callo fresco-congelado tiene un contenido de humedad del 78 % y aproximadamente 15 % de proteína. Estos resultados están acordes con trabajos realizados con pectínidos similares (*Argopecten*) por Webb y col. (1969). Estos investigadores estudiaron las variaciones proximales de *Argopecten irradians*, *Argopecten gibbus* y *Placopecten magellanicus* en diferentes estaciones del año, así como en diferentes regiones de Carolina del Norte, encontrando amplias variaciones entre regiones y estaciones del año con porcentajes de humedad que fluctuaron entre 74-83 %, 13-21% de proteínas, 0.23-0.91% de grasa y 1.2-1.85 % de cenizas.

### Rendimiento

El pretratamiento previo al secado trae como consecuencia una parcial disminución en la humedad del producto, resultado del precocido y del mismo tratamiento ácido. El Cuadro 3 ilustra como se dio esta disminución de humedad. En el callo control el abatimiento de humedad surge como resultado únicamente del proceso térmico al que se somete la muestra (5 min. a ebullición), ya que durante este proceso el calor suministrado provoca desnaturalización proteica, causando que estas pierdan gran parte de su capacidad de retener humedad debido a los cambios estructurales que pudieron haber ocurrido en las proteínas miofibrilares, las cuales son las principales responsables de esta propiedad. Aunado a esto, el empleo de soluciones ácidas como

Cuadro 2. Análisis proximal de callo de almeja mano de león fresco congelado

Constituyente	Porcentaje
Humedad	78.0 $\pm$ 1.20
Proteínas	14.6 $\pm$ 0.81
Grasa	0.3 $\pm$ 0.03
Cenizas	1.3 $\pm$ 0.01

Los valores son la media y desviación estándar de tres repeticiones

Cuadro 3. Rendimiento de callo mano de león previo al secado

Etapas	Rendimiento (%)
Callo congelado	100.00
Descongelación	77.13 $\pm$ 3.1
Cocción de callo control	68.15 $\pm$ 1.3
Cocción de callo sujeto a 1 h de inmersión en ac. cítrico (pH 3)	50.38 $\pm$ 2.5
Cocción de callo sujeto a 3 h de inmersión en ac. cítrico (pH 3)	46.17 $\pm$ 1.6

Los valores son la media y desviación estándar de tres repeticiones

pretratamiento ocasiona una eliminación de humedad más marcada. Lo anterior es el resultado de que conforme la solución ácida (pH 3) penetra hacia el interior del músculo abductor el pH de este va acidificándose, tendiendo a ser más cercano al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares; es decir, el balance de cargas va tendiendo a cero, trayendo como consecuencia cambios físicos en las proteínas, lo cual resulta en una menor capacidad de retención de agua. A pH constante, la disminución del pH del músculo dependió únicamente del tiempo de inmersión en la solución ácida (Cuadro 4); dicha disminución va acompañada de una mayor eliminación de humedad en el callo.

#### Cinética de Secado

El secado por convección de aire es una tecnología demandante de energía debido al alto contenido de humedad de la mayoría de los alimentos y al alto calor latente de vaporización del agua (Gunasekaran, 1999). Esto ha despertado el interés de tecnólogos en alimentos buscando la reducción de energía al disminuir el período de secado. El manipuleo de variables tales como temperatura, flujo de aire y humedad relativa tiene un efecto sobre la velocidad de eliminación de agua, sin embargo suele ser limitado. El empleo de ciertos pretratamientos ha dado buenos resultados en la disminución de tiempos de secado, siendo ejemplo de esto la deshidratación osmótica de una gran variedad de vegetales, en donde estos inician el proceso de desecación con una menor humedad debido a la inmersión en altas concentraciones de azúcares provocando eliminación de humedad mediante ósmosis (Gravowski y col., 2002). Vázquez y col. (2000) lograron disminuir los tiempos de secado de uva (*Muscatef*) de 80 h a 20 h a 60

Cuadro 4. pH final de callo mano de león después de inmersión ácida a pH 3

Tiempo de inmersión ácida (h)	pH
0	6.20 $\pm$ 0.05
1	5.99 $\pm$ 0.07
3	5.88 $\pm$ 0.04

Los valores son la media y desviación estándar de tres repeticiones

°C dando un pretratamiento de 3 minutos con  $K_2CO_3$  y aceite de oliva para la eliminación de la piel de uva.

En productos marinos existe poca información sobre pretratamientos que pueda recibir el producto previo a la desecación. Específicamente en el secado de callos un pretratamiento muy común es un precocido (Tanikawa y col., 1985), el cual disminuye el periodo de secado, así como brinda una mejor apariencia al producto. La inmersión de callos en soluciones de ácido cítrico de pH 3 dio como resultado una mejor facilidad en la eliminación de humedad tal y como lo demuestran los resultados. En algunos trabajos se han aplicado ciertos pretratamientos ácidos principalmente en productos carnicos, pero con la finalidad de eliminar flora bacteriana (Calicioglu y col., 2002; Calicioglu y col., 2000).

En las Figuras 7-9 se observan las cinéticas de secado a distintas temperaturas (50, 60 y 70° C), mostrándose únicamente el periodo de velocidad constante en cada uno de los tratamientos. Como era de esperarse el tiempo de secado se ve disminuido al aumentar la temperatura, siendo de 22, 15 y 13 h, para callo control; 10, 9.5 y 8 h para callos inmersos en solución ácida por una hora y 8.5, 8 y 6 h para callos inmersos en solución ácida por 3 h a 50, 60 y 70° C respectivamente. Lo anterior debido a que el aire a mayor temperatura tiene mas capacidad de remoción de humedad (Sander y col. 2001). A su vez la inmersión ácida tiene un efecto muy evidente en el secado, es decir, el tiempo de secado es mucho menor en callos inmersos en ácido que los callos control para cada temperatura. Esto se debe al efecto del pH sobre las proteínas miofibrilares. En estudios realizados por Ramli y col. (1996) con cacao no se observó una influencia

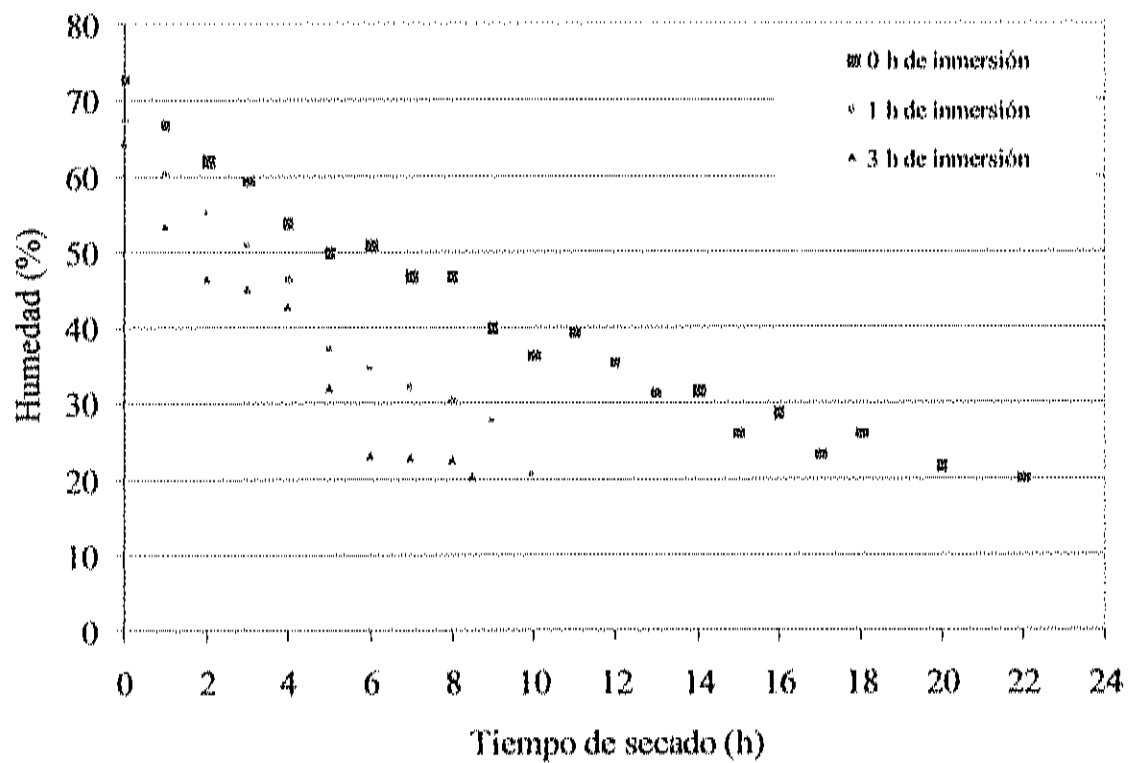


Fig. 7. Cinética de secado de músculo abductor de almeja mano de león a 50 °C sujeto a precocido e inmersión ácida a pH 3.



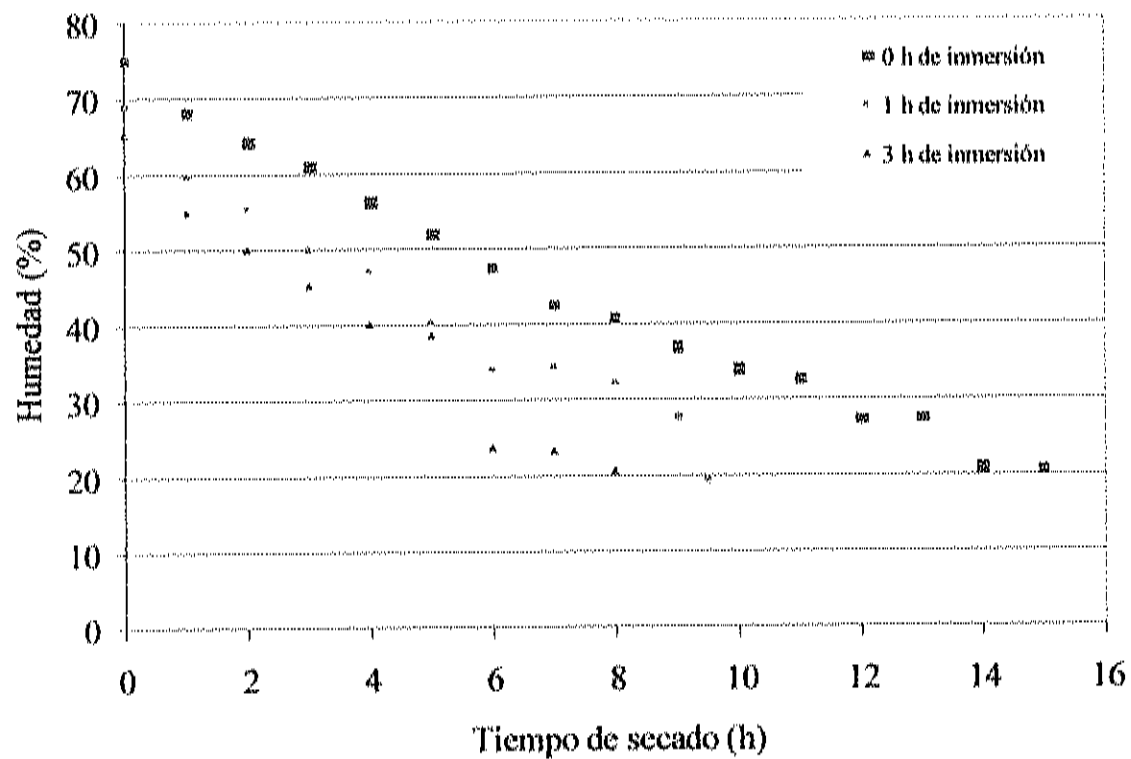


Fig. 8. Cinética de secado de músculo abductor de almeja mano de león a 60 °C sujeto a precocido e inmersión ácida a pH 3

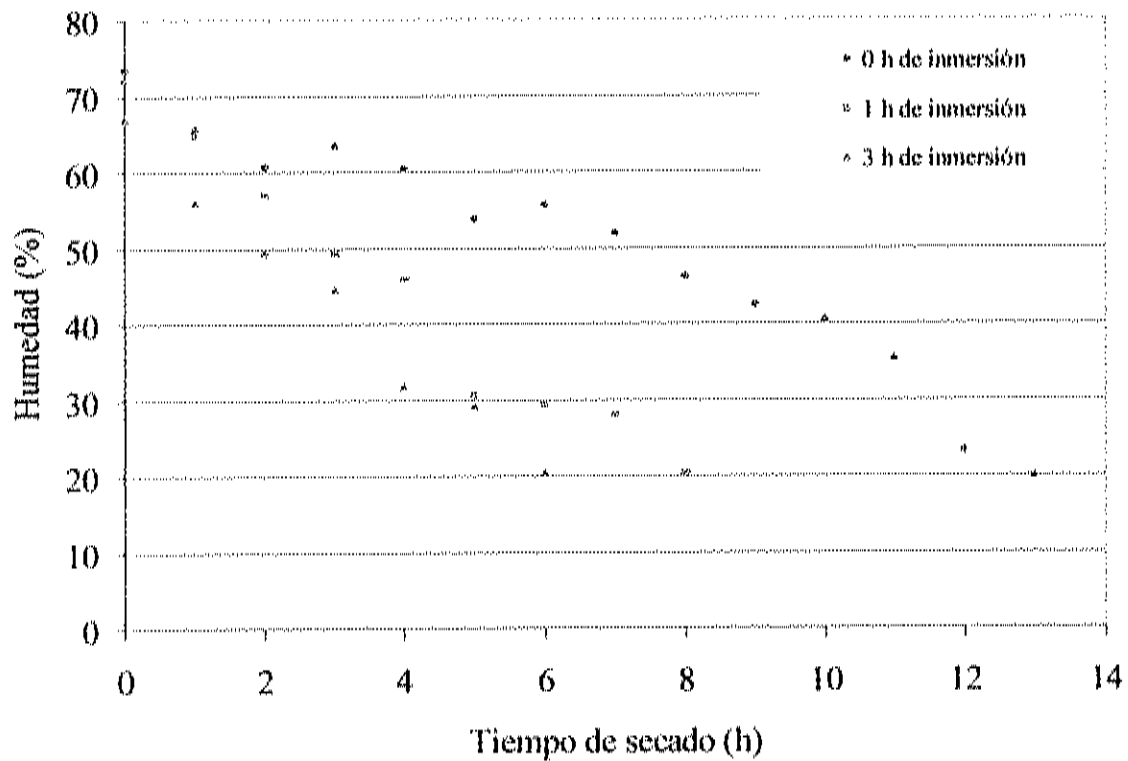


Fig. 9. Cinética de secado de músculo abductor de almeja mano de león a 70 ° C sujeto a precocido e inmersión ácida a pH 3

por la temperatura y la humedad relativa del aire de secado sobre las cinéticas de secado en un rango de 39 a 72 °C. Bifani y col. (1984) dieron un pretratamiento ácido a pH de 2, 5 y 6.5 durante 16 y 24 horas de inmersión evaluando la pérdida de humedad durante 48 h a 30 y 50 °C, encontrando solo diferencias significativas por efecto de la temperatura de secado.

El pH del músculo abductor varió en cada uno de los tratamientos, siendo de 6.2, 5.99 y 5.88 para 0, 1 y 3 h de inmersión ácida (Cuadro 4). Conforme el pH es mas bajo el tiempo de secado disminuyó notablemente para cada temperatura de secado, siendo mas impactante este efecto entre callo control y callos en inmersión debido a las diferencias en pH. Este efecto del pH puede atribuirse al balance de cargas en las proteínas miofibrilares, tendiendo a un balance cero al acercarse al punto isoeléctrico, es decir al disminuir el pH del músculo las proteínas pierden capacidad de retener agua, ocasionando que la eliminación de humedad por efecto del calor se vea mas incrementada en callos inmersos en solución ácida que en callos control.

Lo anterior tiene un fuerte impacto en los costos de producción de callo seco. Los tiempos de secado se ven disminuidos drásticamente al comparar principalmente callo control y callo inmerso en ácido. En la cinética a 50° C el tiempo de secado se reduce hasta un 55 y 61 % para 1 y 3 h de inmersión respectivamente; a 60° C la reducción es de 37 y 47 % para 1 y 3 h respectivamente, mientras que a 70° C la disminución es de 38 y 53 % para 1 y 3 h respectivamente.

### Textura

La textura de los productos secos es un factor importante en la aceptación y rechazo de estos alimentos, reportándose que la temperatura de secado tiene un efecto significativo sobre la textura de productos secos (Strumillo y Adamiec, 1996). La interacción entre los efectos principales no fue significativa ( $p > 0.05$ ). El manejo estadístico de los tratamientos por separado dio como resultado que la temperatura de secado no tuvo un efecto significativo ( $p > 0.05$ ), mientras que si la hubo para el pretratamiento ácido ( $p < 0.05$ ).

En la Figura 10 se observa el comportamiento de textura para cada uno de los tratamientos. El callo control (0) resultó ser el de mayor dureza siendo estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) de los callos en inmersión ácida. Esto podría atribuirse a la posible formación de una barrera física durante el transcurso del secado ocasionada por las condiciones ambientales del proceso, lo cual proporciona un producto de mayor dureza causado por la desecación superficial del producto. Dicha desecación ocurre cuando la velocidad de evaporación de humedad de la superficie es mayor que la difusión de humedad del centro del producto hacia el exterior de la muestra, provocando que la superficie se seque.

En lo que respecta a la textura de los callos en inmersión ácida estos arrojaron valores de menor dureza, siendo 1 y 3 estadísticamente iguales ( $p > 0.05$ ). Lo anterior probablemente se deba a que en estos callos la formación de una barrera física como resultado de las condiciones de secado sea nula, debido a que la disminución de pH en el

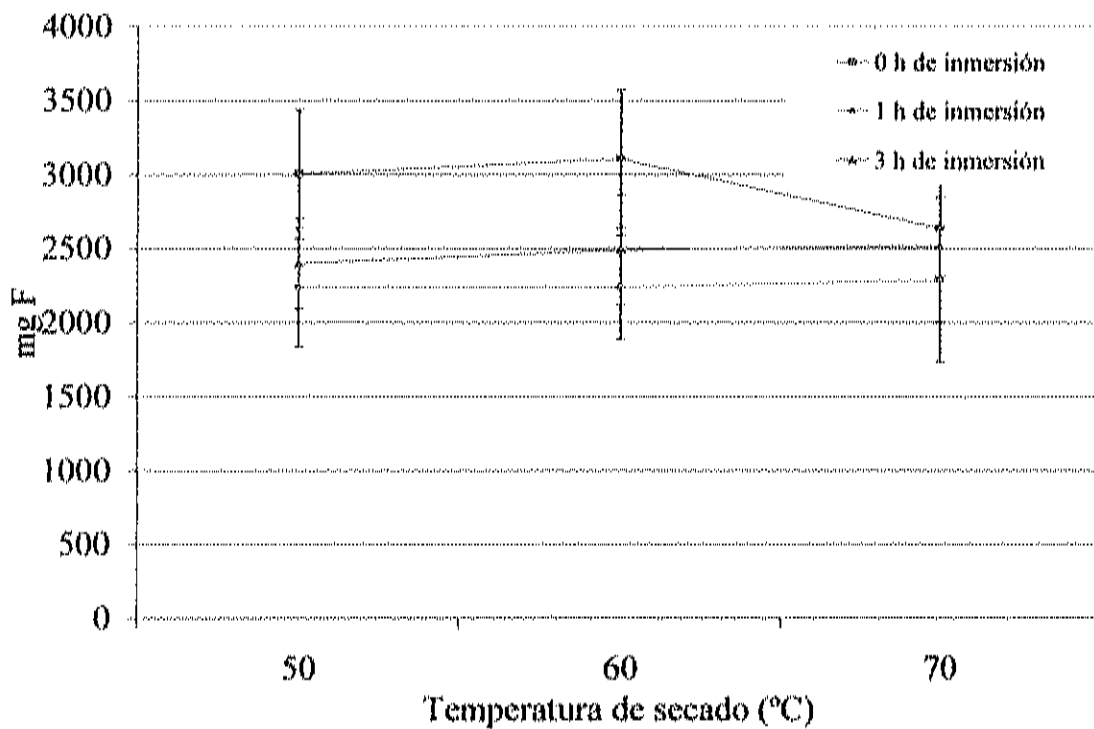


Fig. 10. Efecto de la temperatura e inmersión ácida a pH 3 sobre la textura de músculo abductor seco de almeja mano de león.

Los valores son la media y desviación estándar de la lectura de 10 callos

callo provocada por la inmersión ácida trae como resultado que la capacidad de retención de agua se vea disminuida. Al disminuir la capacidad de retención de agua la eliminación de humedad del producto por el efecto térmico aplicado durante la desecación se ve facilitada, lo cual puede apreciarse claramente en las cinéticas de secado obtenidas. La fácil remoción de humedad trae como consecuencia que la difusión de agua del centro del producto hacia su superficie se encuentre en equilibrio con la velocidad de evaporación de humedad de la superficie, por lo que la formación de una barrera física es poco probable que se forme.

### Color

El color de cada uno de los productos se ilustra en la Figura 11. Los resultados para el parámetro "L" por efecto de la temperatura y pretratamientos mostraron una interacción significativa ( $p < 0.05$ ) entre estos dos efectos principales. Estos se ilustra gráficamente en la Figura 12. El callo control presentó valores mucho más pequeños que aquellos callos puestos en inmersión ácida, es decir, estos presentaron una coloración más oscura debido a la facilidad de formación de pigmentos oscuros en el transcurso de la desecación. Este color intenso oscuro se vio disminuido en callos sujetos a inmersión ácida al encontrar valores de "L" mucho mayores que para callo control. Esto se atribuye al efecto del pH sobre el oscurecimiento de Maillard. En donde la primera fase de dicha reacción es dependiente del pH, favoreciéndose a pHs alcalinos, en donde los grupos aminos se encuentran en su mayoría desprotonados; sin embargo, a pHs ácidos o por

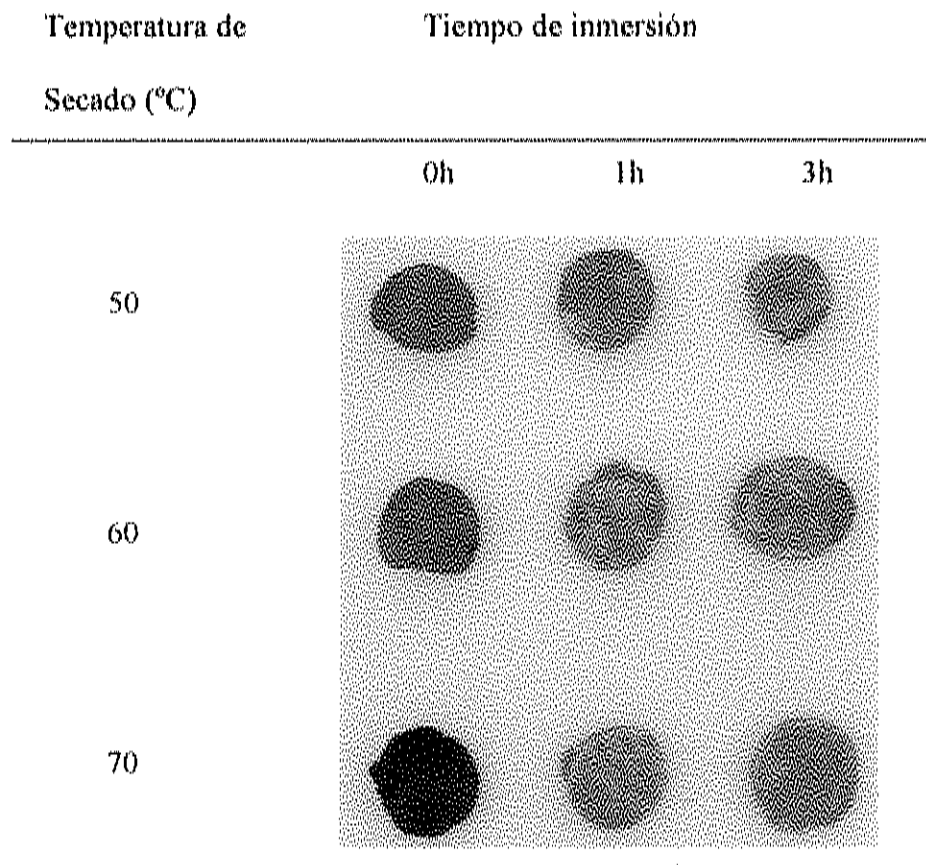


Fig. 11. Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el color de músculo abductor seco de almeja mano de león.

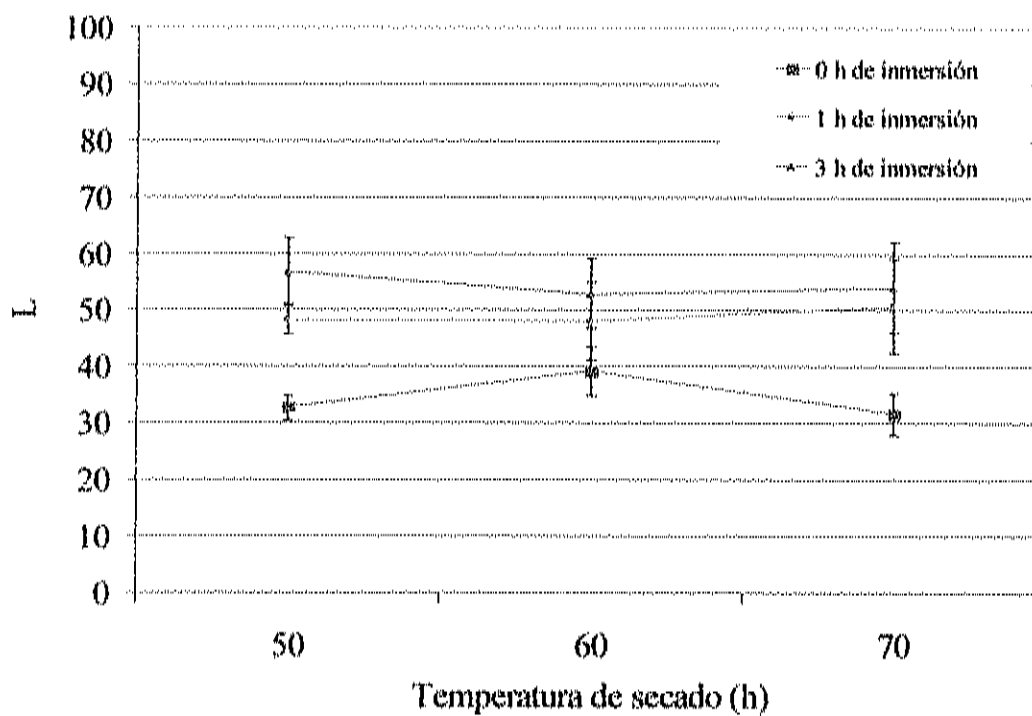


Fig. 12. Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el color de color "L" en músculo abductor seco de almeja mano de león.

Los valores son la media y desviación estándar de la lectura de 15 callos



debajo del pK de estos grupos la reacción se ve disminuida debido a que los grupos aminos se encuentran en su mayoría protonados, siendo de esta manera indisponibles para la reacción. Por lo que a mayor disminución de pH en el callo, se obtuvo un valor de "L" mayor ( $p < 0.05$ ).

El parámetro "a" (Figura. 13) también experimentó una interacción significativa entre los dos efectos principales ( $p < 0.05$ ), obteniéndose valores muy pequeños dentro de cada uno de los tratamientos, ubicándose estos en la región gris de la esfera de color. El valor "b" mostró un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) por el efecto del pretratamiento, obteniéndose valores mayores de "b" (Figura 14) para callos inmersos en ácido que para callo control, sin embargo no hubo diferencias significativas entre 1 y 3 ( $p > 0.05$ ). Estos valores de "a" y "b" vienen a ser más ilustrativos al obtener el ángulo de matiz (Figura 15) situando al producto seco en una coloración café. Dicho ángulo no presentó interacción significativa al igual que los efectos principales por separado ( $p > 0.05$ ). Los datos de cromaticidad (Figura 16) mostraron una interacción no significativa ( $p > 0.05$ ) obteniéndose solo diferencias significativas respecto al pretratamiento ( $p < 0.05$ ), encontrándose valores de croma más altos para callos inmersos en ácido que para callos control ( $p < 0.05$ ), esto debido a que callos en inmersión ácida presentan valores mayores de "b" que callos control, ubicándose estos en una región grisácea más oscura producto del oscurecimiento de Maillard.

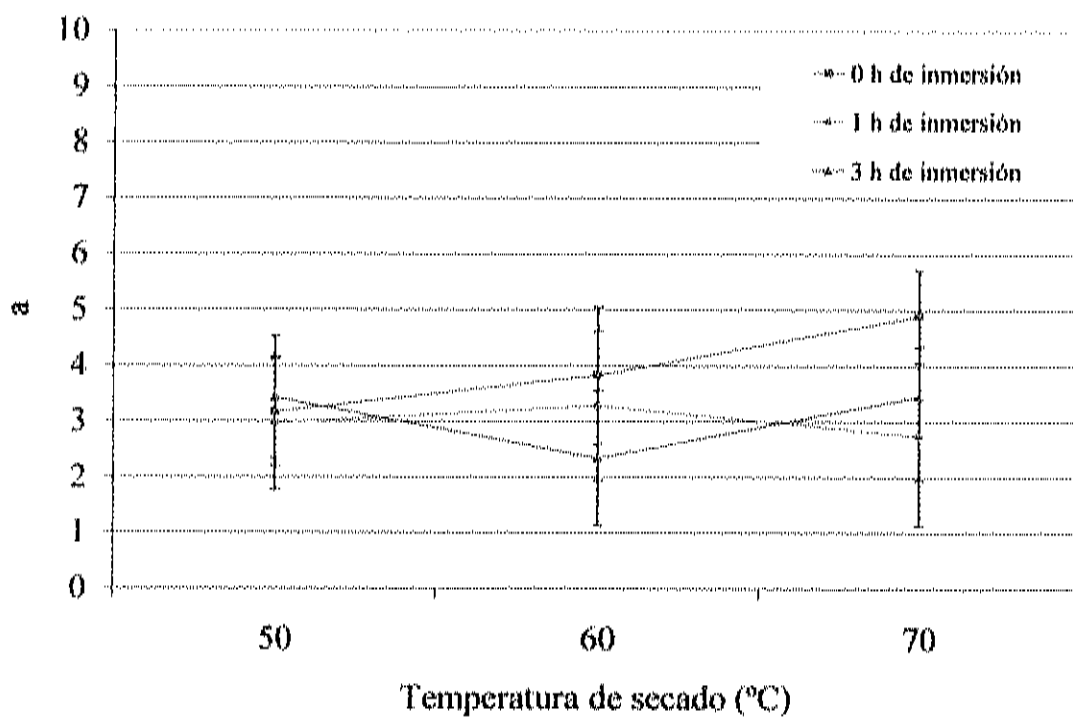


Fig. 13. Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el parámetro de color "a" en músculo abductor seco de almeja mano de león.

Los valores son la media y desviación estándar de la lectura de 15 callos

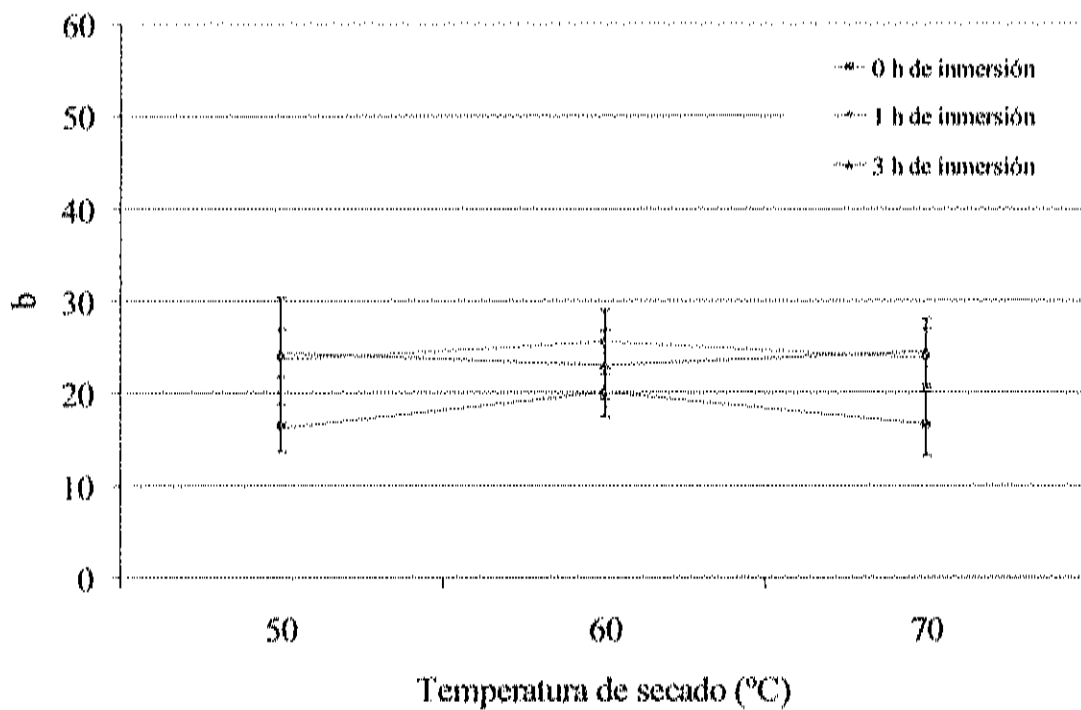


Fig. 14. Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el parámetro de color "b" en músculo abductor seco de almeja mano de león.

Los valores son la media y desviación estándar de la lectura de 15 callos

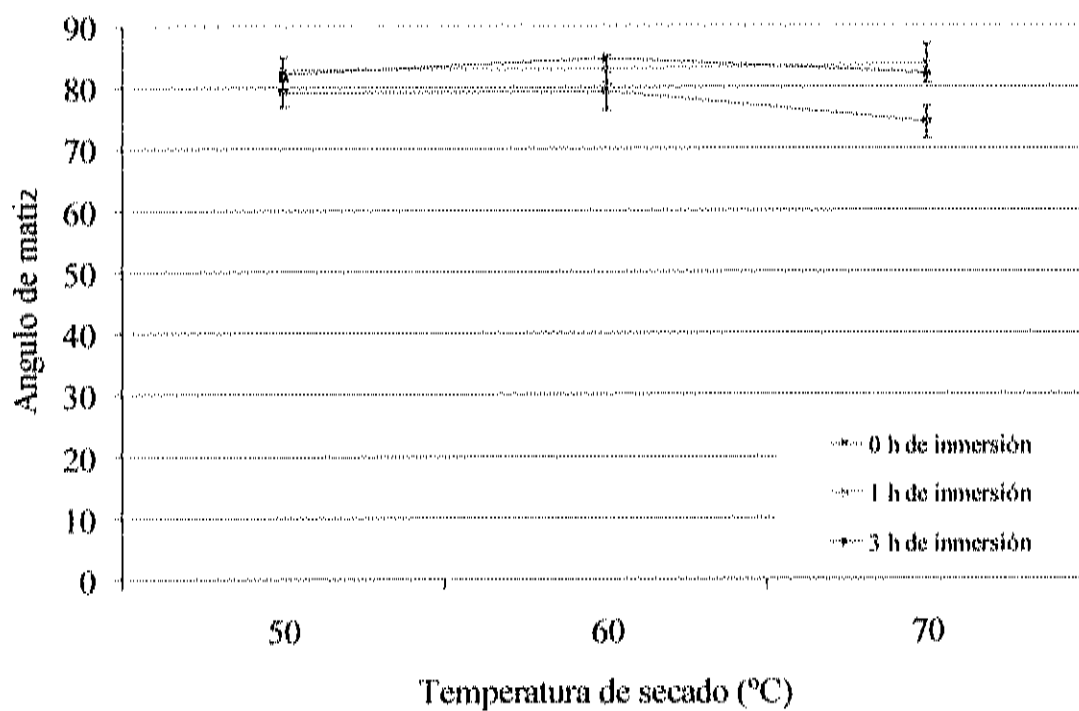


Fig. 15. Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre el ángulo de matiz en músculo abductor seco de almeja mano de león.

Los valores son la media y desviación estándar de la lectura de 15 callos

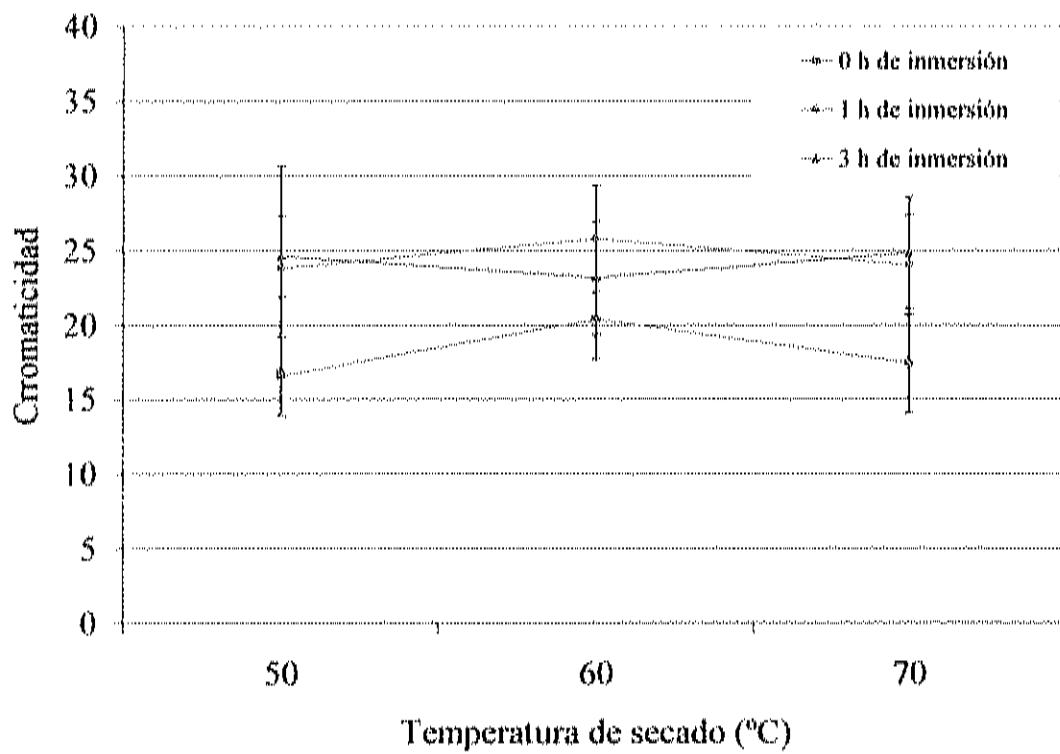


Fig. 16. Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre la cromaticidad de músculo abductor seco de almeja mano de león.

Los valores son la media y desviación estándar de la lectura de 15 callos

### Actividad de Agua

En lo que respecta a la actividad de agua no se encontraron diferencias significativas entre la interacción de los efectos principales ( $p > 0.05$ ), mientras que tanto el pretratamiento ácido como la temperatura de secado manifestaron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ), presentándose una ligera disminución al aumentar la temperatura de secado y un ligero aumento en los callos sujetos a inmersión ácida (Figura 17).

La disminución de  $A_w$  al incrementar la temperatura puede atribuirse a que conforme se aplican temperaturas más elevadas durante la desecación, la formación de una película seca sobre la superficie de los callos puede hacerse presente, pudiendo obtenerse lecturas más bajas de  $A_w$  por el efecto de esta cubierta seca en la superficie. Por otro lado dentro de una misma temperatura de secado, los callos en inmersión ácida presentaron una mayor  $A_w$ , lo cual se puede asociar a que en estos callos la formación de una cubierta similar a la que pudo haberse presentado en callos control es muy poco probable, debido a que la remoción de humedad en estos callos se vio tan facilitada por el efecto del pH.

La  $A_w$  obtenida en cada uno de los productos fluctuó en un rango de 0.62 a 0.78, lo cual se puede considerar relativamente alta, para productos secos (Stenel, 1999), sin embargo a estas  $A_w$ s el deterioro bacteriano no tiene lugar, aunque la aparición de algunos hongos puede hacerse evidente durante su almacenamiento. Estudios con macarela seca a niveles de  $A_w$  de 0.72 a 0.74 no mostraron deterioro bacteriano ni fúngico (Rahman y col. 2000). Los resultados indican que la mayor estabilidad se logra

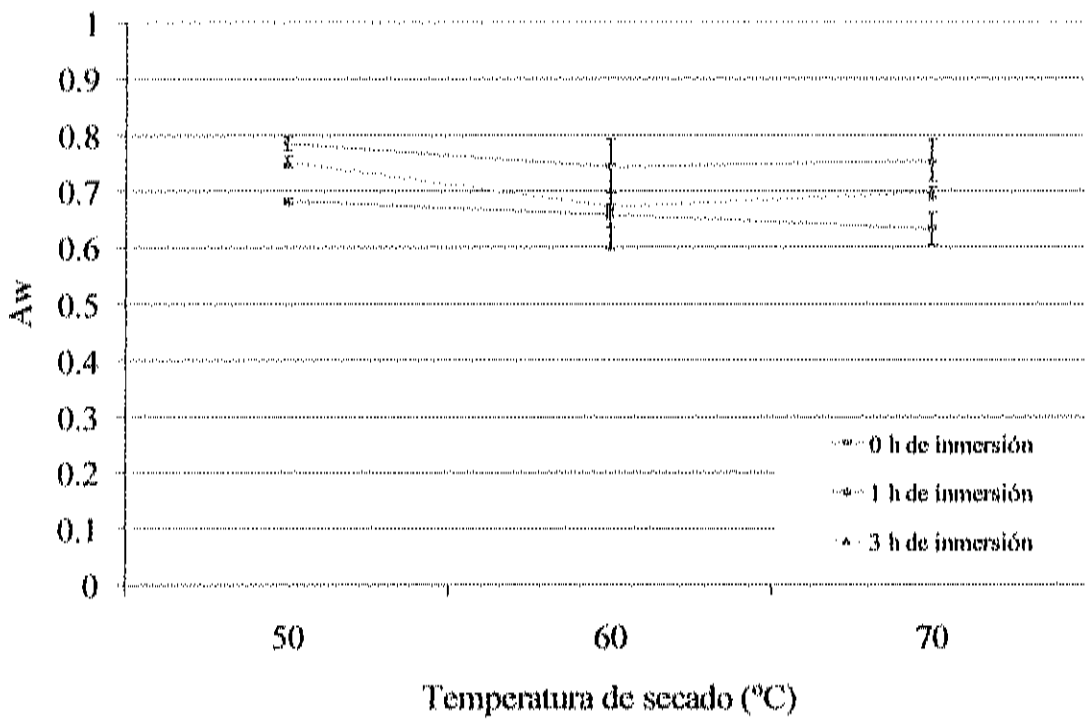


Fig. 17. Efecto de la temperatura de secado e inmersión ácida a pH 3 sobre la actividad de agua de músculo abductor seco de almeja mano de león.

Los valores son la media y desviación estándar de la lectura de 10 callos

secando callo a mayor temperatura, obteniéndose menores  $A_w$ s para callos control que para callos sujetos a inmersión ácida, no obstante la reducción de pH puede contribuir a ofrecer una mayor estabilidad en estos productos (Chirife y Favetto, 1992).

#### Isotermas de Sorción

Las isotermas de sorción obtenidas en este trabajo asemejan un comportamiento típico para la mayoría de los alimentos ricos en proteínas (Cervantes y col., 1993; Sami, 1990). El fenómeno de adsorción de humedad a distintas HR fue muy similar para cada una de las temperaturas de secado. El producto fue más higroscópico a actividades de agua mayores a 0.6, observándose que el alimento puede absorber cantidades considerables de humedad durante su almacenamiento, sin presentar cambios bruscos en su  $A_w$  (Figuras 18-20). Similares resultados han sido reportados por Adam y col. (2000) estudiando el fenómeno de sorción en cebolla. Este tipo de comportamientos se ha atribuido a la falta sitios activos de los biopolímeros constituyentes del alimento para unir moléculas de agua, de ahí que a bajas  $A_w$  este producto sea poco higroscópico (Khalloufi y col., 2000; Adam y col., 2000; Sami y col.1990). La falta de estos sitios activos capaces de soportar moléculas de agua se debe probablemente al daño causado en las proteínas y carbohidratos del músculo abductor por efecto térmico del secado.

El comportamiento de adsorción para callo control como para callos en inmersión ácida mostraron una gran similitud, si bien en callos pretratados en ácido se podría esperar menor efecto térmico asociado a menor tiempo de secado, y por consiguiente menor daño sobre los biopolímeros constituyentes del músculo abductor,



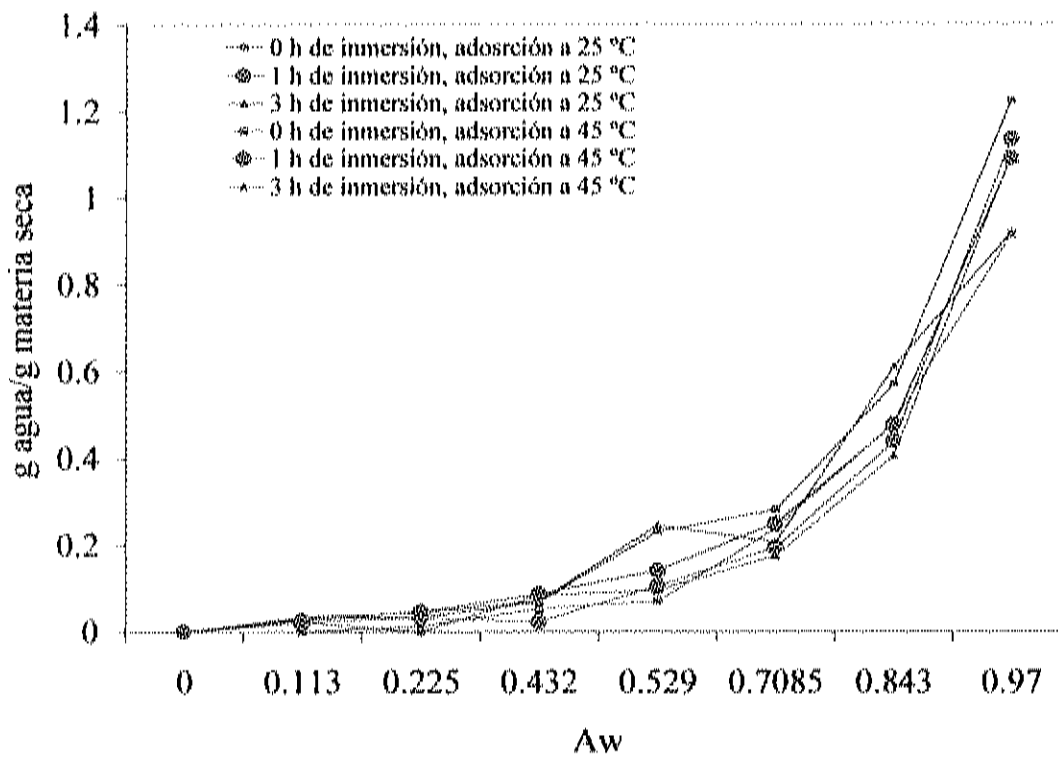


Fig. 18. Isothermas de adsorción para músculo abductor de almeja mano de león secado a 50 °C.

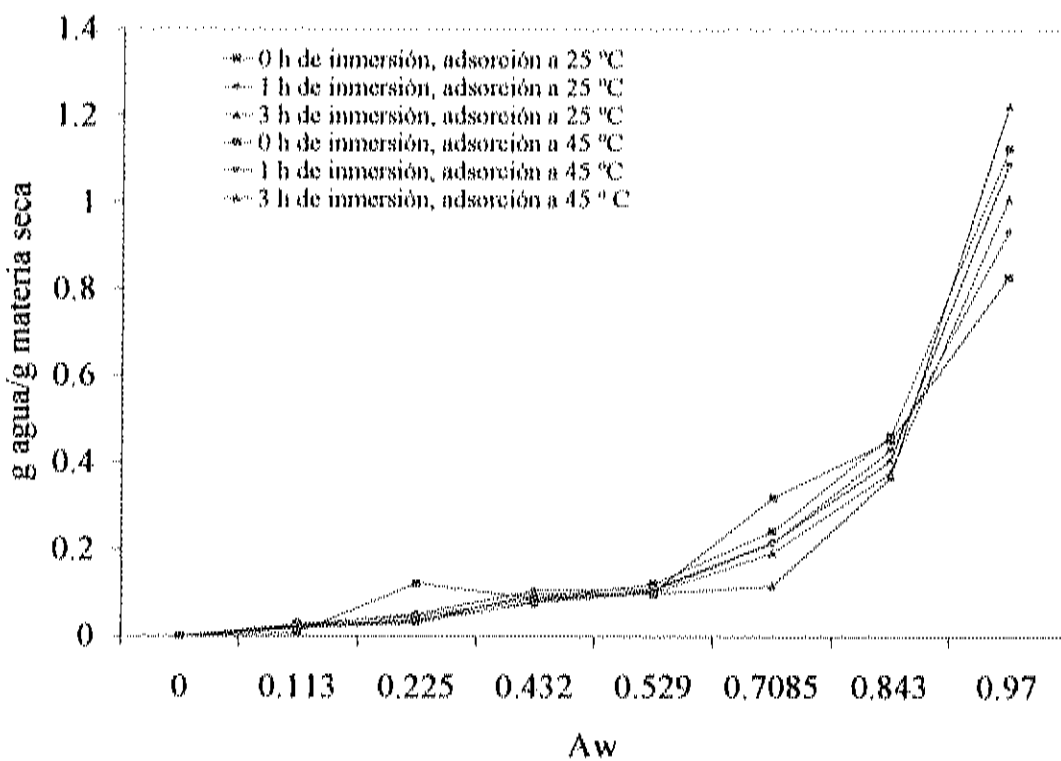


Fig. 19. Isothermas de adsorción para músculo abductor de almeja mano de león secado a 60 °C.

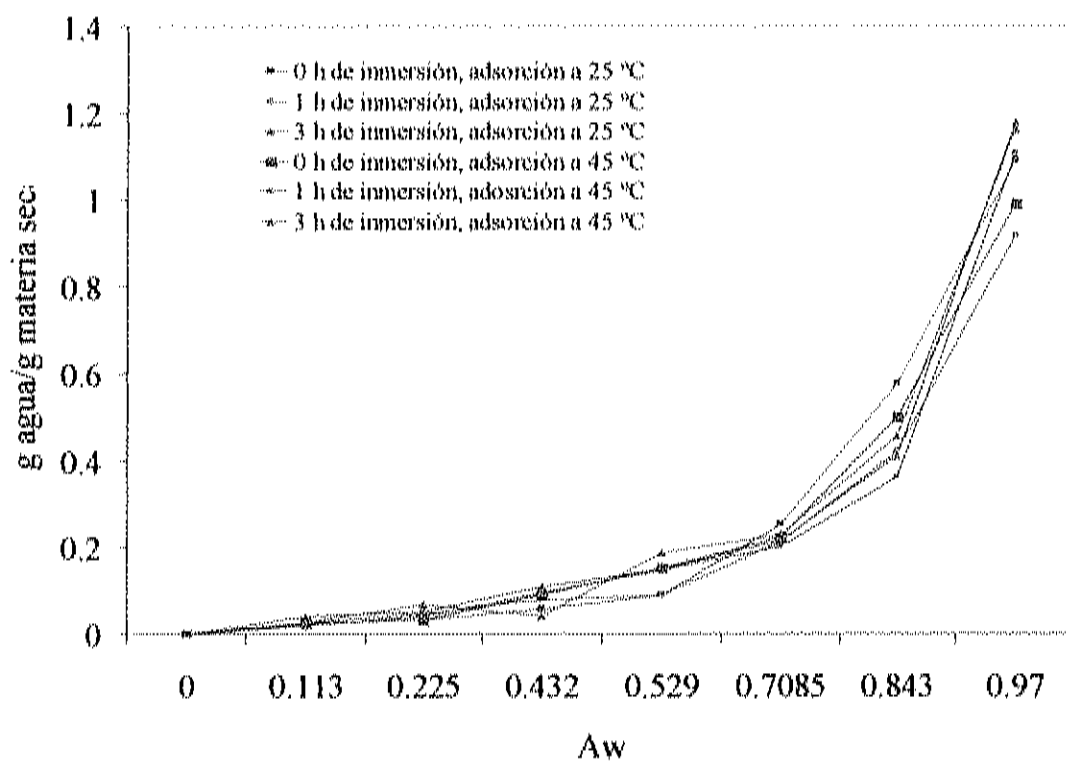


Fig. 20. Isothermas de adsorción para músculo abductor de almeja mano de león secado a 70 °C.

también el pH pudo haber jugado un papel fundamental, al alterar la carga neta de las proteínas miofibrilares.

Las isotermas de adsorción y desorción exhibieron el fenómeno de histéresis, donde el contenido de humedad en equilibrio para una particular actividad de agua fue mas alto en la desorción que para la adsorción. Este comportamiento se muestra en las Figuras 21-23, en donde se aprecia una histéresis muy evidente como resultado del daño físico de los sitios activos en los biopolímeros durante la deshidratación. Sami y col. (1990) encontró solo pequeñas diferencias entre la histéresis de higo a 15° C, mientras que a 45° C para el mismo producto la histéresis no se presentaba. En otro estudio realizado con leche en polvo por Stencel (1999), no se presento histéresis a 20 ni a 45 °C. Por otra parte, Kaya y Oner (1996) obtuvieron una histéresis muy pronunciada para queso a 20° C, en donde nunca hubo un traslapamiento de las isotermas, reportando que para un contenido de humedad de 1 % en la adsorción, la desorción presentaba 10 % de humedad a la misma actividad de agua.

La suposición que durante la adsorción el producto se vuelve menos higroscópico por una disminución de sitios activos ha sido afianzada por algunos investigadores que han estudiado el comportamiento del calor de sorción para adsorción y desorción (Adam y col., 2000). Durante la desorción el calor de sorción es mayor que para la adsorción en todo el rango de humedad del producto, entendiéndose entonces que se necesita mayor energía para remoción de agua durante la desorción que en la adsorción, atribuyéndose este comportamiento a que en la desorción los sitios activos de los biopolímeros como

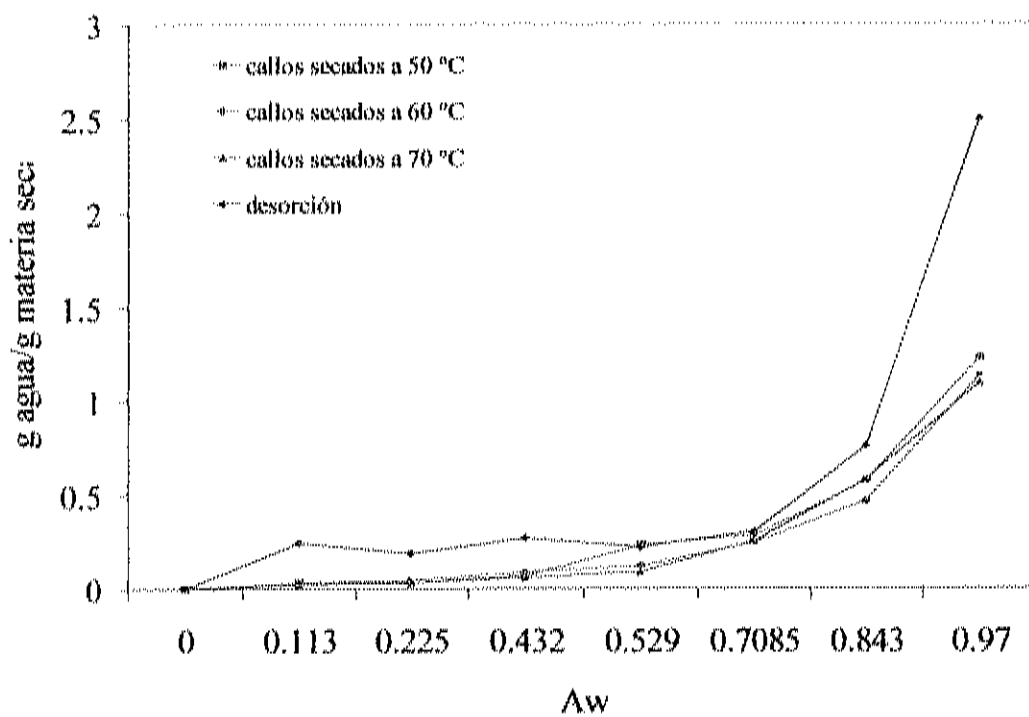


Fig. 21. Efecto de la temperatura de secado sobre las isothermas de sorción de músculo abductor control.

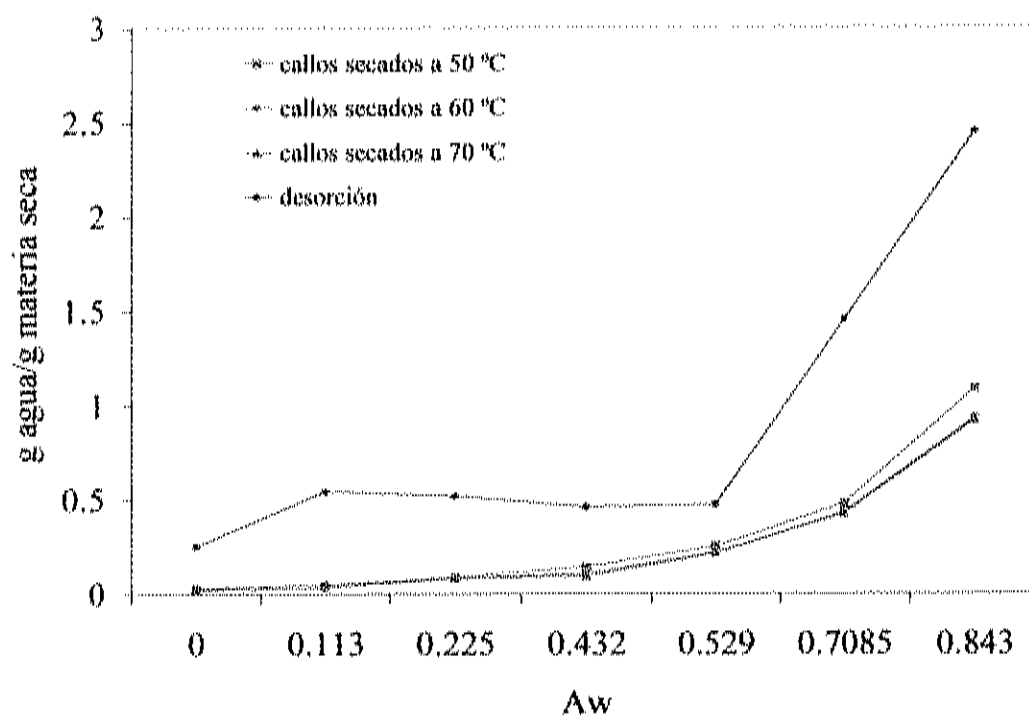


Fig. 22. Efecto de la temperatura de secado sobre las isothermas de sorción de músculo abductor inmerso 1 h a pH 3.

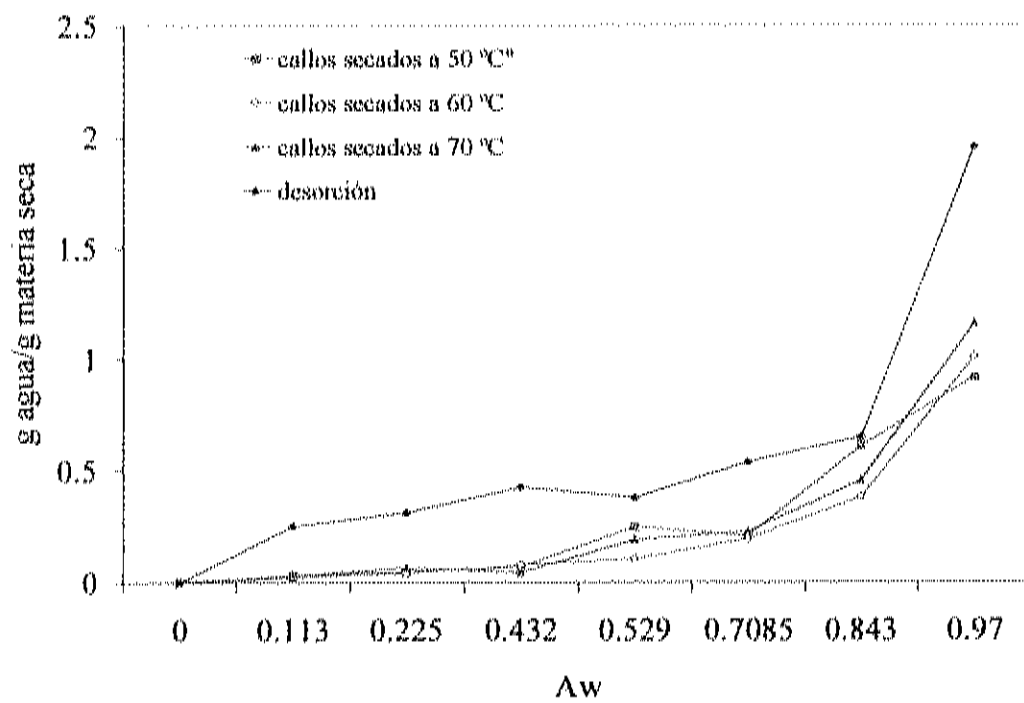


Fig. 23. Efecto de la temperatura de secado sobre las isotermas de sorción de músculo abductor inmerso 3 h a pH 3.

proteínas y carbohidratos se encuentran prácticamente intactos, no siendo así en la adsorción.

La predicción del comportamiento de sorción es una información útil obtenida de las isotermas de adsorción. Una gran variedad de modelos se han propuesto para este fin, sin embargo la ecuación BET ha sido una de las más utilizadas debido principalmente a las buenas predicciones que se obtienen de ella. Esta además de predecir comportamientos de sorción a bajos niveles de actividad de agua, también proporciona el mínimo contenido de humedad a la cual el producto sería más estable, es decir, determina el agua de la monocapa, así como el calor de sorción necesario para su eliminación.

En este trabajo se obtuvieron esos parámetros a las dos temperaturas de elaboración de las isotermas (Cuadro 5), estimados de la pendiente e intercepto de graficar  $A_w/(X_m(1-A_w))$  contra  $A_w$ , considerando un rango de  $A_w$  de 0.11 a 0.43. La cantidad de agua en la monocapa fue muy similar para todos los productos a ambas temperaturas. Resultados similares fueron encontrados por Moreira y col.(2002) en garbanzo en isotermas elaboradas a 25, 35 y 45 °C. En otros estudio Labuza y col. (1985) encontraron que el agua de la monocapa para harina de pescado fue de 0.0433 g de agua por gramo de materia seca, disminuyendo ésta con un aumento en la temperatura, Adam y col. (2000) presentó valores de monocapa de 0.064 g de agua/ g materia de seca disminuyendo esta con un aumento en la temperatura. En nuestro trabajo encontramos valores de monocapa que oscilan alrededor de 0.04 y 0.05 g de agua/ g de



Cuadro. 5. Parámetros de la ecuación BET

Temperatura de secado (°C)	Pretratamiento	$X_m$ (g/g)	C
50	0	$0.036 \pm 0.03$	$27.48 \pm 2.21$
50	1	$0.049 \pm 0.02$	$14.00 \pm 2.31$
50	3	$0.039 \pm 0.03$	$43.34 \pm 3.15$
60	0	$0.048 \pm 0.01$	$18.34 \pm 3.41$
60	1	$0.044 \pm 0.02$	$18.21 \pm 2.56$
60	3	$0.043 \pm 0.04$	$13.61 \pm 1.25$
70	0	$0.031 \pm 0.05$	$32.42 \pm 4.29$
70	1	$0.045 \pm 0.03$	$20.54 \pm 3.71$
70	3	$0.045 \pm 0.05$	$32.57 \pm 2.87$

Los valores son la media y desviación estándar de dos repeticiones

$X_m$  = g de agua/g de materia seca

C = calor de sorción ( Kcal/mol)

materia seca, sin obtener una disminución de esta cantidad de agua con un aumento en la temperatura, ya que en este estudio no se observó un efecto aparente de la sorción a 25 y 45° C. Sin embargo sí se encontró una disminución en el calor de sorción para callos sujeto a 45 °C. Esto se relaciona con una mayor facilidad de remoción de humedad en callos a 45° C que para callos sujetos a 25° C. Varios autores (Adam y col., 2000; Rahman, 1998; Gous, 1998; Labuza y col. 1985) han reportado la disminución de humedad de la capa BET y del calor de sorción con un incremento en la temperatura, lo cual puede atribuirse a una reducción en el número total de sitios activos para ligar agua como resultado de cambio físicos y químicos y a un incremento a la tendencia de escape del agua, debido al aumento de la temperatura (Rahman y col., 1998).

#### Identificación de Envases

El estudio del comportamiento de sorción tiene su mayor aplicación en la predicción de higroscopicidad del producto, así como condiciones de almacenamiento, por lo que es una herramienta útil en la selección de un envase apropiado. El análisis mediante la espectroscopia de infrarrojo (Figura 24) de envases comerciales utilizados en estos productos vino a reforzar los resultados de la sorción. Se identificaron tres envases comerciales encontrándose al polipropileno como el envase de elección, lo cual puede deberse principalmente a las buenas características que este ofrece como barrera al vapor de agua, siendo este de bajo costo y de fácil adquisición, por lo cual esta película es una buena opción para este tipo de productos (Adom y col., 1996).

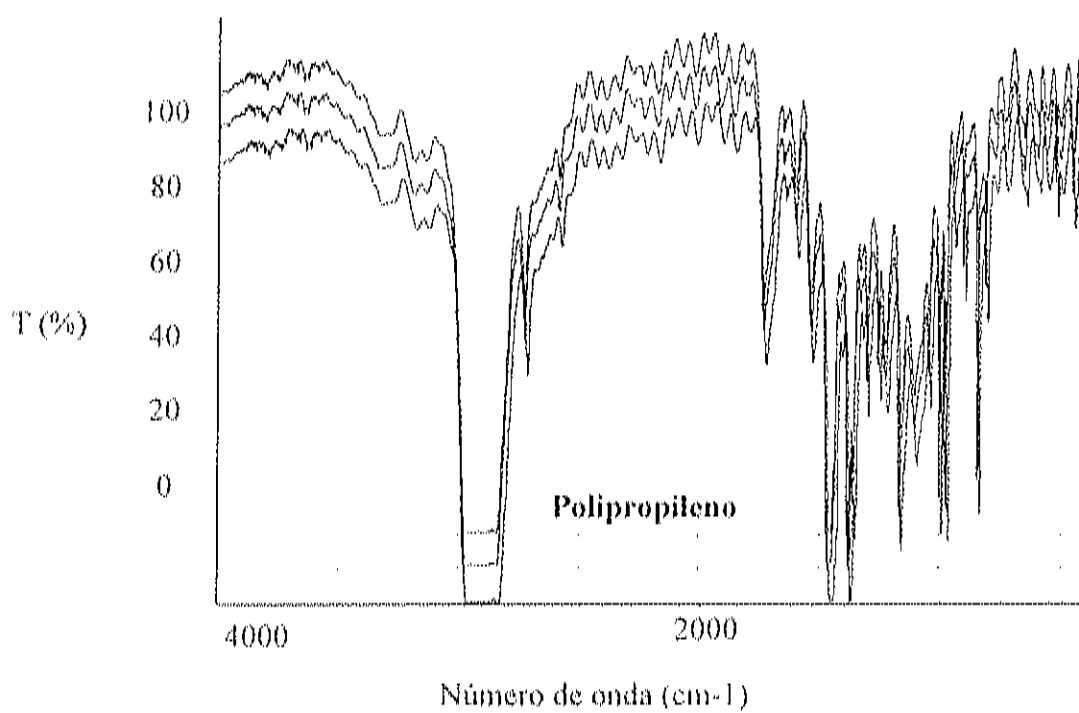


Fig. 24. Espectros de infrarrojo de tres envases comerciales

## CONCLUSIONES

Para secar músculo abductor de almeja mano de león se plantea la necesidad de rebanarlo, así como someterlo a un precocido previo a la desecación.

El pretratamiento en inmersión ácida presenta una velocidad de secado mayor dentro del rango de temperaturas de secado utilizadas, por lo que representa una buena alternativa como una opción en la reducción de los tiempos de secado.

La inmersión ácida permitió la elaboración de callos secos de un mejor color, por el efecto del pH sobre el oscurecimiento de Maillard. Por lo tanto este pretratamiento vino a solucionar dos problemáticas muy fuertes dentro de este ámbito; la disminución del tiempo de secado y el oscurecimiento presentados durante la desecación de este tipo de productos. Este pretratamiento viene a modificar ligeramente la textura, obteniéndose una consistencia ligeramente más blanda para callos en inmersión ácida. La  $A_w$  es ligeramente mayor que para callos sujetos a inmersión ácida, sin embargo la reducción de pH podría venir a sumarse a contrarrestar el deterioro microbiano que pudiera presentarse. Bajo las condiciones de trabajo utilizadas se concluye que el secado de callo a 70 °C y una hora de inmersión ácida es la mejor opción.

El fenómeno de sorción presentado demostró que todos los tratamientos presentaron una alta higroscopicidad a actividades de agua mayores a 0.6.

El daño físico causado sobre las proteínas en los callos secos fue muy significativo dadas las amplias histéresis observadas. La cantidad de agua en la monocapa fue similar para cada uno de los pretratamiento, por lo que el mínimo

contenido de humedad en la que este producto lograría su máxima estabilidad será de 3 a 4 g de agua por 100 g de músculo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AOAC, 1993. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemist. Vol. II 15<sup>th</sup>. Association of Official Analytical Chemist. Arlington Virginia, U.S.A.
- Achanta, S. y Okos M. 1996. Predictin the Quality of Dehydrated Foods and Biopolymers – Research Needs and Opportunities. *Drying Technol.* 14:1329-1368.
- Adam, E., Muhlbauer W., Esper A., Wolf W. y Spieb W. 2000. Wffect of Temperature on Water Sorption Equilibrium of Onion (*Allium cepal*). *Drying Tecennol.* 18: 2117-2129.
- Adom, K.K., Dzogbefia V.P., Ellis W.O. y Simpson B.K. 1996. Solar Drying of Okra – Effects of Selected Package Materials on Storage Stability. *Food Res. Int.* 29:589-593.
- Badui, D. S. 1982. Química de los Alimentos. Ed. Alhambra, S.A. México
- Bifani, C.V., Paredes R.C. y de la Vega M.J.A. 1984. Deshidratación de Carne. Condiciones de Pretratamiento y Secado. *Agroquím. Technol. Aliment.*, 24(2): 239-249.
- Bourne, M. C. 1978. Texture Profile Analysis. *Food Technol.*, 32(7):62-66,72.
- Bourne, M. C. 1966. Measure of Shear and Compression Components of Puncture Test. *J. Food Sci.* 31:282-291.
- Burguess, G. H. O., Cutting C. L., Lovern J. A. y Waterman J. J. 1965. El pescado y la Industria Derivada de la Pesca. Ed. Acribia. Zaragoza, España.

- Calicioglu, M., Sofos J.N., Samelis J., Kendall P.A. y Smith G.G. 2002. Destruction of Acid-Adapted and Non-Adapted Salmonella During Drying and Storage of Beef Jerkey Treated with Marinades. Animal Sciences Research Report, The Department of Animal Sciences, Colorado State University.
- Calicioglu, M., Sofos J.N., Samelis J., Kendall P.A. y Smith G.G. 2002. Effect of Acid Adaptation and Marinades on Destruction of Escherichia coli 0157:H7 During Druing and Storage of Beef Jerkey. Animal Sciences Research Report, The Department of Animal Sciences, Colorado State University.
- Chirife, J. y Del Pilar, B. M. 1994. Water Activity, Glass Transition and Microbial Stability in Concentrated/semimoist Food Systems. J. Food Sci., 59:921-927.
- Cherife J. y Favetto G. 1992. Some Physico-Chemical Basis of Food Preservation by Combined Methods. Food Res. Int. 25:389-396.
- Chrystopher, J., Mulloy B. y Thomas A.H. 1993. Spectroscopi Methods and Analyses. Humana Press New Jersey. 395 p.
- Chung, H.Y., Shing Y.I.K y Joo-Shin Kim. 2001.Comparasion of Volatile Components in Dried Scallop (*Chlamys farreri* and *Pactinopecten yessoensis*) Prepared bu Boiling and Steaming Methods. J. Agric Food Chem. 49:192-102.
- Chung-Hong, T., Bonnie S. P. y Ming-Sheng K. 1991. Browning Behavior of Taurine and Proline in Model and Dried Squid Systems. J. Food Biochem., 15:67-77.
- Cohen, J. S. y Yang C. S. 1995. Progress in Food Dehydration. Trends in Food Sci. & Technol., 6:20-24.
- Desrosier, N.W., 1986. Conservación de Alimentos, Ed. CECOSA, México, D.F.

- Dore, I. 1991. Shell Fish. A guide to Oysters Mussels, Scallops, Clams and Similar Products for the Commercial User. Ed. Van Nostrand Reinhold.
- Eskin, M. 1990. Biochemistry of Food. 2da. Edición. Ed. Academic Press, INC. E.U.
- Felix-Pico, 1991. En "Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture". Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Vol. 21. Editor Shumway, S. Ed. Elsevier Science Publisher, B. V. NY, USA. 943-980.
- Fellows, P. 1994. Tecnología del Procesado de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España
- Fennema, O. R. 1996. Food Chemistry. 3<sup>ra</sup>. Edición. Ed. Marcel Dekker Inc.
- Fontana, J. A. 2000. Water Activity Role in Food Safety and Quality. Second NSF International Conference on Food Safety, Savannah, GA USA.
- Fontana, A. J. 1998. Water Activity: Why it is Important for Food Safety. First NSF International Conference on Food Safety, Albuquerque, N. M.
- Friedman, H. H., Whitney J. E. y Szczesniak A. S. 1963. The texturometer-A New Instrument for Objective Texture Measurement. Food Technol., 28:390-396.
- [fscn1.fsci.umn.edu/TedLabuza/PDFfiles/papers Maillard-confectionery.pdf](http://fscn1.fsci.umn.edu/TedLabuza/PDFfiles/papers%20Maillard-confectionery.pdf).
- García-Alvarado, M.A., De la Cruz-Medina J., Waliszewski-Kubiak K.N. y Salgado-Cervantes M.A. 1995. Statistical Analysis of the Gab and Henderson Equations for Sorption Isotherms of Foods. Drying Technol. 13: 2141-2152.
- Giese, J. 2000. Shelf-life Testing. Food Technol., 54 (7):84-85.



- Giese, J. 1995. Measuring Physical Properties of Foods. Texture, moisture and color are critical factors in food processing, product quality, and consumer preference. *Food Technol.*, 42(9):54-63.
- Girar, J. P. 1991. *Tecnología de la Carne y de los Productos Cárnicos*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Gogus, F., Maskan M. y Kaya A. 1998. Sorption Isotherms of Turkish Delight. *J. of Food Processing and Preservation*. 22:345-357.
- González, M. N. F., Zamorano G. L., Cumplido B. L. G. y González R. H. 2001. Secado de Carne para la Elaboración de Machaca. Pérez A.J.A, Fernández L.J. y Sayas B.E. *Industrialización de Productos de Origen Animal*. Escuela politécnica superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández, España.
- Grabowski, S., Marcotte M., Poirier M. y Kudra T. 2002. Drying Characteristic of Osmotically Pretreated Cranberries-Energy and Quality Aspects. *Food Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada*. 2002-083 TR-J.
- Griffin, R. C., Sacharrow S. y Brody A. C. 1985. *Principles of Package Development*. 2<sup>th</sup> edición. Ed. Avi publishing company, INC.
- Gunasekaran, S. 1999. Pulsed Microwave-Vacuum Drying of Food Materials. *Drying Technol.* 17:395-412.
- Haard, N. F. 1995. Food as Cellular Systems: Impact on Quality and Preservation. A Review. *J. Food Biochem.*, 19:191-238.
- Huai, X. y Liu D. 2001. Heat and Mass Transfer Analysis in Laser Drying. *Proceedings of NHTC'01*. 35<sup>th</sup> National Heat Transfer Conference.

- Ibarz, A., Casero T., Miguelsanz R. y Pagan J. 1989. Cinética de Pardeamiento no Enzimático de Concentrado de Zumo de Pera Almacenado a Distintas Temperaturas. *Rev. Agroquím. Technol. Aliment.*, 29:407-413.
- Isse, M.G., Schuchmann H. y Schubert H. 1993. Divided Sorption Isotherm Concept: An Alternative Way to Describe Sorption Isotherm Data. *J. of Food Process Engenering*. 16:147-157.
- Jack, F., Peterson A. y Piggott J. 1995. Review. Perceived Texture: Direct and Indirect Methods for Use in Product Development. *International J. of Food Sci. and Technol.*, 30:1-12.
- Karel, M y Nickerson J. T. R. 1964. Effects of Relative Humidity, Air and Vacuum on Browning of Dehydrated Orange Juice. *Food Technol.*, 18(8):104-108.
- Karmas, E. 1980. Techniques for Measurement of Moisture Content of Foods, *Food Technol.*, 34(4):52-58
- Kanujoso, B., Chung D.S. y Song A. 1995. Study of Desorption and Adsorption During Grain Aeration. *Drying Technol.* 13:183-196.
- Kaya, S. y Oner M. 1996. Water Activity and Moisture Sorption Isotherms of Gaziantep Cheese. *J. Food Quality*, 19:121-132.
- Ken-Yuon, L. y Torres A. 1993. Effects of Temperature and Solute on the Minimum Water Activity for Growth and Temperature Characteristic of Selected Mesophiles and Psychrotrophs. *J. of Food Processing and Preservation*. 17:305-318.

- Khalloupi, S., Giasson J. y Ratti C. 2000. Water Activity of Freeze Dried Mushrooms Aberries. *Canadian Agricultural Engineering*. 42(1):7.1-7.13.
- Krokida, M. K., Kiranoudis C. T., Maroulis Z. B. y Marinos-Kouris D. 2000. Effect of Pretreatment on Color of Dehydrated Products. *Drying Technol.*, 18: 1239-1250.
- Labuza, T. P., Kaanane A. y Chen J. Y. 1985. Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of Two Dehydrated Food. *J. Food Sci.*, 50:385-391.
- Labuza, T. P. 1982. Moisture Gain and Loss in Packaged Foods. *Food Technol.*, 36(4): 92-97.
- Labuza, T. P. 1980. The Effect of Water Activity on Reaction Kinetics of Food Deterioration. *Food Technol.*, 34(4):36-41.
- Labuza, T. P. 1968. Sorption Phenomena in Foods. *Food Technol.*, 22(3):15-20.
- Lewick, P.P. 1998. A Three Parameter Equation for Food Moisture Sorption Isotherms. *J. of Food Process Engineering*, 21:127-144.
- Ludorff, W. y Meyer V. 1978. *El pescado y los Productos de la Pesca*. 2da. Edición. Ed. Acribía. Zaragoza, España.
- Marsh, K. S. 2001. Looking at Packaging in a New Way to Reduce Food Losses. Understanding the distinction between protective and marketing functions of packaging and their respective costs can help reduce postharvest losses in developing countries. *Food Technol.*, 55(2):48-52.
- Mongomery, D. C. 1991. *Diseño y Análisis de Experimentos*. Ed. Iberoamericana. México.

- Moreira, R., Vázquez G. y Chenlo F. 2002. Influence of the Temperature on Sorption Isotherms of Chickpea: Evaluation of Isothermic Heat of Sorption. *Electron, J. Environ. Agric. Food Chem.* ISSN-15794377.
- Ocaño, H.V.M. 1999. Caracterización Parcial del Comportamiento Bioquímico Posmortem y Desarrollo de Productos a Partir de Callos de Almeja Catarina (*Argopecten ventricosus*) y Almeja Mano de León (*Nodipecten subnodosus*) de Baja California, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México. 111 pp.
- Onayemi, O. y Oluwamukomi M. O. 1987. Moisture Equilibria of Some Dehydrated Cassava and Yam Products. *J. Process Engineering*, 11:191-201.
- Pacheco-Aguilar, R., Ocaño-Higuera V. y Maeda M. A. 2002. Manejo y Procesamiento de Pectínidos. Capítulo 21. Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. 501 p
- Papadakis, S. E., Bahu R. E., McKenzie K. A. y Kemp I. C. 1993. Correlations for the Equilibrium Moisture Content of Solids. *Drying Technology*, 11:543-553.
- Petersen, K., Nielsen P. V., Bartelsen G., Olsen M. B., Lawther M., Nilson N. H. y Mortensen G. 1999. Potential Biobased Materials for Food Packaging. *Trends in Food Sci. & Technol.*, 10:52-68.
- Pfeiffer, C., D'Aujourd'hui M., Walter J., Nuessli J. y Escher F. 1999. Optimizing Food Packaging and Shelf Life. *Food Technol.*, 52(6):52-59.
- Piggott, G.M. y Barbee W. T. 1990. *Seafood Effects of Technology on Nutrition*. Ed. Marcel Dekker, INC. New York.

- Potter, N. N. 1978. Food Science. 3<sup>ra</sup>. Edición. Ed. Avi publishing, INC.
- Rahman, M.S., Guizani N., Al-Ruzeiki M.H. y Salem A.H.A. 2000. Microflora Changes in Tuna Mince During Convection Air Drying. *Drying Technol.* 10:2369-2379.
- Rahman, M.S., Perera C.O. y Thebaud C. 1998. Desorption Isotherm and Heat Pump Drying Kinetics of Peas. *Food Res. Int.* 30:485-491.
- Ramli, W.D.W., Zainal M.M. y Hakimi I.M. 1996. Characteristic Drying Curves of Cocoa Beans. *Drying Technol.* 14:2387-2396.
- Rizvi, S. S. H. y Venado A. L. 1984. Thermodynamic Properties of Dehydrated Foods. *Food Technol.*, 38(3):83-92.
- Rizzi, G. P. 1997. Chemical Structure of Colored Maillard Reaction Products. *Food Rev. Int.* 13(1):1-28.
- Robles, M. M. 2002. Comunicación personal.
- Rockland, L. B. y Nishi S. K. 1980. Influence of Water Activity on Food Product Quality and Stability. *Food Technol.*, 34(4):42-51
- Rodríguez, T. J. A. 1997. Manual de Ingeniería y Diseño de Envases y Embalaje. 3<sup>ra</sup>. Edición Ed. Packaging. México.
- Roos, Y.H. 1993. Water Activity and Physical State Effects on Amorphous Food Stability. *J. Food Processing and Preservation.* 16:433-447.
- Vázquez, G., Chenlo F., Moreira F y Costoyas A. 2000. Effects of Various Treatments on the Drying Kinetics of *Muscatel* Grapes. *Drying Technology.* 18:2131-2144.
- Salgado, C.M.S., Andrade G. I., Waliszewski K.K.N. y Garcia A.M.A. 1993. Study on Sorption Isotherms of Shrim Heads. *Drying Technol.* 11:1459-1466.

- Salvin, H. 1959. Defining Minimum Moisture Content for Dehydrated Foods. *Food Technol.*, 13:594-595.
- Sami, T., Marinos-Kouris D. Y Maroulis Z.B. 1990. Water Sorption Isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots. *J. Food Sci.* 55:1594-1597.
- Sander A., Kardum J.P. y Skansi Darko. 2001. Transport Properties in Drying of Solids. *Chem. Biochem. Eng.* 15(3):131-137.
- Schonkopf, S., Naez T., Baardseth P. y Risberg-Ellekjaer. 1996. Computer-Aided Product Development in the Food industry. *Food Technol.*, 50(3):69-75.
- Schwimmer, S. 1980. Influence of Water Activity on Enzyme Reactivity and Stability. *Food Technol.*, 34(5):64-74.
- Sikorski, Z. E. 1990. *Seafood: Resources, Nutritional Composition and Preservation*. Ed. CRC Press Inc. 248 p
- Spicer, A. 1974. *Advances in Preconcentration and Dehydration of Food*. Ed. Applied science publishers London.
- Stamp, J. A. y Labuza T. P. 1983. Kinetics of the Maillard Reaction Between Aspartame and Glucose in Solution at High Temperatures. *J. Food Sci.*, 48:543-547.
- Stencl, J. 1999. Water Activity of Skimmed Milk Powder in Temperature Range of 20 – 45 °C. *ACTA VET. BRNO* 1999,68:209-215. Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, Czech Republic.
- Strumillo, C y Adamiec J. 1996. Energy and Quality Aspects of Food Drying. *Drying Technology*. 14:423-448.

- Suthar, S.H. y Das S.K. 1997. Moisture Sorption Isotherms for Karingda (*Citrullus lanatus* (Thumb) Mansf) Seed, Kernel and Hull. *J. of Food Process Engenering* 20:349-366.
- Szczesniak, A. S. 1963. Clasification of Textural Characteristic. *J. Food Sci.* 28:385-389.
- Tanikawa, E. 1985. Marine Products in Japan. Koseish Koseikaku Co. Ltd. Tokyo.
- Troller, J. A. 1980. Influence of Water Activity on Microorganisms in Foods. *J. Food Sci.* 34(5):76-82.
- Troller, J. A. y Christian J. H. B. 1978. Water Activity in Foods. Academic Press, USA.
- Velchev, Z.N. y Menkov N.D. 2000. Desorption Isotherms of Apples at Several Temperatures. *Drying Technol.* 18:1127-1137.
- Warmbier, H. C., Schnickel R. A. y Labuza T. P. 1976. Effect of Glicerol on Nonenzymatic Browning in a Solid Intermediate Moisture Model Food System. *J. Food Sci.*, 41:528-531.
- Web, N. B., Thomas F. B., Busta F.F. y Monroe R. J. 1969. Variations in Proximate Composition of North Carolina Scallop Meats. *J. Food Sci.*, 34:471-474.
- Weisser, H. 1980. NMR-Techniques in Study Bound Water in Foods. *En Food Processing System Vol. 1*. Editado por Linke, P., Malkki Y., Olkku J. y Larinki J. Ed. Applied Science Publishers Ltd. London.
- Yaylayan, V. A. 1997. Classification of the Maillard Reaction: A Conceptual Approach. *Trends in Food Sci. & Technol.*, 8:13-18.

Yongsawatdigul, J. y Gunasekaran S. 1996. Microwave-Vacuum Drying of Cranberries

Part II. Quality Evaluation. *J. of Food Processing and Preservation*. 20:145-156.

Zugarramundi, A., Parin M.A. y Lupi H.M. 1998. Ingeniería Económica Aplicada a la

Industria Pesquera. Documento técnico de pesca No. 351, FAO-ONU.

[www.interred.net.co/utadeo/molus.html](http://www.interred.net.co/utadeo/molus.html)

[www.foodproductdesign.com/archive/1993/1293QA.html](http://www.foodproductdesign.com/archive/1993/1293QA.html)