

DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN TILAPIA UTILIZANDO SOLUCIONES TERNARIAS Y SU USO EN LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE BARRERAS.

OSMOTIC DEHYDRATION TERNARY SOLUTIONS USING IN TILAPIA AND THEIR USE IN THE APPLICATION OF TECHNOLOGY OF BARRIERS.

Verónica Guadalupe,
Ing. Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Teléfono: 0985833107.
E-Mail: vero_1981@hotmail.com

Fabiola Cornejo,
MSc. Escuela Politécnica del Litoral.
Guayaquil, Ecuador

RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado la cinética de pérdida de agua y de ganancia de solutos en trozos de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) deshidratados osmóticamente usando soluciones ternarias compuestas por cloruro de sodio (sal), sacarosa (azúcar) y agua en tres diferentes combinaciones (20/20/60; 25/15/60; 15/25/60). La relación solución/ producto fue de 3/1 y la temperatura de trabajo 25°C. El tiempo de proceso fue de dos horas. Los resultados obtenidos demostraron la influencia del diferencial de actividad de agua entre el producto y la solución osmótica sobre la cinética de pérdida de agua y de ganancia de solutos. En efecto, a mayor diferencial de actividad de agua, mayor pérdida de agua y menor ganancia de solutos. La composición de la solución también tuvo influencia sobre los resultados. Adicionalmente, se demostró la aplicabilidad de la deshidratación osmótica en tecnología de barreras como método de reducción de actividad de agua y se estudió su efecto sobre la estabilidad del producto comprobándose un prolongamiento de la vida útil en almacenamiento refrigerado.

Palabras claves: Actividad de agua, Deshidratación osmótica, Tecnología de barreras.

ABSTRACTS

The water loss and solutes gain kinetics have been studied in pieces of red tilapia (*Oreochromis* sp.) osmotically dehydrated by use of ternary solutions made by sodium chloride (salt), sucrose (sugar) and water in three different combinations (20,20,60; 25,15,60; 15,25,60). The solution/product ratio was 3/1 and work temperature was 25°C. The process lasted two hours. It was possible to show the influence of water activity differential between the product and osmotic solution on water loss and solutes gain. Indeed, the higher the water activity differential, the higher the water loss and the lower the solute gain. The composition of solution also influenced on the results. In addition, osmotic dehydration was applied as a method of reduction of water activity in hurdle technology in order to increase the shelf life of tilapia in refrigerated storage.

Keywords: Water activity, Osmotic dehydration, Hurdle technology.

INTRODUCCIÓN

La deshidratación osmótica es un proceso de remoción de agua basado en sumergir un producto en una solución hipertónica; Solución de azúcar, sal, glicerol u otros, que tiene una presión osmótica superior a la de la fase acuosa del interior del producto, (Lerice et al., 1985; Chen, 2009). Esta solución osmótica posee una actividad de agua (a_w) menor que la del producto, ocasionando un diferencial de a_w entre la solución y el alimento que constituye una fuerza impulsora que origina un proceso simultaneo de difusión de agua y de solutos a través de la membrana celular que actúa como membrana semipermeable (Fito y Chiralt, 1994; Alzamora, et al., 1995; Barat, Chiralt y Fito, 1998; Barbosa y Vega, 2000; Donsi, Ferrari y Matteo, 2001; Medina et al., 2002; Sanjinez et al., 2010). Por lo tanto, agua se transfiere desde el producto hacia la solución osmótica y solutos se transfieren desde la S.O. hacia el producto (Fito y Chiralt, 1994; Alzamora, et al., 1995; Guilbert, Gontard y Raoult, 1996; Donsi, Ferrari y Matteo, 2001; Chen, 2009, Sanjinez et al., 2010). El equilibrio se alcanza cuando las actividades de agua se igualan a ambos lados de la membrana.

La deshidratación por ósmosis presenta la ventaja de que durante el proceso el agua no sufre cambio de fase permitiendo conservar la textura e integridad del producto original (8). Contrariamente a los métodos de deshidratación por secado no requiere de energía calórica lo que lo convierte en un proceso económico y permite conservar los nutrientes.

Soluciones binarias de cloruro de sodio (NaCl) son comúnmente usadas en deshidratación osmótica o salado de pescado, (Del Valle y Nickerson, 1967; Medina, 1998; López y Dávila, 2005). La sal tiene alta capacidad de reducción de actividad de agua y su difusividad es alta en tejidos animales (Multon y Lapatre, 1988; Medina et al., 2002; Telsis, Murari y Yamashita, 2004). Por otro lado, las soluciones de sacarosa permiten una alta eliminación de agua (Multon y Lapatre, 1988; Medina et al., 2002) y su difusividad es menor en el tejido debido a su alto peso molecular (342.30 g/mol). Al mezclar ambos solutos en una solución ternaria es posible combinar las ventajas de cada uno.

El efecto que produce la deshidratación osmótica sobre la actividad de agua del producto (reducción de a_w) permite que este sea más estable ya que muchos procesos deteriorativos se ven desacelerados al no

haber el nivel de agua requerido para que se puedan llevar a cabo (uno de ellos es el crecimiento de microorganismos responsables del deterioro, principal causa del deterioro en pescado) (ICMSF, 1980; Leinster y Gould, 2002; Devlin, 2004). Por esto, deshidratación osmótica podría ser usada como una de las etapas dentro del proceso de tecnología de barreras.

La Tecnología de Barreras se basa en la combinación de varios procesos que por muchos años se han aplicado individualmente para la conservación de los alimentos (tales como: altas temperaturas, bajas temperaturas, reducción de agua, acidificación, utilización de conservantes, agregación de sales y otros) que al ser aplicados en conjunto a un alimento, tienen un efecto sinérgico que permite interponer barreras a cada uno de los factores que deterioran el producto (acción microbiana, reacciones enzimáticas, reacciones químicas), todo esto sin alterar el contenido nutricional del producto original. (ICMSF, 1980; Guilbert, Gontard y Raoult, 1996; Leinster y Gould, 2002; Della Rocca, 2010)

Este estudio fue aplicado en tilapia roja (*Oreochromis sp*) que es un pez de criadero cuya producción y exportación en el Ecuador se ha incrementado dramáticamente desde 1996 (CORPEI - CBI, 2001). Este pez es muy apetecido por los consumidores por su buen sabor y por su valor nutricional ya que tiene un alto contenido de proteínas, vitaminas, minerales y poca grasa (pez magro). La aplicación de tecnología de barreras puede aportar con el mejoramiento de las características de estabilidad del producto (conservar el producto por mayor tiempo sin alterar su contenido nutricional) y la economía del proceso de transporte y distribución (ahorro en costos energéticos de refrigeración).

El objetivo de este trabajo de investigación fue estudiar el efecto de cada solución osmótica (con sus componentes y su respectiva actividad de agua) sobre la cinética de deshidratación osmótica de tilapia. Adicionalmente, se desea demostrar como puede ser aplicado en un proceso de tecnología de barreras para prolongar el tiempo de estabilidad de este producto.

DESARROLLO

La tilapia roja fue adquirida como filetes en una industria pesquera de la localidad (Guaquail). Se realizaron cortes de 2 em de ancho y 2 cm de largo con un espesor variante entre 0.6 y 1.2 cm (variación de los filetes).

Las soluciones ternarias usadas estuvieron compuestas por: (a) 20% NaCl, 20% sacarosa, 60% agua; (b) 25% NaCl, 15% sacarosa, 60% agua; (c) 15% NaCl, 25% sacarosa, 60% agua. Tal como Donsi, Ferrari y Matteo, (2001) realizaron en sus experimentos de deshidratación osmótica de camarones, la soluciones osmóticas se mantuvieron en 40% de sólidos totales. Las actividades de agua de las soluciones osmóticas se determinaron a través de la ecuación de Grover (Barbosa y Vega, 2000; Bell y Labuza, 2002):

$$A_w \times 100 = 104 - 10E^\circ + 0.45 (E^\circ)^2 \quad (1)$$

$$E^\circ = \sum (E_i / m_i) \quad (2)$$

Donde E_i es un valor equivalente a la sacarosa ($E_i = 1$ para sacarosa) para los diferentes ingredientes; m_i es el contenido de humedad del ingrediente en gramos de humedad por gramos de ingrediente.

Cada pedazo se colocó individualmente en vasos con solución osmótica con una relación solución / producto de 3 / 1. La temperatura de trabajo fue la ambiental (25°C). Para medir la cinética de pérdida de agua y de ganancia de solutos se utilizaron las siguientes fórmulas (Barat, Chiralt y Fito, 1998):

Pérdida de agua:

$$\Delta M_w^t = \frac{(M_0^t x_w^t - M_0^0 x_w^0)}{M_0^0} \times 100 \quad (3)$$

Ganancia de solutos:

Donde:

- ΔM_w^t : Pérdida de agua a un tiempo t (%)
- M_0^t : Masa en el tiempo t (g).
- X_w^t : Fracción de agua en el tiempo t.
- ΔM_{ss}^t : Ganancia de solutos a un tiempo t (%).
- X_{ss}^t : Fracción de contenido de sólidos a un tiempo t.

Para calcular la actividad de agua del producto deshidratado se usó la ecuación de Ross (es la más exacta para alimentos con solutos agregados (Bell y Labuza, 2002):

$$a_f = a_i \times a_{H1} \times a_{H2} \times \dots \times a_{Hn} \quad (4)$$

Donde:

- a_f = actividad de agua final del producto.
- a_i = la actividad de agua inicial del producto antes de adicionar solutos i (para reducir a_w). Para alimentos complejos la ecuación de Grover debe ser usada.
- a_{Hi} = la actividad de agua que el soluto podría tener si es disuelto en toda el agua.

Las determinaciones de humedad se realizaron por medio del método AOAC 24003.

La aplicación de deshidratación osmótica en tecnología de barreras en tilapia se realizó tomando el producto deshidratado durante 5 minutos en solución 20% NaCl / 20% sacarosa, se le agregó 0.34% de ácido acético, con lo que se redujo el pH a 5.5, se empacó en fundas de polietileno de alta densidad y se refrigeró a una temperatura de 8 2°C. La estabilidad se la midió en función del deterioro de la calidad organoléptica (cambios en color, olor y mucosidad) mediante la participación de jueces entrenados. La mayor calificación corresponde al mayor deterioro (Huss, 1997).

$$\Delta M_w^t = \frac{(M_0^0 x_w^0 - M_0^t x_w^t)}{M_0^0} \times 100 \quad (5)$$

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Deshidratación osmótica

Los valores de actividad de agua para las soluciones osmóticas fueron: (a) 0.76 para la solución 20% NaCl, 20% sacarosa, 60% agua; (b) 0.71 para la solución 25% NaCl, 15% sacarosa, 60% agua; y (c) 0.81 para la solución 15% NaCl, 25% sacarosa, 60% agua; obtenidas por medio de la ecuación de Grover (ecuación 1). La actividad de agua del pescado es ≥ 0.98 (11,16), obteniéndose un valor de 0.998 al utilizar la ecuación de Grover.

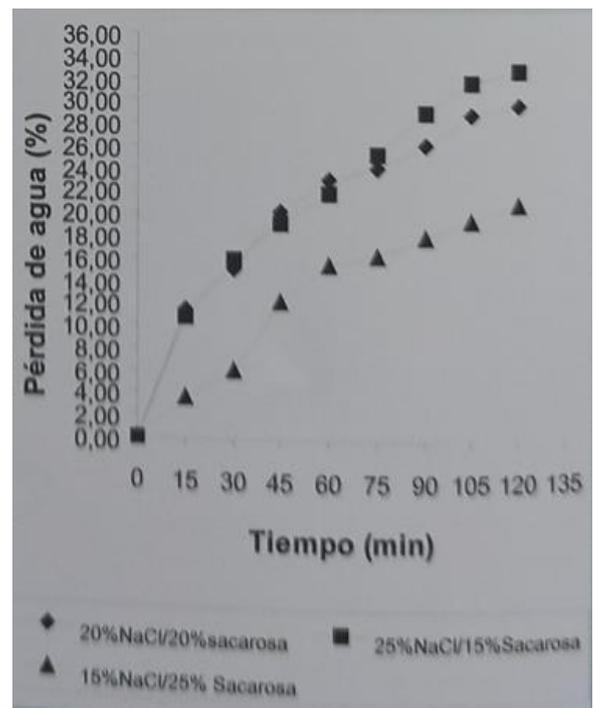


Figura 1: Pérdida de agua en muestras sometidas tres soluciones osmóticas

En general a un mayor diferencial de actividad de agua (mayor fuerza impulsora) entre la solución y el producto se produce una mayor pérdida de agua y menor ganancia de solutos (Figuras 1 y 2).

La solución con menor diferencial de actividad de agua (15% NaCl / 25% sacarosa) tiene la menor pérdida de agua y mayor ganancia de solutos, la poca salida de agua permite que los solutos se puedan transferir con mayor libertad a través de la membrana semipermeable que constituye el tejido animal. Sin embargo, a pesar de que el diferencial de a_w con la solución osmótica compuesta por

25% NaCl / 15% sacarosa es mayor que el formado con la solución de 20% NaCl / 20%, se produce más pérdida de agua en la segunda solución que en la primera. Esto demuestra que un mayor porcentaje de participación de azúcar permite una mayor eliminación de agua (Multon y Lapatre, 1988; Medina et al., 2002; Mya, Weibiao y Perera, 2009). Así mismo, se observa mayor ganancia de solutos en la solución 25% NaCl / 15% sacarosa debido a que mientras menor es la concentración de sacarosa, mayor será la difusividad de la sal., que siempre es mayor que la de la sacarosa por su bajo peso molecular. (Fito y Chiralt, 1994; Anzola, Vargas y Vargas, 2014)

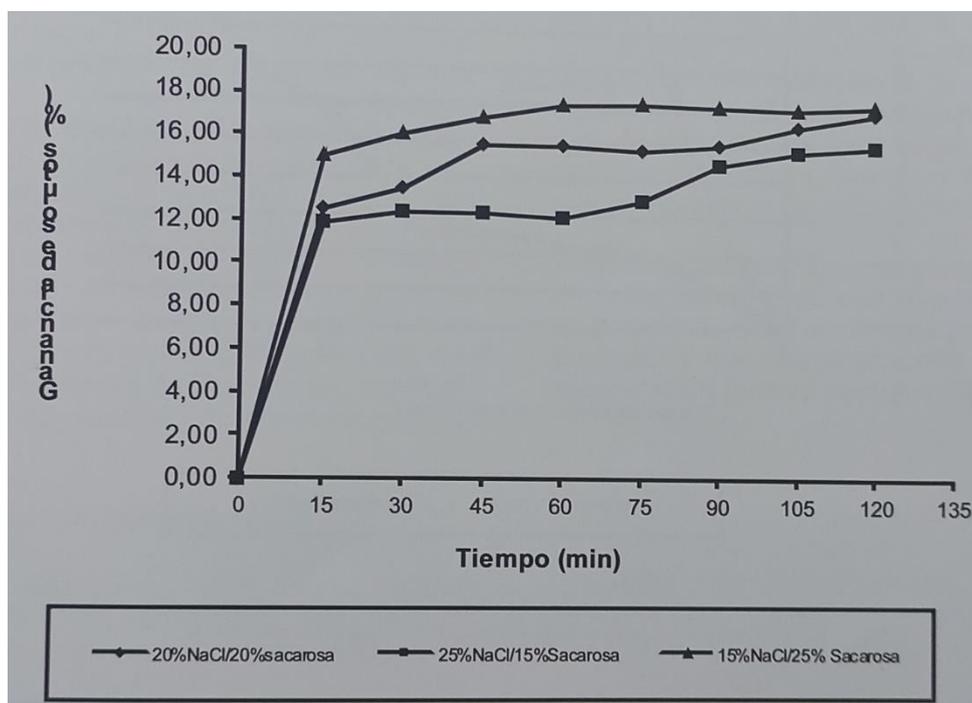


Figura 2. Ganancia de solutos en muestra sometidas a tres soluciones osmóticas

Aplicación en Tecnología de Barreras

Varias aplicaciones de tecnología de barreras se han realizado en pescado reduciendo la actividad de agua a través de la agregación de solutos (principalmente sal) como primera barrera para obtener producto de humedad intermedia ($a_w = 0.60 - 0.90$) o de alta humedad (arriba de 0.90) microbiológicamente estables a temperatura ambiente o en refrigeración. (Leinster y Gould, 2002; Anzola, Vargas y Vargas, 2014)

En el caso de este estudio, el producto fue deshidratado osmóticamente en solución 20% NaCl / 20% sacarosa durante 5 minutos. A este tiempo de proceso el producto posee 69% de humedad y 31% de sólidos totales (4% sal respecto a la fase acuosa). Según

la ecuación de Ross, la actividad de agua del producto es 0.91. Con este valor, el producto se clasifica dentro de los productos de alta humedad, lo cual es positivo según Leinster y Gould, (2002) ya que por lo general los productos de humedad intermedia suelen ser muy salados o muy dulces (alta agregación de solutos para poder estar dentro del rango de a_w) y además puede afectarse la textura y apariencia. Un producto de alta humedad no tendría estos problemas pero habría que escoger inteligentemente otras barreras para poder obtener un producto microbiológicamente estable. A este valor de a_w ya se ven retardados los procesos deteriorativos debido a que la mayoría de las bacterias crecen a A_w superiores a 0.91. (ICMSF, 1980; Leinster y Gould, 2002; Bell y Labuza, 2002; Della Rocca, 2010)

Las otras barreras aplicadas fueron: agregación de 0.34% de ácido acético, empaque y refrigeración a $8 \pm 2^\circ\text{C}$. Con esto se obtiene un producto organolépticamente aceptable durante 12 días (10 días más que el producto sin procesar almacenado a la misma temperatura) (ver figura 3). Es decir el proceso de deterioro de las propiedades organolépticas se vio frenado por el tratamiento aplicado. También el crecimiento microbiano fue más lento que en pescado sin procesar para llegar a un nivel de 109 ufc/ g (ver figura 4). Según

ICMSF el nivel máximo permisible para pescado fresco es 107 ufc/ g. (Huss, 1997)

Los resultados son comparables con los obtenidos en sardinas picadas por otros autores (Aguilera et al., 1992). Tras un proceso de lavado, reducción de a_w a 0.94 por adición de 6% de cloruro de sodio y 0.2% de sorbato de potasio, la vida útil del pescado ascendió de 3 días a 15 días a una temperatura de almacenamiento de 15°C .

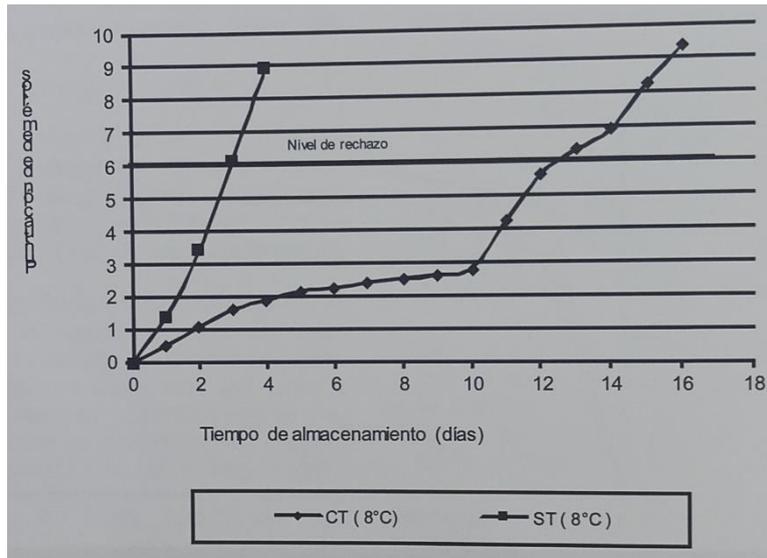


Figura 3. Deterioro de las características organolépticas en tilapia. ST = sin tratamiento; CT = con tratamiento.

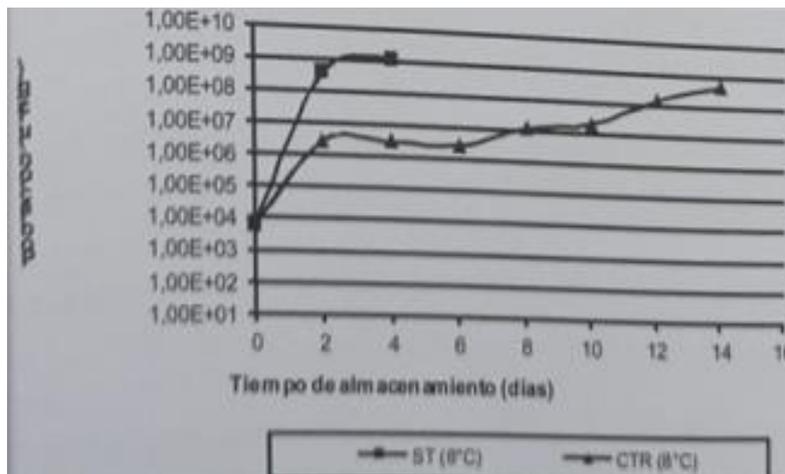


Figura 4. Crecimiento microbiano. Recuento total en placa.

CONCLUSIONES

Cuando la salida de agua desde el producto es baja (debido a un bajo diferencial de aw entre la solución y el producto), se permite una mayor captación de solutos. Al parecer el paso a través de la membrana es más libre cuando la salida de agua es poca. Cuando la salida de agua es alta (promovida por un alto diferencial de aw) a través de la membrana la ganancia de solutos no se ve favorecida por este hecho (la membrana no estará libre para poder ser atravesada por los solutos) sino que influirá la concentración de sal y azúcar que posea la solución osmótica. A mayor concentración de azúcar la sal difunde poco (poca captación de solutos) y el agua se elimina más (alta capacidad de eliminación de agua del azúcar).

El proceso de deshidratación osmótica puede aplicarse en tecnología de barreras como método de reducción de actividad de agua para prolongar estabilidad de trozos de tilapia. En 5 minutos de proceso en solución osmótica compuesta por 20% NaCl y 20% sacarosa se obtiene una reducción de aw desde ≥ 0.98 hasta 0.91 (producto de alta humedad), con lo cual los procesos deteriorativos, especialmente los microbiológicos, se ven retardados.

El proceso de tecnología de barreras aplicado a trozos de tilapia permitió prolongar la estabilidad del producto desde 2 días (producto sin procesar almacenado a $8 \pm 2^\circ\text{C}$) hasta 12 días a la misma temperatura de almacenamiento, con lo cual se comprueba la eficacia del proceso.

El uso inteligente de tecnología de barreras permite una preservación suave pero eficiente de trozos de tilapia, permitiendo obtener un producto estable, nutritivo y de buen sabor.

Los logros obtenidos con aplicación de tecnología de barreras en conservación de tilapia en trozos pueden permitirle al industrial transportar este producto a temperaturas mayores a las que se manufactura y distribuye actualmente el pescado fresco ($0-3^\circ\text{C}$ con una durabilidad de 3 días) permitiéndole un ahorro de costos energéticos. El proceso de tecnología de barreras requiere de mínima energía y el transporte puede realizarse a temperaturas mayores.

También el comerciante se vería beneficiado por este proceso, ya que le permitiría tener un plazo más largo de tiempo para vender el producto y con requerimientos menores de refrigeración para la permanencia en percha.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- AGUILERA J.M., FRANCKE, A., FIGUEROA, G., BORNHARTH, C., CIFUENTES, A. (1992). "Preservation of Minced Pelagic fish by combined methods". *International Journal of Food Science and Technology*, Volumen 27, págs 171-177.
- ALZAMORA, S.; CERRUTTI, P.; GUERRERO, S.; LOPEZ-MALO, A. (1995): Minimally processed fruits by Combined Methods. En: *Food Preservation by Moisture Control. Fundamentals and Applications*. Barbosa-Canovas G.V. y Welte-Chanes J. (Eds.). Technomic Publishing Co., Inc. E.U.A. pp. 463-492
- ANZOLA S.K., VARGAS GIL, L.A., VARGAS MARROQUIN, N.A. (2014): "Deshidratación osmótica". UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ. Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Química. Bogotá D.C, 15 de abril de 2014. Disponible en: http://www.academia.edu/7437822/Informe_Deshidrataci%C3%B3n_Osm%C3%B3tica
- BARAT, CHIRALT, FITO. (1998): Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to Structure, *Journal of Food Science*, Vol 63, pag 836-840
- BARBOSA-CANOVAS Y VEGA-MERCADO, *Deshidratación de Alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza - España, 2000.
- BELL, L.N., and LABUZA, T.P. (2000): "Practical Aspects of Moisture Sorption Isotherm Measurement and Use", 2nd Edition AACC Eagan Press, Eagan, MN.
- CHEN L. (2009): Infectious diarrheal diseases and dehydration. In: Marx JA Hockberger RS, Walls RM, et al, eds. *Rosen's Emergency Medicine: Concepts and Clinical Practice*. 7th ed. Philadelphia, Pa: Mosby Elsevier; 2009: chap 171.
- CORPEI-CBI PROJECT, Tilapia: Perfil del Producto. Septiembre 2001.
- DEL VALLE E.R, NICKERSON, J.T. *Journal Food Science*, Volumen 32, págs 218 - 224. 1967
- DELLA ROCCA P. (2010): "Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación Osmótica y secado por microondas y aire caliente" Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2010

- DEVLIN, T. M. 2004. Bioquímica, 4.^a edición. Reverté, Barcelona. ISBN 84-291-7208-4
- DONSI, G., FERRARI, G., y MATTEO, P, Utilization of combined processes in freeze-drying of Shrimps. Universidad de Salerno, Departamento de Química e Ingeniería en Alimentos, Fisciano, Italia, 2001.
- FITO, P., CHIRALT, A. (1994): An Update on Vacuum Osmotic Dehydration. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología en Alimentos. Valencia España.
- GUILBERT, S.; GONTARD, N; RAOULT-WACK. (1996): Superficial Edible Films and Osmotic Dehydration: Application of Hurdle Technology without Affecting the Food Integrity. Editado por Barbosa-Cánovas, G. y Welti-Chanes J. ISOPOW PRACTICUM. Francia.
- HUSS, H., Aseguramiento de la Calidad de los Productos Pesqueros. FAO. Documento Técnico de Pesca N° 334. Roma, FAO. 1997.
- ICMSF, Ecología Microbiana de los Alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza - España, 1980.
- LEINSTER, L.; GOULD, G.; Hurdle Technologies. Kluwer Academic/Plenum Publisher. New York - USA, 2002.
- LERICI, C.R.; PINNAVALA, G.; DALLA, M.; BARTOLUCCI, L.; Journal of food science. Volumen 50, pags 1217 - 1219, Osmotic Dehydration of Fruits: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. 1985.
- LÓPEZ RÁEZ, L., DÁVILA SOLA, L. (2005): "Salado de merluza por pila seca, húmeda y por deshidratación osmótica a vacío (merluccius gayi peruanus)". Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial. Vol. (8) 2: pp. 07-14 (2005) UNMSM. ISSN: 1560-9146 (impreso) / ISSN: 1810-9993 (electrónico)
- MEDINA-VIVANCO. Tesis de Maestría en Ingeniería en Alimentos. UNICAMP. 1998
- MEDINA, VIVANCO, SOBRAL, HUBINGER. (2002): Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. Chemical Engineering Journal, No 86, pags 199 - 205: (2002).
- MULTON, J.; LEPATRE, F, Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias. Editorial Acribia. Zaragoza - España, 1988.
- MYA MYA, K., WEIBIAO, Z., PERERA, C. (2009): Desarrollo de un tratamiento combinado de cobertura y deshidratación de alimentos. Mundo Alimentario Enero / Febrero 2009.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA E.J., GUILHERME BRANCO, I., TAKITO, S.Y., CORBARI, J. (2010): "Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kivis minimamente procesados". Ciênc. Tecnol. Aliment. Vol. 30 Supl.1 Campinas May 2010. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612010000500031
- TELSIS, MURARI, YAMASHITA; Journal of Food Engineering, Vol 61, pags 253-259: Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. (2004).