



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2 (1): 158-172. Enero-Junio, 2011
http://www.rvcta.org
ISSN: 2218-4384 (versión en línea)
© Asociación RVCTA, 2011. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Artículo

Cinética del secado convectivo del camarón dulceacuícola (*Macrobrachium jelskii*) a dos temperaturas y dos velocidades de aire

Kinetics of convective drying of freshwater shrimp (*Macrobrachium jelskii*) at two temperatures and two drying air velocities

Daniel Enrique **Roberti Pérez**

Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Núcleo Obelisco, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Laboratorio de Operaciones Unitarias. Avenida Florencio Jiménez, Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela.

Correspondencia: droberti@ucla.edu.ve

Aceptado 24-Junio-2011

Resumen

El objetivo del trabajo fue determinar la cinética del secado convectivo del camarón dulceacuícola *Macrobrachium jelskii*. La experimentación se llevó a cabo en un secador de bandejas, a temperaturas de 70 y 80 °C y velocidades de aire de secado de 2 y 3 m/s, determinándose en cada experiencia la disminución de los valores de masa total a través del tiempo para construir las gráficas de humedad libre (X_L) versus tiempo, relación de humedad (X') versus tiempo y la de velocidad de secado (N) contra la humedad promedio, utilizando Microsoft® Excel. El análisis de los resultados se realizó a través de un diseño factorial 2^2 , siendo la variable de respuesta el tiempo de secado y los factores: temperatura de secado y velocidad del aire, determinando que el factor más influyente sobre el tiempo de secado fue la temperatura del proceso, con un nivel de significancia $p = 0,0162$. Las curvas de secado de esta especie demostraron que el fenómeno ocurrió solo en el período de velocidad de secado decreciente. La curva de velocidad de secado contra humedad promedio presentó concavidad hacia abajo, característico del secado de alimentos con capilares porosos y gran superficie de evaporación. Asimismo, se determinaron los valores de la humedad inicial (X_0) para el *M. jelskii* cuyo

promedio fue de $3,27 \pm 0,10$ g H₂O/g sólido seco; el tiempo promedio de secado para alcanzar la humedad en el equilibrio (X^*) a temperatura de 70 °C fue de 295 minutos a velocidad de aire de secado de 3 m/s y de 325 minutos a velocidad del aire de secado de 2 m/s, en contraste con la temperatura en la cámara a 80 °C donde se alcanzó la humedad en el equilibrio en base seca en 270 minutos a velocidad del aire de 2 m/s y 235 minutos a 3 m/s. Con los resultados obtenidos se logró una data experimental que permite predecir el tiempo de deshidratación y datos importantes para el diseño de un secador con aire caliente para esta especie.

Palabras claves: cinética de secado, curvas de secado convectivo, *Macrobrachium jelskii*, tiempo de secado.

Abstract

The objective of this work was to determine the kinetics of convective drying of freshwater shrimp *Macrobrachium jelskii*. Experiments were carried out in a tray dryer, at temperatures of 70 and 80 °C and drying air velocities of 2 and 3 m/s, taking note in each experiment of the decrease in total mass values through the time to construct the graphs of free moisture (X_L) versus time, humidity ratio (X') versus time and drying rate (N) against the average humidity, using Microsoft® Excel. The analysis of the results was performed using a 2² factorial design, where the response variable was the drying time and as factors: drying temperature and air speed. Temperature was the most influential factor on the drying time with p value = 0.0162. In addition, constructed curves were studied, reaching to the conclusion that the drying of this species takes place only in the period of decreasing drying rate and the drying rate versus against average humidity curve presented a downward concavity shape, which is characteristic of capillary-porous foods and large evaporation surface. Also determined the values of the initial moisture content (X_0) for the *M. jelskii* which was 3.27 ± 0.10 g H₂O/g of dry solid. The average drying time to reach moisture equilibrium (X^*) at 70 °C was 295 minutes for drying air velocity 3 m/s and 325 minutes for 2 m/s, in contrast to the chamber temperature at 80 °C where it reached the moisture balance in dry basis at 270 min for air velocity 2 m/s and 235 minutes for 3 m/s. With results achieved, experimental data to predict the time it would take the dehydration process to complete and important data for the design of a convective dryer for this species were obtained.

Key words: drying kinetic, convective drying curves, *Macrobrachium jelskii*, drying time.

INTRODUCCIÓN

Los camarones son crustáceos decápodos nadadores que habitan en agua dulce y en mayor diversidad en el medio marino (Welder, 1998). Los camarones marinos y dulceacuícolas cultivados a escala comercial pertenecen mayoritariamente a las familias Penaeidae y Palaemonidae, respectivamente. Los camarones dulceacuícolas del género

Macrobrachium, familia Palaemonidae, son los comercialmente más importantes en esta familia que ha sido cultivada con éxito en diversos países del mundo, incluyendo las regiones tropicales del Caribe; de ellas, 14 especies tienen alto interés comercial (Meruane *et al.*, 2006; Luna *et al.*, 2007).

En décadas recientes se ha observado un incremento de la actividad acuícola en Venezuela, siendo las truchas, cachamas y

coporos, las especies que mayormente se cultivan. De los costos totales de producción de cachamas se estima que entre el 70 y 80 % corresponde a la alimentación, pudiéndose disminuir si se utilizara materia prima fácilmente localizable en la zona y de bajo costo; estos requerimientos los reúne el camarón de ambiente dulceacuícola (Urquía-Ravelo, 1992).

La alimentación de peces de cultivo representa más del 50 % del costo de operación en la acuicultura, siendo los alimentos proteicos los que representan la mayor proporción de estos. *Macrobrachium amazonicum* en Brasil, es considerado como una promisoría fuente de proteína que puede ser aprovechada (60,53 % de proteína cruda) y ha sido experimentado en la elaboración de harinas de consumo animal (Boscolo *et al.*, 2004). En Venezuela, Urbano *et al.* (2006) determinaron en *Macrobrachium sp.* contenidos de proteína de 65,17 % p/p, lípidos 5,57 % p/p y carbohidratos 25,5 % p/p, sugiriendo su utilización como materia prima en la elaboración de dietas para la alimentación de peces, y posteriormente, Urbano y Santaimé (2008) llevaron a cabo una investigación con el camarón de río de la especie *Macrobrachium jelskii* donde se evaluó el crecimiento en jaulas del mismo, para definir el aprovechamiento industrial, manifestando que la facilidad de reproducción de este camarón en confinamiento podría constituir una ventaja para emplearlo como materia prima en la elaboración de un alimento complementario para peces.

La especie *Macrobrachium jelskii* en Venezuela, ha sido ubicada geográficamente en el delta del Orinoco (Montoya, 2003) y regiones de los estados Apure, Guárico y Barinas (Rodríguez, 1982); y a pesar de presentar escaso valor comercial debido a su pequeño tamaño, ha despertado un mayor interés por parte de investigadores en Venezuela para su aprovechamiento, consecuencia de su alto valor proteico y más recientemente ha sido estudiado su crecimiento

en lagunas de cultivo, confirmando la posibilidad de producción bajo condiciones de cultivo (Urbano *et al.*, 2010). Asimismo han sido determinados contenidos de proteína, carbohidratos y lípidos en intervalos de 34,7-57,7 % p/p; 0,6-3,4 % p/p y 9,9-11,4 % p/p, respectivamente, siendo sugerido que dicha especie de camarón se utilice en estado seco para la alimentación de organismos acuáticos (Ramírez *et al.*, 2010).

En otro sentido, toda operación unitaria requiere del control de variables de proceso. Para el secado con aire caliente, la rapidez del mismo se ve influenciada por dos factores muy importantes, el primero es el aire de secado (velocidad, temperatura, humedad, entre otras) y el segundo, las características del producto (composición, contenido de humedad, el tamaño del sólido, entre otras).

En todo proceso de secado es importante tener en cuenta las características del producto y del alimento, parámetros del equipo, entre otras cosas. Una información fundamental es la termodinámica, que viene dada por curvas de actividad de agua y la información de la cinética de secado, en este caso, curvas de secado como función de parámetros importantes (Mujumdar, 1997).

La cinética de secado viene representada por una curva que muestra la variación de la humedad con respecto al tiempo, siendo ésta de gran ayuda en la determinación del tiempo necesario en el secado discontinuo de grandes cantidades de sólidos bajo las mismas condiciones de secado (Contreras-Velásquez, 1995). Adicional a que las curvas de secado ayudan en la predicción del tiempo de secado, también tienen como propósito permitir estimar el tamaño del secador y establecer condiciones del operación del mismo (Coulson *et al.*, 2003).

Hasta ahora, las investigaciones realizadas sobre el proceso que involucra la cinética de secado para camarones se han concretado en torno a camarones marinos (Honorato *et al.*, 2005; Chávez-Astudillo *et al.*,

2010), en camarones de agua dulce pero de gran tamaño como el *M. roserbergii* (Tello-Panduro *et al.*, 2003) y en menor escala el *M. amazonicum* (Rodríguez *et al.*, 2010). Sin embargo, aún no está determinada la cinética de secado para el camarón de la especie *Macrobrachium jelskii*.

Por las razones precedentes, en el presente trabajo se estudiaron las curvas de secado para el camarón dulceacuícola *Macrobrachium jelskii*, a temperaturas de secado 70 y 80 °C, velocidades de secado 2 y 3 m/s, además de determinar cuál de estos factores fue el más influyente sobre el tiempo de secado del camarón.

MATERIALES Y MÉTODOS

El secado de los camarones dulceacuícolas se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y Transferencia de Calor, perteneciente al Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, ubicado en la ciudad de Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela. La unidad ambiental seleccionada para la captura de los camarones fue la Sub-Estación de Piscicultura de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), ubicada en la ciudad de El Tocuyo, Estado Lara, Venezuela. La limpieza manual y escaldado de los mismos se llevó a cabo en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales adscrito al Departamento de Procesos Agroindustriales del Programa de Ingeniería Agroindustrial de la UCLA, ubicada en la ciudad de Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela.

Toma de muestras

Las muestras de camarón de ambiente dulceacuícola *Macrobrachium jelskii* se tomaron en los estanques de cultivo de peces de agua dulce de la Sub-Estación de Piscicultura

de la UCLA. Para extraerlos se utilizó la red de pesca tipo “chinchorro” (Fig. 1). Con esta se realizó un recorrido por todo el estanque con el propósito de arrastrar a la población de camarones hacia un borde del mismo. Una vez en el borde del estanque se procedió a sacar los camarones con un “salabardo” (Fig. 1).

Los camarones extraídos se depositaron en baldes de plástico donde se llevó a cabo una pre-limpieza para retirar restos de hojas secas, piedras, caracoles y suciedad en general, para luego ser colocados en bolsas plásticas con aberturas, a fin de que drenara el agua. Luego fueron etiquetados y conservados en frío en una cava con hielo para su traslado hasta el Laboratorio de Procesos Agroindustriales de la UCLA.

Preparación de la muestra

Una vez los camarones en el laboratorio, con un tiempo máximo entre la toma de muestras y el escaldado de tres horas, se realizó una limpieza manual en profundidad. Se seleccionaron los camarones de tamaño entre 3 cm y 5 cm, que luego fueron colocados en una rejilla de acero inoxidable, donde se lavaron con agua fresca.

Previo al lavado se realizó el montaje para el escaldado en vapor, que consistió en una olla de acero inoxidable con tapa de vidrio provista de un termómetro y con soporte para colocar la rejilla de acero inoxidable con los camarones. Esta olla contenía agua calentada con una cocina eléctrica (Fig. 2).

Se insertó la rejilla de acero inoxidable con los camarones limpios en la olla, cuidando que el nivel de agua no tocará a la rejilla. El termómetro se ubicó en el centro de la cama que formaron los camarones para medir la temperatura de los mismos (Fig. 2). El tiempo de duración del escaldado fue entre 15 y 20 minutos con una temperatura en el centro de la cama que osciló entre 80 °C y 90 °C (Rahman,



Figura 1.- Toma de muestras en los tanques de cultivo.



Figura 2.- Escaldado de la muestra.

1999). Cada 5 minutos se removió la muestra de camarones para garantizar homogeneidad.

Finalizado el tiempo de escaldado, la rejilla con los camarones se extrajo de la olla y se dejó reposando a temperatura ambiental, en cubierto para evitar el contacto con insectos y polvo. Cuando estuvieron a temperatura donde fueron manejables (aproximadamente 30 °C) se envasaron al vacío en bolsas plásticas y se colocaron en un congelador horizontal (marca TECOVEN) a - 8 °C.

Secado de la muestra

Se utilizó un secador convectivo de

bandejas (planta piloto) provisto de un banco de tubos (con aletas) de área de 19,4 ft² y longitud 166 cm, por donde circula vapor que calienta el aire que fluye a través de un ventilador marca Breeza Fans USA de 9 ¼ in de diámetro. El secador tiene una longitud total de 520 cm (Fig. 3). El secado de los camarones se realizó a dos temperaturas de secado (70 y 80 °C) y a dos velocidades de aire (2 y 3 m/s) (Casp-Vanaclocha y Abril-Requena, 2003).

La cantidad de camarón usada fue de 250 g por corrida. Un día antes del ensayo, la muestra fue extraída del congelador y se colocó en una nevera para su descongelamiento (\pm 4 °C). El día de la corrida se sacó de la nevera y



Figura 3.- Secador convectivo (planta piloto).

se dejó en reposo hasta que alcanzó una temperatura de 30 °C.

Los camarones se colocaron y distribuyeron uniformemente sobre una malla mosquitero de fibra de vidrio (doble capa) y ésta a su vez en una bandeja de dimensiones 25x25 cm, elaborada con malla electrosoldada de aberturas 5x5 mm.

Para iniciar la corrida se procedió a ajustar el secador de bandeja con las condiciones de secado preestablecidas, (70 °C y 2 m/s; 70 °C y 3 m/s; 80 °C y 2 m/s; 80 °C y 3 m/s) para ello se encendió el ventilador y se estableció la velocidad del aire de secado con la ayuda de un higro termo-anemómetro digital, marca Extech®, modelo 407412 (apreciación 0,1 m/s), paralelo a este procedimiento se abrió la llave de paso de vapor de agua para calentar la cámara de secado y se fijó a la temperatura de secado elegida.

Una vez alcanzada y estabilizada la temperatura deseada dentro de la cámara, medida con un termómetro de varilla analógico (apreciación ± 1 °C), se introdujo la bandeja al secador y se tomó el peso inicial con la ayuda de la balanza de brazo que forma parte del secador. En este instante se activó el

cronómetro, luego, cada 5 minutos se tomó el peso de la muestra hasta obtener 3 lecturas de pesos constantes consecutivas, punto donde el sólido se encuentra en la humedad de equilibrio (X^*).

Determinación de la masa de sólido seco

La muestra de camarón resultante del proceso de secado se introdujo en un horno secador marca BINDER, modelo ED115 (apreciación $\pm 0,1$ °C) a 105,0 °C por aproximadamente una hora, y se pesó (p_1), usando para ello una balanza digital, marca Ohaus®, Scout® Pro (apreciación $\pm 0,1$ g).

Nuevamente los camarones se llevaron al horno secador por 15 minutos más, se retiraron y pesaron (p_2). Este procedimiento se realizó hasta obtener lecturas constantes de peso (p_n). La masa de sólido seco ($m_{s,s}$) se determinó restando la masa final encontrada (p_n) y la masa de la bandeja (m_B), que es el peso de la bandeja sin la muestra.

Análisis de los datos

Curvas de secado

Para determinar las curvas de secado con los datos obtenidos de masa y de tiempo, se procedió de la siguiente forma:

Primero se calculó la masa de agua presente en el sólido para cada tiempo en una corrida (Ec. 1); para ello se tienen los datos de la masa total (peso para cada tiempo t), la masa de la bandeja de soporte (m_B) y la masa de sólido seco (m_{Ss}).

Ecuación (1):

$$\text{Masa agua (g)} = \text{Masa total (g)} - m_B \text{ (g)} - m_{Ss} \text{ (g)}$$

Luego de obtener la masa de agua se procedió a calcular la humedad en el sólido (X_t) para cada uno de los tiempos obtenidos en una corrida. Para esto se tienen los datos de masa de sólido seco (m_{Ss}) (valor constante por corrida) y la masa de agua de cada lectura de tiempo, usando la Ec. 2:

$$\text{Ecuación (2)} \quad X_t = \frac{\text{Masa agua (g)}}{m_{Ss} \text{ (g)}}$$

Donde:

X_t : humedad total en base seca, g H₂O/g sólido seco

Con el valor de la humedad total se calcularon dos humedades, la humedad libre (X_L) y la relación de humedad (X'). La humedad libre se calculó con la Ec. 3:

$$\text{Ecuación (3)} \quad X_L = X_t - X^*$$

Donde:

X_L : humedad libre, g H₂O/g sólido seco

X^* : humedad en el equilibrio, g H₂O/g sólido seco

La humedad en el equilibrio X^* , es la calculada para el tiempo final del proceso de secado (una vez que los camarones en el proceso de secado presentaron valores de peso

constante). Con estos datos de humedad libre (X_L) para cada tiempo (t) se construyó la curva de secado de humedad versus tiempo.

La relación de humedad (X') se realizó para evitar la divergencia en las curvas de secado debido a que las humedades iniciales son diferentes para cada muestra a secar. Esta humedad (Ec. 4) se calculó, teniendo en cuenta que X_t es la humedad total en base seca al tiempo t y X_0 es la humedad en base seca inicial (Velić *et al.*, 2007).

$$\text{Ecuación (4)} \quad X' = \frac{X_t}{X_0}$$

Donde:

X' : relación de humedad (adimensional)

Con estos datos se construyó la tabla de relación de humedad en base seca (X') y tiempo (t) y se graficó la humedad en el eje y versus el tiempo en el eje x , (únicamente para las primeras corridas de cada estudio realizado). Asimismo, se generaron las curvas de velocidad de secado (N) contra la humedad. Para ello, se calculó la pérdida de peso ΔX para un incremento de tiempo Δt y la humedad libre promedio entre dos puntos. Los valores obtenidos se graficaron, N (velocidad de secado) en el eje y versus \bar{X} (humedad promedio) en el eje x (Geankoplis, 1998).

La velocidad de secado se calculó según la Ec. 5:

$$\text{Ecuación (5)} \quad N = - \frac{m_{Ss}}{A} \cdot \left(\frac{\Delta X}{\Delta t} \right)$$

Donde:

N : velocidad de secado, kg H₂O/m² · min

m_{Ss} : masa de sólido seco, kg

A : área de secado, m²

ΔX : adimensional

Δt : min

El área de secado no se tomó en cuenta al calcular N debido a que permanece constante durante todo el proceso.

La humedad promedio se calculó como sigue (Ec. 6):

$$\text{Ecuación (6)} \quad \bar{X} = \frac{X_t + X_{t-1}}{2}$$

Donde:

- \bar{X} : humedad promedio, kg H₂O/kg sólido seco
- X_t : humedad en base seca en estudio, kg H₂O/kg sólido seco
- X_{t-1} : humedad (base seca) anterior, kg H₂O/kg sólido seco

Todos los datos obtenidos en los experimentos y calculados según las ecuaciones se tabularon, procesaron y graficaron en Microsoft® Office Excel, versión 2007 (Microsoft® Corporation, Redmond, WA, USA).

Tratamiento estadístico

De cada experiencia de secado se obtuvo una humedad inicial en base seca y a estos valores se les calculó el promedio y la desviación estándar. Se utilizó un diseño factorial 2^k considerando dos factores k , cada uno de los factores con dos niveles, que fueron: temperatura de secado (70 y 80 °C) y velocidad de secado (2 y 3 m/s). Se realizó el estudio de 4 tratamientos con una réplica lo que dio un total de 8 experiencias, a las que se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA). La variable estudiada fue el tiempo de secado para obtener una humedad de 0,10 en base seca (humedad en la que los microorganismos dejan de ser activos) (Contreras-Audiffred, sin fecha). El ANOVA tuvo un nivel de significancia de 5 % ($p = 0,05$) y se ejecutó a través del programa computacional Statgraphics® Centurion, ver-

sión XVI (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de la aplicación de las ecuaciones se obtuvo que la humedad inicial (X_0) en base seca calculada con los datos de las experiencias de secado para el camarón dulceacuícola fue de $3,27 \pm 0,10$ g H₂O/g sólido seco, valor que indicó un alto contenido de agua presente en su composición, siendo concordante con el valor de humedad inicial de 3,11 g H₂O/g sólido seco informado para el cefalotórax del camarón *Litopenaeus vannamei* (Honorato *et al.*, 2005).

Del análisis estadístico realizado al tiempo de secado para alcanzar la humedad de 0,10 g H₂O/g sólido seco (Contreras-Audiffred, sin fecha), se obtuvo el diagrama de Pareto (Fig. 4), este muestra que el factor temperatura de secado fue el que tuvo incidencia significativa sobre el tiempo. La velocidad del aire y la interacción temperatura de secado-velocidad del aire no presentaron incidencia alguna. Este comportamiento fue informado en un estudio del proceso de secado del músculo de camarón gigante *Macrobrachium rosenbergii* (Tello-Panduro *et al.*, 2003), concluyendo que esto sucede porque a mayor temperatura la capacidad de retención de agua de las proteínas disminuye por la desnaturalización de las mismas. El valor de p para la temperatura del aire de secado fue de 0,0162 frente al valor de p para la velocidad del aire de secado de 0,1722, lo que demuestra la gran influencia del primer factor mencionado.

Las gráficas de humedad libre contra el tiempo a temperatura del proceso de 70 °C (Fig. 5) y 80 °C (Fig. 6), muestran, en ambos casos, como el proceso de secado es más rápido a velocidad de 3 m/s. Las curvas representativas de la velocidad a 3 m/s tienen una pendiente más pronunciada que las de velocidad a 2 m/s.

Honorato *et al.* (2005) en el secado de

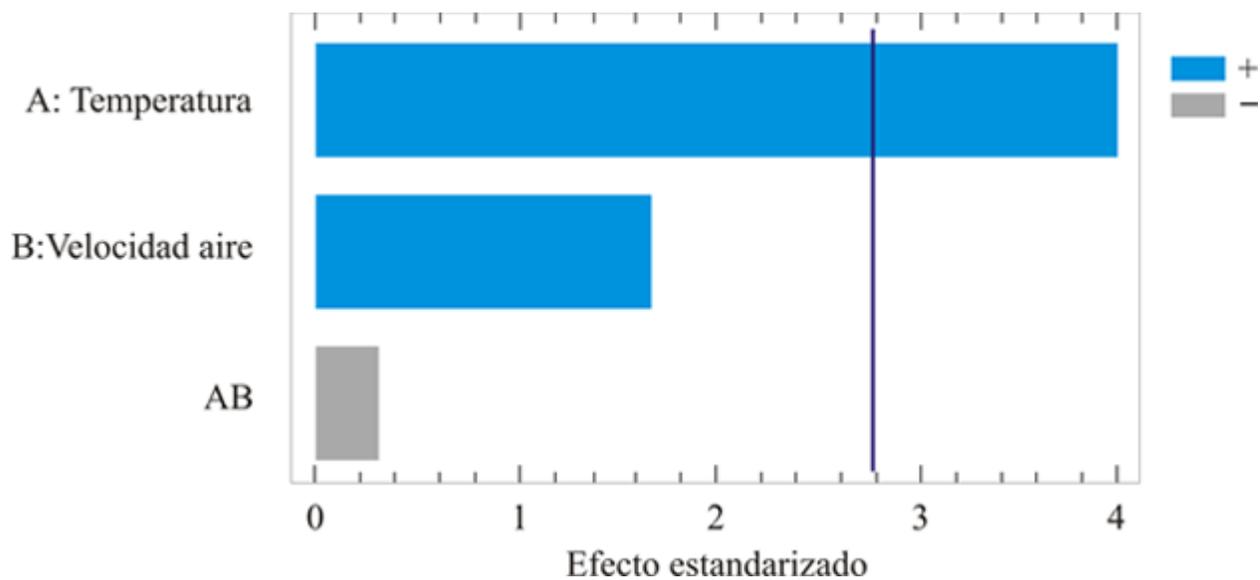


Figura 4.- Diagrama de Pareto estandarizado para el secado.

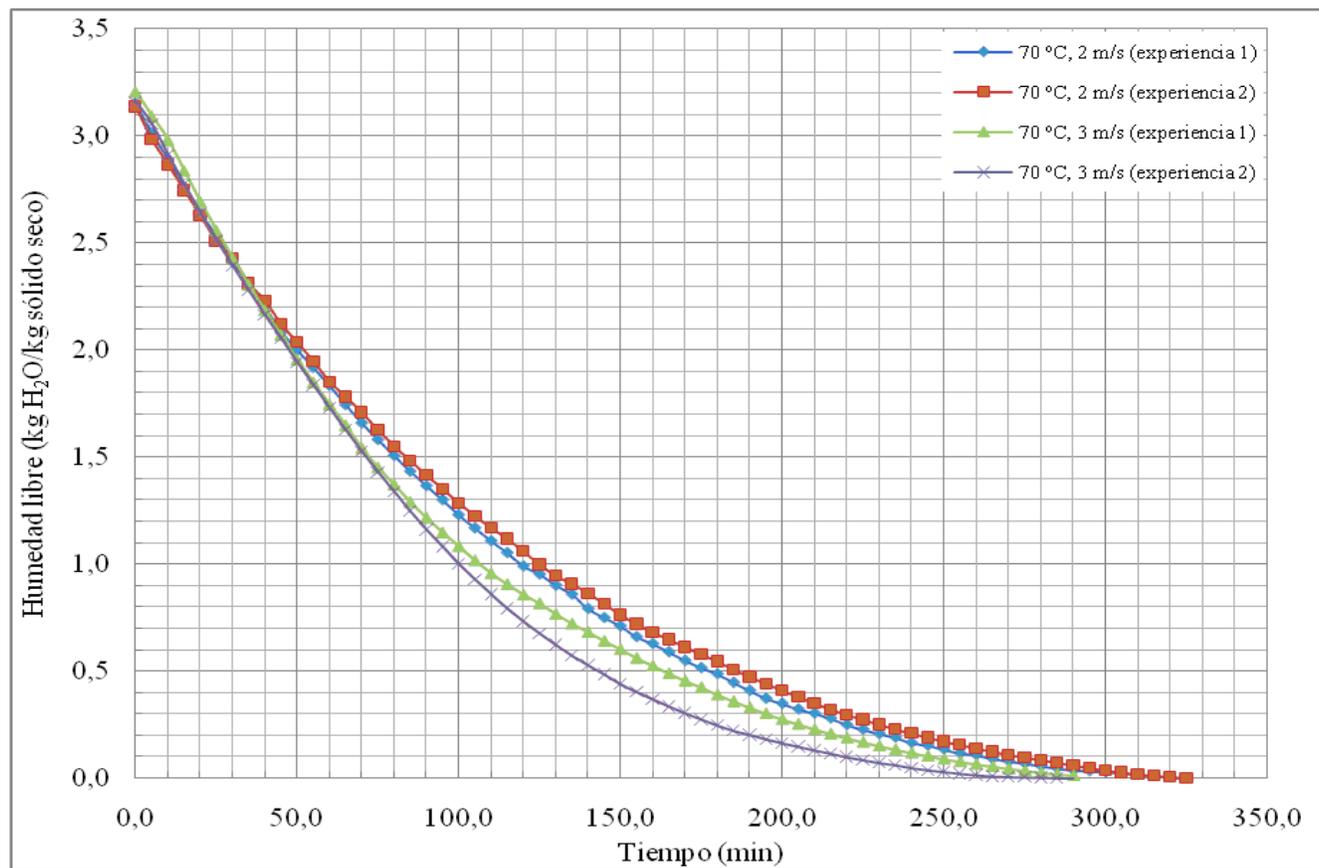


Figura 5.- Humedad libre contra el tiempo a temperatura de 70 °C.

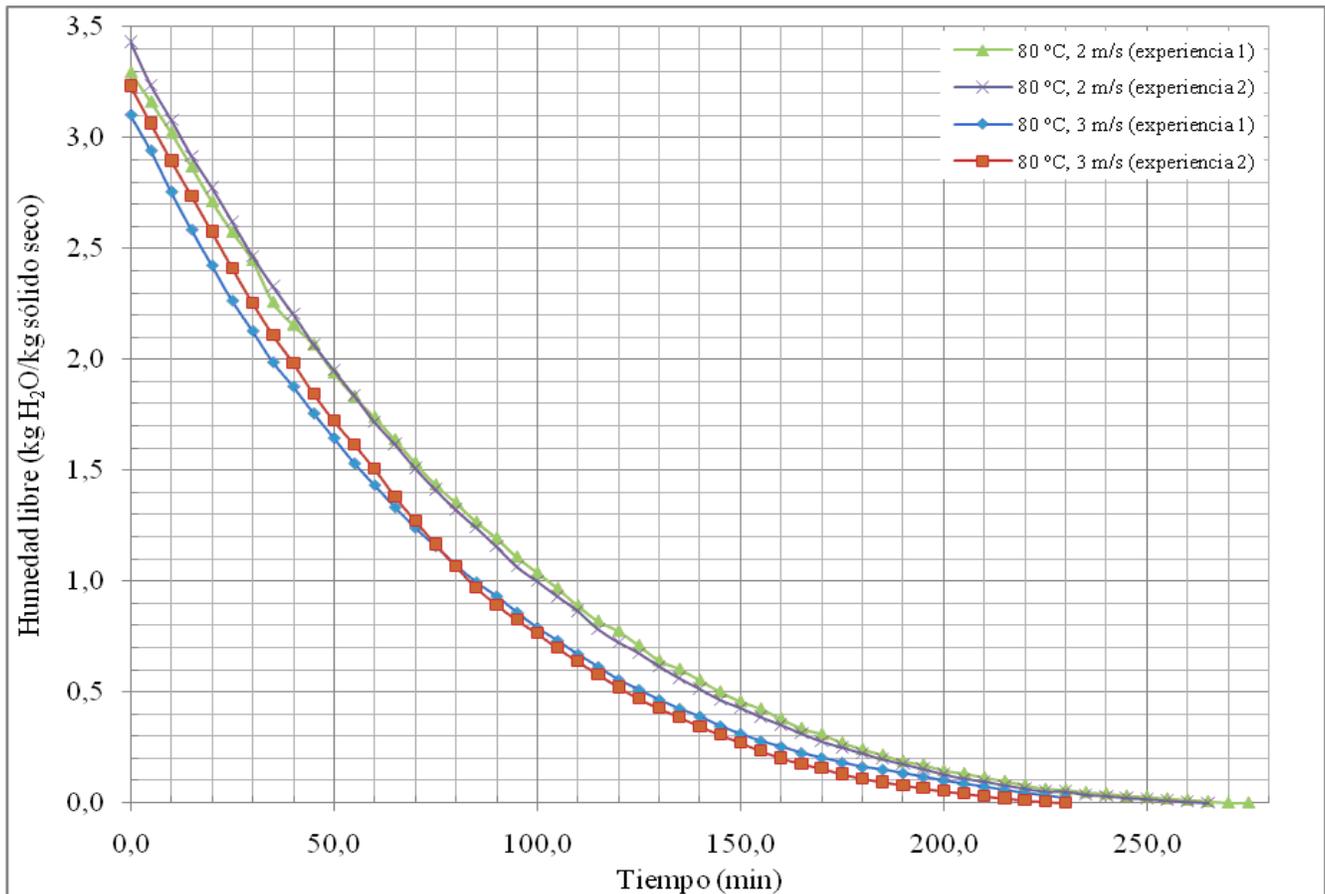


Figura 6.- Humedad libre contra el tiempo a temperatura de 80 °C.

cefalotórax de camarón (*Litopenaeus vannamei*) a temperatura de 70 °C y experimentando velocidades de 0,4 y 0,2 m/s; obtuvieron que a mayor velocidad de aire (0,4 m/s) el proceso de secado fue más rápido. Otro fenómeno observable es que todas las experiencias comenzaron en una humedad diferente; lo importante de esto es que la forma de la curva describe el mismo comportamiento, rápido al inicio del proceso para luego ser más lento.

Este comportamiento, donde la mayor pérdida de humedad ocurre al inicio del proceso, se pudo deber a que el tipo de agua que se encuentra dentro del sólido en estudio, no está ligada fuertemente, pudiendo ser agua contenida dentro de capilares o espacios que

forman las células. Esto concuerda con la teoría de los tipos de agua en el sólido, que mientras el proceso de secado avanza, más difícil se hace el retiro del agua y por tanto más lento es el proceso (Heldman y Singh, 1981).

El tiempo promedio de secado para alcanzar la humedad en el equilibrio (X^* , último valor graficado) a temperatura de 70 °C fue de 295 minutos a velocidad de aire de secado de 3 m/s y de 325 minutos a velocidad del aire de secado de 2 m/s, en contraste con la temperatura en la cámara a 80 °C donde se alcanzó la humedad en el equilibrio en base seca en 270 minutos a velocidad del aire de 2 m/s y 235 minutos a 3 m/s.

Asimismo, se encontró gráficamente que el tiempo promedio para llegar a la hume-

dad de 0,10 en base seca con las condiciones de 70 °C y 2 m/s fue de 295 minutos, y para 70 °C y 3 m/s fue de 265 minutos, lo que muestra una diferencia de 30 minutos, concordante este fenómeno con la teoría de procesos de secado (Casp-Vanaclocha y Abril-Requena, 2003); y para temperatura de 80 °C, el tiempo promedio de duración del proceso de secado para alcanzar la humedad (base seca) de 0,10 fue de 230 minutos para 2 m/s de velocidad de aire y de 209 minutos para velocidad de aire de 3 m/s, una diferencia de 21 minutos. Si se comparan los tiempos obtenidos para alcanzar la humedad de 0,10 en base seca a velocidades de aire 2 y 3 m/s se observa que los menores tiempos requeridos fueron a temperatura de 80 °C. Estos

valores se ajustan a lo concluido con el análisis estadístico realizado donde la temperatura de secado fue el parámetro más influyente.

Las curvas de velocidad de secado (Ec.5) contra humedad promedio (Ec.6) a temperatura de 70 °C (Fig. 7) y 80 °C (Fig. 8), reflejan que al secar el camarón dulceacuícola, éste presenta el mismo comportamiento que muchos sólidos de origen orgánico; una ausencia del período de velocidad de secado constante. Comportamiento similar al obtenido en el secado de cefalotórax del camarón *Litopenaeus vannamei* (Honorato *et al.*, 2005), teniendo estos puntos una tendencia a ser una línea recta, característica de sólidos que tienen cuerpos porosos-capilares y con una

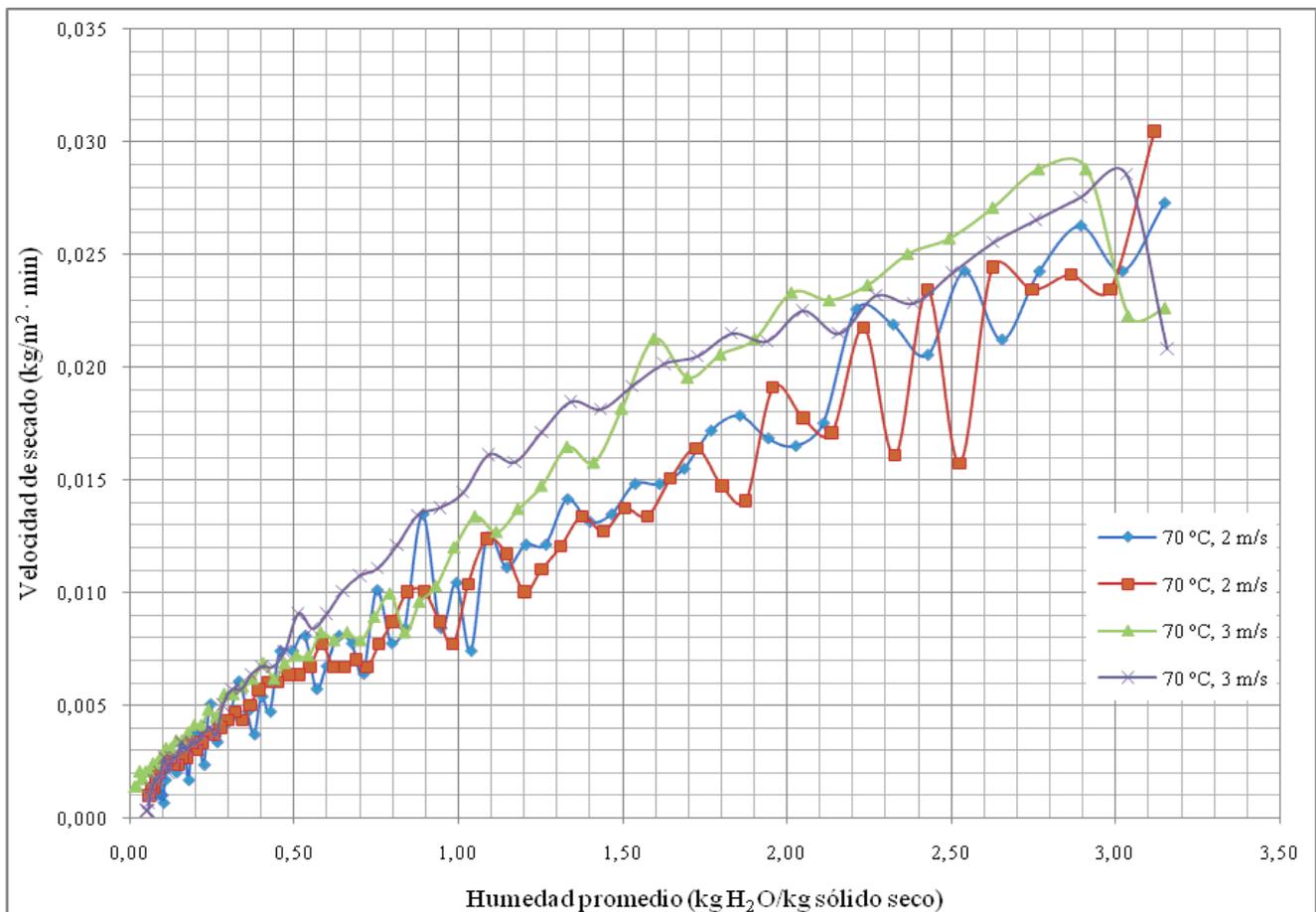


Figura 7.- Velocidad de secado contra humedad promedio, 70 °C.

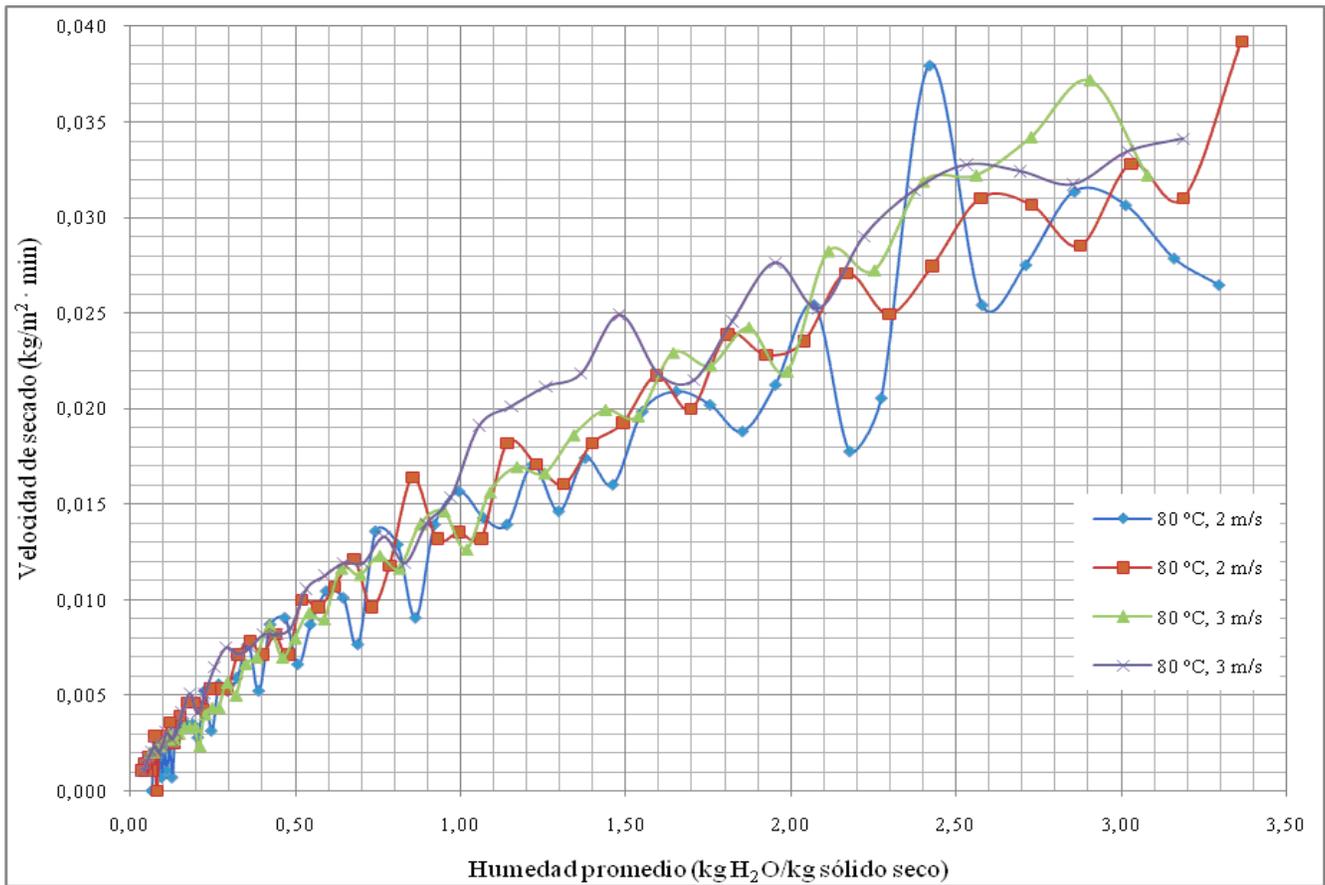


Figura 8.- Velocidad de secado contra humedad promedio, 80 °C.

gran superficie específica de evaporación (Carrín y Crapiste, 2009). Además, en la Fig. 8 se puede ver que las curvas obtenidas están todas muy cercanas entre sí, lo que indica que a temperatura de 80 °C, la velocidad del aire de secado no fue un factor influyente en la rapidez del proceso de deshidratación.

En la Fig. 9 se muestra la gráfica de relación de humedad adimensional versus tiempo. Esta forma de expresión para la humedad elimina la ambigüedad que se presenta al tener diferencia entre las humedades iniciales de las diferentes experiencias realizadas (Velić *et al.*, 2007). La pérdida de

humedad más acelerada la presentó el secado realizado a temperatura de 80 °C y 3 m/s de velocidad de aire de secado, lo que corrobora lo concluido por Velić *et al.* (2007), donde afirman que con el incremento de la temperatura el tiempo requerido para alcanzar cierta humedad, disminuye.

De todos los parámetros establecidos para el estudio, la temperatura de 70 °C y velocidad de aire de secado de 3 m/s, serían los más idóneos. Esta temperatura garantizaría un menor daño desde el punto de vista celular a la estructura del *M. jelskii* y supone menor gasto energético.

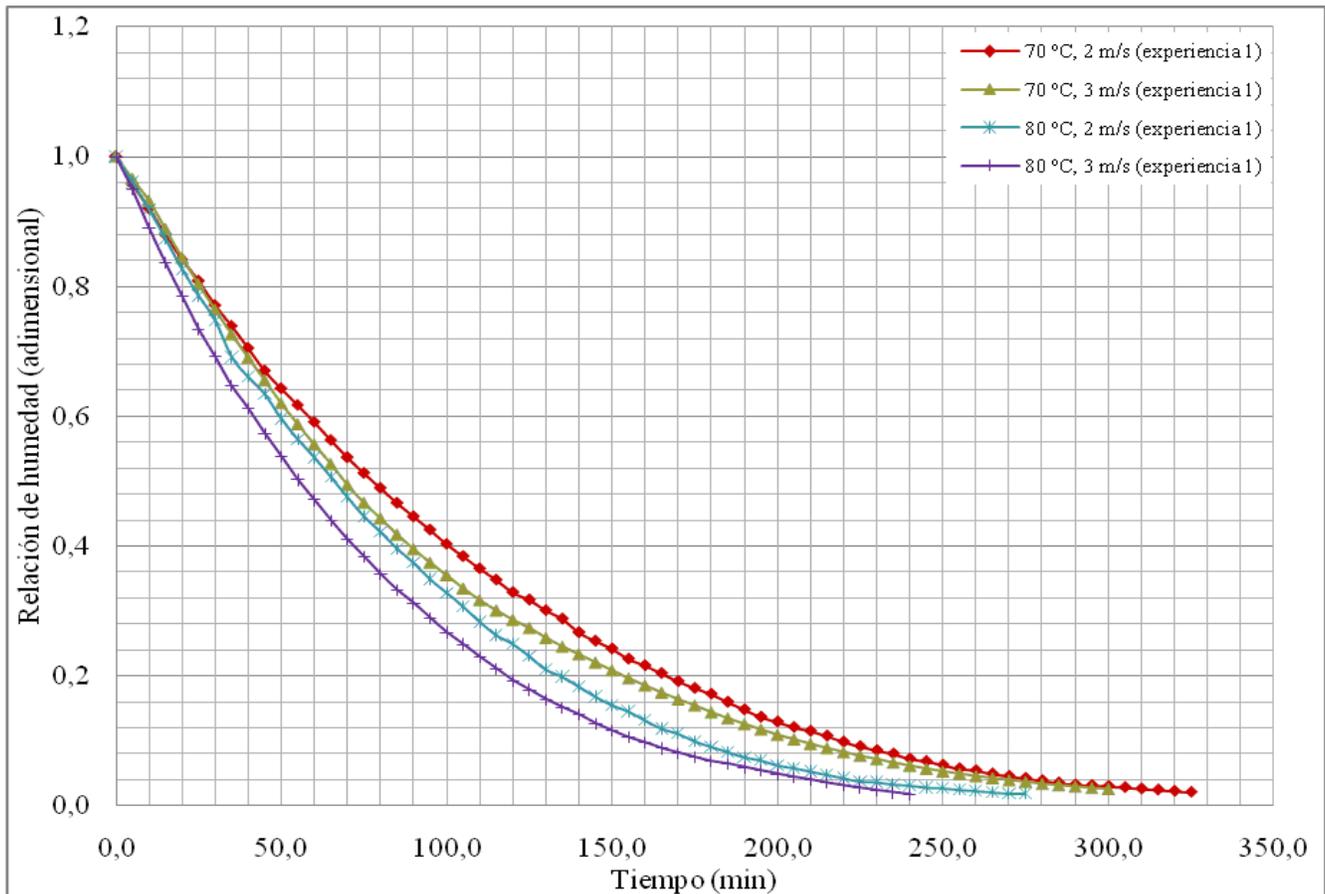


Figura 9.- Relación de humedad (X_t/X_0) contra el tiempo.

CONCLUSIONES

- La humedad inicial obtenida como promedio de los valores de las gráficas para el camarón *Macrobrachium jelskii* fue de $3,27 \pm 0,10$ g H₂O/g sólido seco, valor que se corresponde con la humedad inicial de 3,11 g H₂O/g sólido seco para el cefalotórax del camarón *Litopenaeus vannamei* (Honorato *et al.*, 2005).
- El tiempo de secado para alcanzar la humedad en el equilibrio en la experiencia realizada a temperatura de 70 °C fue de 295 min a velocidad de aire de secado de 3 m/s y de 325 min a 2 m/s, en contraste con la temperatura en la cámara a 80 °C donde se alcanzó la humedad en el equilibrio en base seca en 235 min a velocidad del aire de 3 m/s y 270 min a 2 m/s.
- Para alcanzar la humedad de 0,10 g H₂O/g sólido seco a 70 °C el tiempo requerido fue de 295 min a velocidad de aire 2 m/s y 265 min a 3 m/s, mientras que a 80 °C fue de 230 min a velocidad de aire 2 m/s y 209 min a 3 m/s.
- En el secado del camarón *Macrobrachium jelskii* se observó solo un período de velocidad de secado decreciente.
- La temperatura fue el factor más influyente en el proceso de secado.

- Los parámetros más idóneos para el secado convectivo del camarón fueron temperatura de 70 °C y velocidad de aire de 3 m/s.
- A 80 °C, la velocidad del aire de secado dejó de ser un factor importante para el proceso de secado, debido a la poca influencia de la misma reflejada en las curvas de velocidad de secado contra la humedad promedio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boscolo, Wilson Rogério; Hayashi, Carmino; Meurer, Fábio; Feiden, Aldi e Bombardelli, Robie Allan. 2004. Digestibilidade aparente da energia e proteína das farinhas de resíduo da filetagem da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) e da corvina (*Plagioscion squamosissimus*) e farinha integral do camarão canela (*Macrobrachium amazonicum*) para a tilápia do nilo. Revista Brasileira de Zootecnia. 33(1):8-13.
- Carrín, María Elena and Crapiste, Guillermo Héctor. 2009. Convective drying of foods. In *Advances in food dehydration*. Boca Raton, USA: CRC Press. (Chapter 5).
- Casp-Vanaclocha, Ana y Abril-Requena, José. 2003. *Procesos de conservación de alimentos*. (2da. ed.). Madrid, España: Editorial Mundi-Prensa.
- Chávez-Astudillo, David Roberto; López-Chica, María Geomara y Cornejo-Zúñiga, Fabiola. 2010. Factibilidad técnica para el aprovechamiento integral del camarón de la especie *Penaeus vannamei*. Artículo de Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8840>
- Contreras-Velásquez, Luz María. 1995. Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos. e-mail: lucy@suss.co.cu
- Contreras-Audiffred, Tomás. sin fecha. *Secado. Práctica N° 4. Laboratorio Integral III. División Ingeniería Química y Bioquímica. Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec*. <http://es.scribd.com/doc/18030474/secado>
- Coulson, J.M.; Richardson, J.F.; Backhurst, J.R. y Harker, J.H. 2003. *Ingeniería química. Operaciones Básicas. Tomo II. Unidades SI*. (3ra. ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté, S. A.
- Geankoplis, C.J. 1998. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (3ra. ed.). México: Editorial CECSA. pp. 578-601.
- Heldman, Dennis R. and Singh, R. Paul. 1981. *Food process engineering*. (2nd. ed.). Westport, CT, USA: AVI Publishing Company, Inc.
- Honorato, G.C.; Oliveira, E.L.; de S. Alsina, O.L. y Magalhães, M.M.A. 2005. Estudio del proceso cinético del secado de cefalotórax de camarón. *Información Tecnológica*. 16(4):3-10.
- Luna, Merirros; Graziani, César; Villarroel, Elvis; Lemus, Mairin; Lodeiros, César y Salazar, Greys. 2007. Evaluación de tres dietas con diferente contenido proteico en el cultivo de postlarvas del langostino de río *Macrobrachium rosenbergii*. *Zootecnia Tropical*. 25(2):111-121.
- Meruane, Jaime A.; Morales, María C.; Galleguillos, César A.; Rivera, Miguel A. y Hosokawa, Hidetsuyo. 2006. Experiencias y resultados de investigaciones sobre el camarón de río del norte *Cryphiops caementarius* (Molina 1782) (Decapoda: Palaemonidae): historia natural y cultivo. *Gayana*. 70(2):280-292.
- Montoya, José V. 2003. Freshwater shrimps of the genus *Macrobrachium* associated with roots of *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) in the Orinoco Delta

- (Venezuela). *Caribbean Journal of Science*. 39(1):155-159.
- Mujumdar, A.S. 1997. Drying fundamentals. In *Industrial drying of foods*. (pp. 7-30). London: Blackie Academic and Professional.
- Rahman, M. Shafiur. 1999. *Handbook of food preservation*. NY, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Ramírez, Enmary; Silva, Annie; Guevara, Miguel; Núñez, Maximiano; Bauza, Richard y Arredondo-Vega, Berta. 2010. Composición bioquímica del camarón dulceacuícola *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877) sometido a condiciones de cultivo. *Zootecnia Tropical*. 28(1):65-72.
- Rodrigues, Antonio Manoel da Cruz; e Rodrigues, Priscilla Rodrigues; Pena, Rosinelson da Silva e da Silva, Luiza Helena Meller. 2010. Secagem de camarão (*Macrobrachium amazonicum*) in natura e pré-cozido: cinética e avaliação de modelos. Em *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química*. 19-22 Setembro. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.
- Rodríguez, Gilberto. 1982. Fresh-water shrimps (Crustacea, Decapoda, Natantia) of the Orinoco basin and the Venezuelan Guayana. *Journal of Crustacean Biology*. 2(3):378-391.
- Tello-Panduro, Betty; García-Vásquez, Yliana; Medina-Vivanco, Mari; Díaz-Viteri, Javier; Heredia-Baca, Jensen y Mendieta-Taboada, Oscar. 2003. Secado de tilapia (*Oreochromis* sp.), almejas (*Anodontites trapesialis*) y camarón gigante (*Macrobrachium rosenbergii*). En *Comunicaciones sobre crustáceos de agua dulce del II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura*. 01 Septiembre-30 Noviembre. (pp. 775-783). <http://www.revistaaquatic.com/civa2003/coms/completo.asp?cod=105>
- Urbano, T. y Santaimé, R. 2008. Crecimiento del camarón *Macrobrachium jelskii*, cultivado en jaulas en el INIA-Delta Amacuro. En *Memorias del XIV Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal*. 24-26 de Septiembre. Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica (FCV-LUZ)*. XVIII:(Supl. 1). (Alimentación y nutrición de no rumiantes. M-22). http://avpa.ula.ve/congresos/memorias_xivcongreso/pdf/alim_norumiante.pdf
- Urbano, T.; Silva, A.; Medina, L.; Velásquez, Y. y Guevara, M. 2006. Cultivo y valor nutricional del camarón *Macrobrachium* sp. En *Memorias del XIII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal*. 25-27 Septiembre. San Juan de Los Morros, Estado Guárico, Venezuela. http://avpa.ula.ve/congresos/memorias_xiicongreso/pdfs/04-especies-no-tradicional/urbano_cultivo.pdf
- Urbano, Trinidad; Silva-A., Annie; Medina, Lorenis; Moreno, Carlos; Guevara, Miguel y Graziani, César. 2010. Crecimiento del camarón de agua dulce *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877), en lagunas de cultivo. *Zootecnia Tropical*. 28(2):163-171.
- Urquía-Ravelo, Carmen. 1992. El estado actual de la acuicultura de Venezuela y perfiles de nutrición y alimentación. En *Trabajos presentados en el II Taller Regional sobre Nutrición y Alimentación en Acuicultura*. 08-11 Diciembre. Mazatlán, Sinaloa, México. Depósito de Documentos de la FAO. La nutrición y alimentación en la acuicultura de América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB487S/AB487S13.htm>
- Velić, Darko; Bilić, Mate; Tomas, Srećko; Planinić, Mirela; Bucić-Kojić, Ana and Aladić, Krunoslav. 2007. Study of the drying kinetics of "Granny Smith" apple in tray drier. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 72(4):323-328.
- Welder, E. 1998. *Introducción en la acuicultura con énfasis en los neotrópicos*. Santa Marta, Colombia: Litoflash.