

# DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE DESORCIÓN EN JAMÓN DE CERDO COCIDO ALMACENADO ENTRE 4°C Y 12°C

## DESORPTION ISOTHERMS DETERMINATION IN COOKED PORK HAM STORED BETWEEN 4°C AND 12°C

María Isabel GONZÁLEZ HURTADO, M.Sc.<sup>1\*</sup>, Luis Danilo PORRAS BARRIENTOS<sup>1</sup>,  
Aura Cristina AGUDELO FLOREZ, M.Sc.<sup>1</sup>, Oscar Albeiro QUINTERO CARDONA<sup>1</sup>,  
Carlos Fernando DIOSA QUINTERO<sup>1</sup>

Recibido: Septiembre 10 de 2013 Aceptado: Mayo 26 de 2014

### RESUMEN

**Antecedentes:** Las isotermas de sorción describen la relación termodinámica entre la actividad de agua ( $a_w$ ) y el contenido de humedad en base seca (g agua / g materia seca), de un producto alimentario a presión y temperatura constante. Estas pueden ser de adsorción o desorción. Su conocimiento es de gran importancia en la industria de alimentos, ya que brindan información apta para la selección del material de empaque, la predicción de la vida útil del producto y la evolución del contenido de humedad durante el tiempo de almacenamiento. **Objetivos:** Evaluar la relación existente entre la humedad y la  $a_w$  en un jamón de cerdo cocido mediante el uso de isotermas de desorción a diferentes temperaturas de almacenamiento. **Métodos:** Para realizar el análisis se evaluaron dos lotes independientes de jamón donde se evaluó su composición fisicoquímica para luego ser almacenados en cámaras de almacenamiento a temperaturas de (4, 8 y 12°C). El proceso utilizado para determinar las curvas isotérmicas de sorción, fue el método recomendado por el proyecto COST 90, en un rango de  $a_w$  entre 0,123 hasta 0,958 respectivamente. Los datos experimentales se modelaron utilizando cuatro modelos empíricos (Oswin, Caurie, Smith y Henderson) y dos teóricos (Guggenheim Anderson de Boer (GAB) y Brunauer, Emmett y Teller (BET)) comúnmente aplicados en la industria de alimentos. La calidad de ajuste se evaluó con el error medio relativo (%E), la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y la suma de errores cuadrados (SSE) respectivamente. Los datos se analizaron mediante la aplicación de modelos no lineales usando el método de mínimos cuadrados y se seleccionaron los modelos que presentaron mejores ajustes. **Resultados:** En relación con la cinética de desorción se observó que los modelos propuestos por GAB, BET y Oswin, tuvieron un mejor ajuste a los datos experimentales a las tres temperaturas de almacenamiento. **Conclusión:** En el jamón, las isotermas de desorción no presentan dependencia con la temperatura. Las curvas muestran un comportamiento tipo III, debido a la afinidad e interacción existente entre el sistema multicomponente y el agua disponible en el entorno.

**Palabra clave:** Jamón, isoterma, cinética, modelamiento, sorción.

### ABSTRACT

**Rationale:** The sorption isotherms describe the thermodynamic relationship between the water activity ( $a_w$ ) and the dry basis moisture content (grams of water / grams of dry mass) for a food product, at constant pressure and temperature. The isotherms can be of adsorption or desorption. Knowing them is of great importance within the food industry, as they provide information needed for the selection of package material, shelf-life prediction, and moisture content evolution during storage time. **Objective:**

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo Cárnico. Industria de Alimentos Zenú S.A.S. Grupo Nutresa. Cra 64C # 104-03. Medellín, Colombia.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: mgonzalez@zenu.com.co

To evaluate the relationship between moisture and  $a_w$  within a boiled ham using isotherms of desorption at several storage temperatures. **Methods:** To run the analysis two independent lots of ham were used to evaluate the physical-chemical composition, they were later stored in a storage chamber set at (4, 8 and 12°C) of temperature. The process used to determine the sorption isotherm curves was recommended by the Cost 90 project, using a range for  $a_w$  between 0,123 and 0,958 respectively. The experimental data were modeled using four different empirical models (Oswin, Caurie, Smith and Henderson) as well as two theoretical ones (Guggenheim Anderson of Boer (GAB), and Brunauer, Emmett and Teller (BET)), these methods are usually applied within the food industry. The fit quality was evaluated using the Average Mean Error (%E), the Root Mean Squared Error (RMSE), and the Sum of Squares for Errors (SSE) respectively. The data was analyzed through non-linear models, using the Minimum Squares method, and the models showing the best fit were selected. **Results:** Related to desorption kinetic, it was observed that the models proposed by GAB, BET, and Oswin had a better fit to the experimental data at the storage temperatures given above. **Conclusion:** In the ham desorption isotherms do not show dependency with temperature. The curves show a Type III behavior due to their affinity and interaction between the multicomponent system and the surrounding water.

**Keywords:** Ham, isotherm, kinetics, modeling, sorption.

## INTRODUCCIÓN

El jamón es descrito como un producto cárnico procesado, cocido, embutido, moldeado o prensado, elaborado con músculo entero o troceado, con la adición de sustancias de uso permitido y listo para el consumo (1). Su calidad está influenciada por muchos factores, entre los que se incluyen: selección de la materia prima, condiciones de almacenamiento, variación en el contenido de humedad, proceso de inyección de la salmuera, tratamiento mecánico y térmico (2).

El conocimiento de factores como el contenido de humedad, permite brindar información muy útil para los procesos de secado, preservación y acondicionamiento de materiales alimenticios; además, facilita estructurar sistemas de almacenamiento y determinar su estabilidad. En un alimento, la relación entre la  $a_w$  y el contenido de humedad, a una temperatura y presión constantes, se denomina isoterma de sorción, la cual constituye una representación gráfica del contenido de humedad en base seca presente en el alimento contra la  $a_w$  en condiciones isotérmicas, donde el material está en equilibrio higroscópico con el ambiente en que se encuentra y no existe cambio en el peso de la muestra (3-5).

En la actualidad, las teorías de la estructura de sólidos y de los fenómenos superficiales no permiten predecir la variación del contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales. Sin embargo, se ha intentado correlacionar los datos experimentales mediante modelos matemáticos, los cuales

proporcionan resultados satisfactorios en ciertos rangos de  $a_w$  y ciertos tipos de alimentos. Debido a las limitaciones que ofrecen estos modelos, se hace necesario determinar los contenidos de humedad de equilibrio por vía experimental, bien sea empleando el método dinámico o el método estático (5-7). El primer método se basa en el uso de microbalanzas con atmósferas controladas para lograr condiciones de equilibrio aparente, donde los cambios dinámicos en la masa de la muestra, en función del tiempo, son inferiores a 0.002%/min. Estas condiciones de equilibrio han sido consideradas como adecuadas para construir las isothermas de sorción de vapor de agua. En el método estático, las muestras se colocan en recipientes cerrados a humedades relativas constantes, hasta alcanzar un equilibrio higroscópico. Para lograr esto, se utilizan diversas sustancias químicas que poseen la característica de retirar o ceder humedad del ambiente en que se encuentren, hasta que se alcanza un estado de equilibrio. La humedad relativa se puede mantener constante al interior de recipientes herméticamente cerrados, utilizando soluciones saturadas de diferentes sales (5). En este contexto, el conocimiento de las propiedades de desorción en el jamón permite evaluar el comportamiento del producto; ya que permite predecir los cambios en su estabilidad y, de esta forma, seleccionar los materiales de empaque adecuados. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar la relación existente entre la humedad y la  $a_w$  en las isothermas de desorción del jamón de cerdo cocido bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material de estudio

El jamón de cerdo cocido fue elaborado en la planta de Industria de Alimentos Zenú S.A.S (Medellín, Colombia) Grupo Nutresa, a partir de fórmulas estándar, con base en los protocolos de elaboración y envasado establecidos. Se tomaron dos lotes independientes, a los cuales se les determinó su contenido de humedad, grasa y proteína mediante un analizador de carne Foss FoodScan® (AOAC 2007.04), pH usando un pH-metro OAKTON® (Ion 2700) y el contenido de nitritos y almidón a través de un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS Thermo Scientific® (AOAC 973.31/2006) (COVENIN 1150-80/1998) (8) (9) (10). Posteriormente, las muestras fueron cortadas por triplicado en forma circular con un diámetro de 2.8 mm y un espesor de 2 mm y depositadas en recipientes con cierre hermético, bajo condiciones controladas de temperatura (4, 8 y 12°C) que fueron verificadas con un sistema de adquisición de datos (Dataloger) utilizando el equipo Fluke 51 II®. Las humedades relativas fueron establecidas con diferentes soluciones salinas saturadas: cloruro de litio (LiCl), cloruro de sodio (NaCl), cloruro de magnesio (MgCl<sub>2</sub>), ioduro de potasio (KI<sub>2</sub>), cloruro de potasio (KCl), nitrato de magnesio (MgNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, acetato de potasio (CH<sub>3</sub>COOK), carbonato de potasio (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), las cuales generan atmósferas de a<sub>w</sub> determinadas (11).

### Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad, se utilizó una cámara de secado por convección forzada Memmert® a 105°C ± 2°C (aproximadamente 5 horas) hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente las muestras fueron enfriadas en un desecador, determinando su peso antes y después, mediante el uso de una balanza analítica Mettler-Toledo Ab204-S® (precisión de ± 0,0001 g). El contenido de humedad se expresó en base seca (g de agua / g materia seca) (AOAC 925.45/2002) (12).

### Determinación de isotermas de desorción

Para la determinación de las curvas isotérmicas de desorción, se aplicó el método recomendado por el proyecto COST 90, donde una masa conocida de muestra se deja equilibrar con la atmósfera producida por una disolución saturada de sal con a<sub>w</sub> conocida en un recipiente cerrado herméticamente (13). Durante el estudio se controló el peso de la muestra cada 10 días, hasta alcanzar un peso constante. A los recipientes que contenían soluciones con humedad relativa (%HR) mayor a 75% (KCl, NaCl, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) se les adicionó Thymol, para inhibir el desarrollo microbiano, especialmente el enmohecimiento (14). El contenido de humedad en base seca contra la a<sub>w</sub>, se graficó con el fin de obtener las curvas isotérmicas de desorción.

### Modelamiento de isotermas de desorción

Los datos experimentales fueron ajustados a los modelos matemáticos de: GAB, BET, Henderson, Caurie, Smith y Oswin, que se presentan en la tabla 1 (14).

**Tabla 1.** Ecuaciones de modelación de isotermas de sorción en jamón cocido.

Modelo	Ecuación	Parámetros
GAB	$X_w = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) (1 + (C-1) \cdot K \cdot a_w)}$	X <sub>m</sub> : Humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de sorción primarios están saturados por moléculas de agua. C: Constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa. K: Factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.
BET	$X_w = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot (1 + (C-1) \cdot a_w)}$	X <sub>m</sub> : Humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua absorbida. C: Constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción.
HENDERSON	$X_w = 0,01 \left[ \frac{-\log(1 - a_w)}{10^f} \right]^{1/n}$	n y f: Parámetros característicos del producto.

Modelo	Ecuación	Parámetros
CAURIE	$X_w = \exp \left[ a_w \ln(V) - \frac{1}{4.5 \cdot X_s} \right]$	V: Constante característica del material. X <sub>s</sub> : Contenido de humedad de seguridad que proporciona la máxima estabilidad al alimento deshidratado durante el almacenamiento.
SMITH OSWIN	$X_w = B + A \cdot \log(1 - a_w)$ $X_w = A \left[ \frac{a_w}{1 - a_w} \right]^B$	A y B: Constantes del modelo y características para cada alimento.

## Análisis estadístico

Los datos experimentales fueron analizados en el paquete estadístico R Core Team 2012. Se realizó un análisis de regresión no lineal con el fin de determinar los parámetros de cada modelo. Para el ajuste, se estimó el error medio relativo porcentual (%E), la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y la suma de errores cuadrados (SSE), respectivamente. Cada variable de respuesta, fue analizada mediante una regresión no lineal, aplicando un ajuste de mínimos cuadrados (*non-linear least squares (nls)*) (15). Además, se estimó los intervalos de confianza al 95%, aplicando el método delta para determinar diferencias estadísticamente significativas, entre la predicción de cada una de las curvas de desorción analizadas (16).

## RESULTADOS

### Análisis fisicoquímico

En la tabla 1 se presenta el promedio de la composición fisicoquímica de los lotes 1 y 2 de jamón evaluados.

**Tabla 1.** Composición fisicoquímica de jamón de cerdo cocido.

Composición	Lote 1	Lote 2
Humedad (%)	71,96 ± 0,27	72,18 ± 0,51
Grasa (%)	1,67 ± 0,08	1,88 ± 0,28
Proteína (%)	15,72 ± 0,35	15,64 ± 0,41
Almidón (%)	4,21 ± 0,68	4,41 ± 0,83
Nitritos (ppm)	113,82 ± 24,40	109,13 ± 12,07
pH	6,19 ± 0,01	6,24 ± 0,04

### Contenido de humedad en base seca

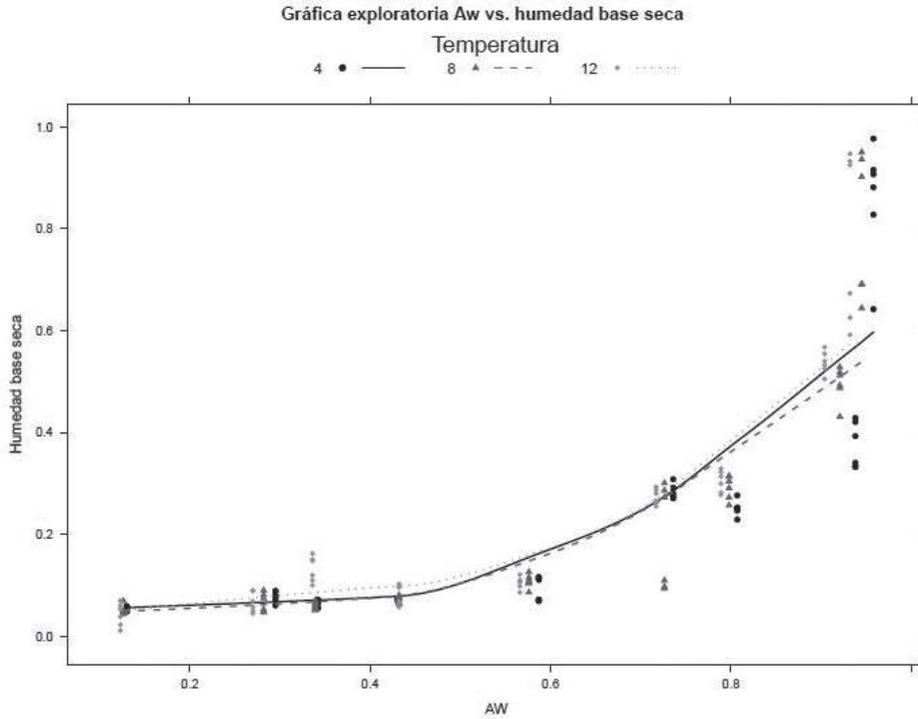
En la tabla 2 se presentan los valores del contenido de humedad en base seca en función de la  $a_w$  para las tres temperaturas de trabajo (4, 8 y 12°C). Los valores tabulados representan el promedio de las tres repeticiones realizadas a los dos lotes evaluados.

**Tabla 2.** Contenido de humedad en base seca (HBS) en función de la  $a_w$  a (4, 8 y 12°C).

Sales	Isoterma 4°C		Isoterma 8°C		Isoterma 12°C	
	$a_w$	HBS	$a_w$	HBS	$a_w$	HBS
LiCl	0,130	0,0542 ± 0,0046	0,126	0,0510 ± 0,0091	0,123	0,0425 ± 0,0226
CH <sub>3</sub> COOK	0,295	0,0776 ± 0,0105	0,282	0,0653 ± 0,0187	0,270	0,0663 ± 0,0195
MgCl <sub>2</sub>	0,342	0,0640 ± 0,0067	0,339	0,0593 ± 0,0073	0,336	0,1315 ± 0,0253
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,431	0,0716 ± 0,0028	0,432	0,0729 ± 0,0070	0,432	0,0809 ± 0,0201
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,587	0,0922 ± 0,0237	0,576	0,1076 ± 0,0131	0,566	0,1046 ± 0,0118
KI	0,736	0,2857 ± 0,0140	0,726	0,1934 ± 0,1024	0,717	0,2738 ± 0,0151
NaCl	0,807	0,2512 ± 0,0151	0,798	0,2920 ± 0,0234	0,789	0,3038 ± 0,0211
KCl	0,938	0,3746 ± 0,0447	0,921	0,4949 ± 0,0349	0,904	0,5374 ± 0,0220
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,958	0,8583 ± 0,1165	0,945	0,8024 ± 0,1410	0,932	0,7826 ± 0,1690

En la figura 1 se muestran las isotermas de desorción de jamón cocido, las cuales presentan forma sigmoide tipo III, según la clasificación establecida por Brunauer *et al*, 1940 (17). Este tipo de curvas

son muy comunes en alimentos como patata (18), mora (19), coliflor (20), menta (21) y productos cárnicos como cerdo (22, 23), ternera, cerdo cocido, curado (3) y ternera cruda (24).



**Figura 1.** Isotermas de desorción de jamón cocido a (4, 8 y 12°C).

**Modelamiento de isotermas de desorción**

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para los modelos propuestos, con sus respectivas constantes, al igual que los valores del porcentaje de error medio relativo (%E), la raíz cuadrada del error

cuadrático medio (RMSE) y la suma de errores cuadrados (SSE), respectivamente. Los modelos que mejor se ajustaron al comportamiento de los datos experimentales a las tres temperaturas de trabajo fueron: GAB, BET y Oswin.

**Tabla 3.** Estimación de ajuste de los modelos de sorción de jamón cocido a 4, 8 y 12°C.

Modelo	Parámetro	Temperatura 4°C	Temperatura 8°C	Temperatura 12°C
GAB	$X_m$	0,034	0,049	0,068
	C	-15,523	56,181	12,668
	K	0,999	0,991	0,978
	%E	26,142	19,407	27,594
	RMSE	0,095	0,068	0,068
	SSE	0,137	0,070	0,069
BET	$X_m$	0,033	0,043	0,054
	C	-14,908	-52,126	-297,984
	%E	25,420	20,067	25,655
	RMSE	0,092	0,067	0,069
	SSE	0,137	0,072	0,076

Modelo	Parámetro	Temperatura 4°C	Temperatura 8°C	Temperatura 12°C
HENDERSON	n	0,691	0,621	0,703
	f	-1,138	-1,058	-1,241
	%E	38,967	37,659	31,634
	RMSE	0,104	0,075	0,073
	SSE	0,173	0,090	0,086
CAURIE	V	147,423	293,975	113,386
	$X_s$	0,043	0,039	0,047
	%E	43,759	44,409	30,417
	RMSE	0,117	0,084	0,080
	SSE	0,219	0,114	0,102
SMITH	A	-0,500	-0,574	-0,042
	B	-0,036	-0,057	-0,042
	%E	43,072	46,758	41,115
	RMSE	0,112	0,092	0,085
	SSE	0,203	0,137	0,115
OSWIN	A	0,093	0,0094	0,123
	B	0,664	0,736	0,693
	%E	26,540	23,031	23,570
	RMSE	0,092	0,067	0,066
	SSE	0,137	0,071	0,069

En las figuras 2, 3 y 4 se presentan las curvas experimentales y predichas por los modelos (4, 8 y 12 °C) respectivamente, utilizando las seis ecuaciones propuestas.

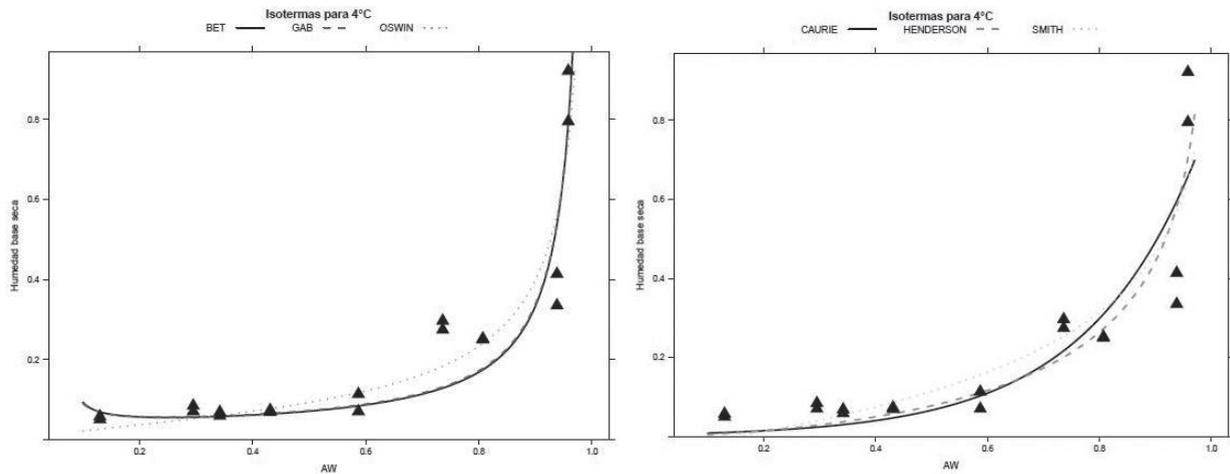


Figura 2. Modelado de Isotermas de desorción en jamón cocido a temperatura de 4°C.

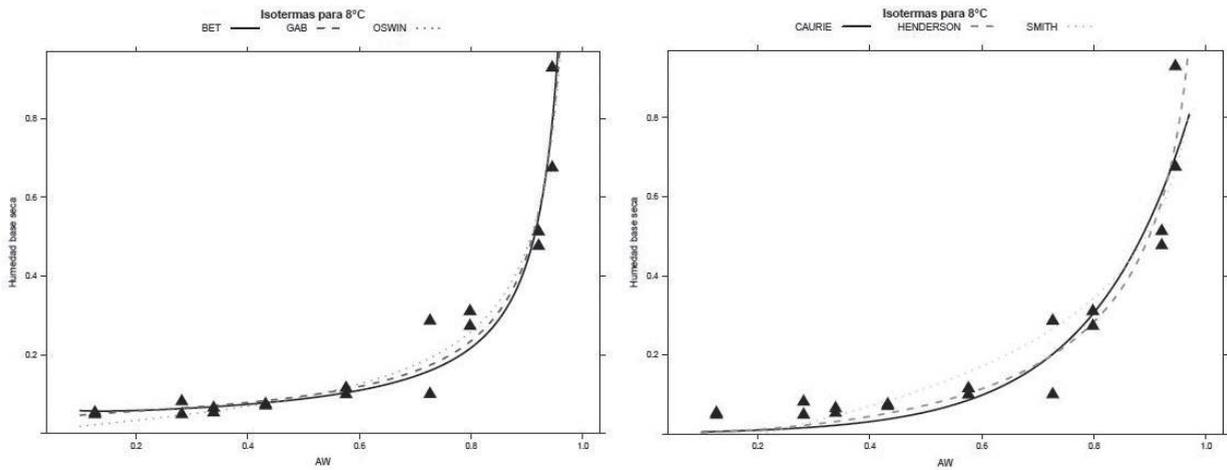


Figura 3. Modelado de Isotermas de desorción en jamón cocido a temperatura de 8°C.

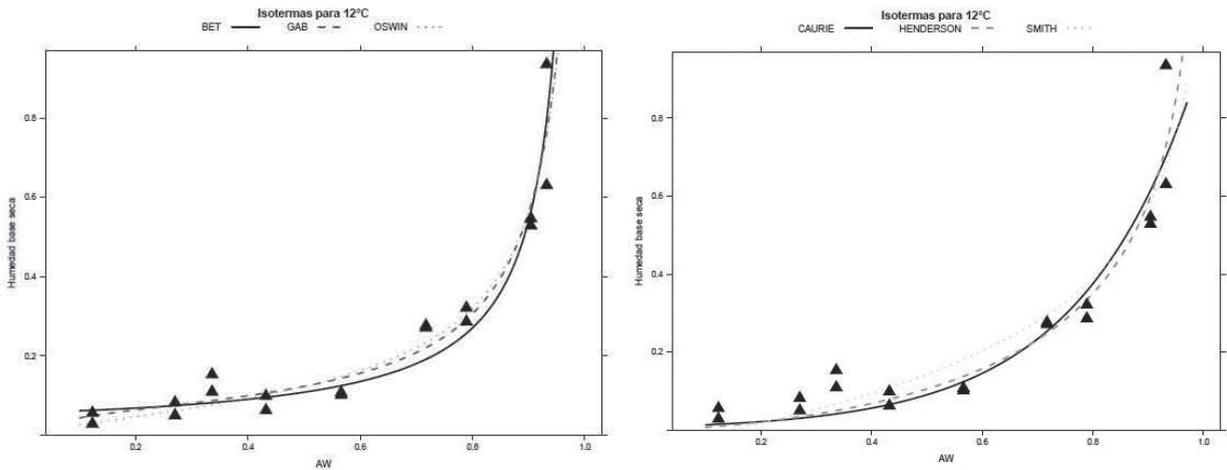
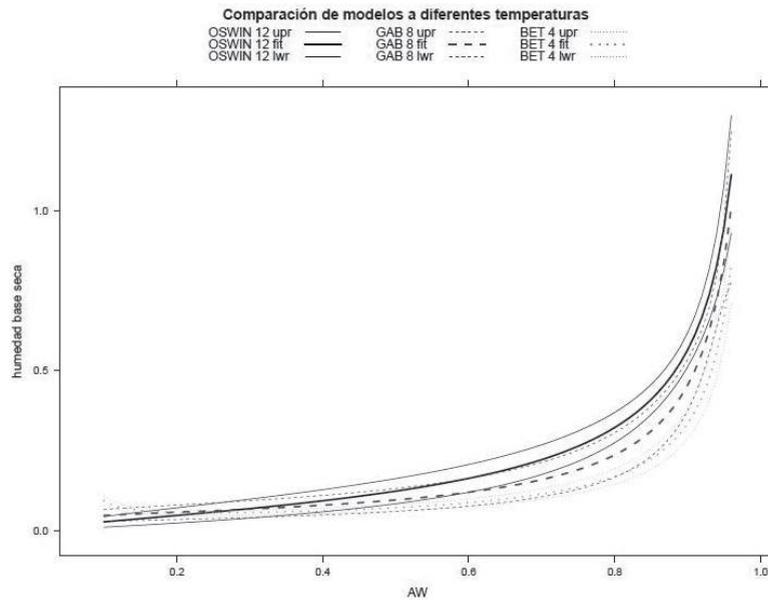


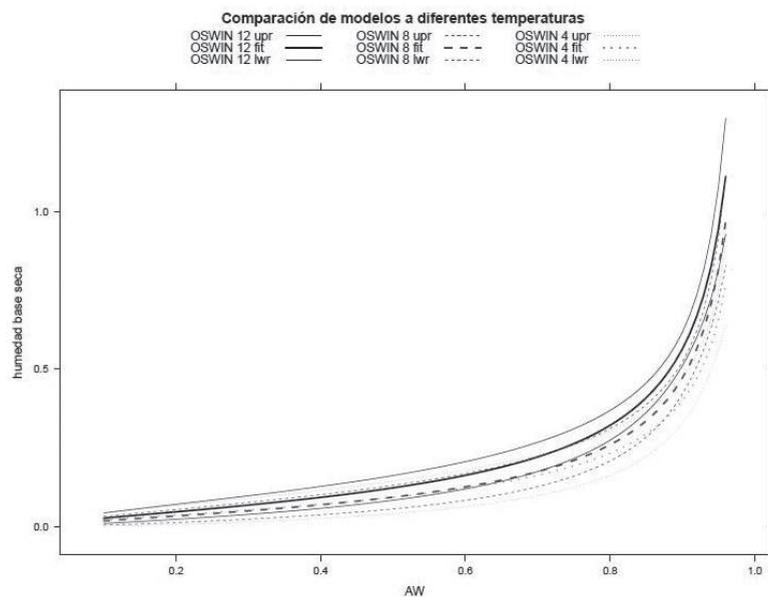
Figura 4. Modelado de Isotermas de desorción en jamón cocido a temperatura de 12°C.

En la figura 5, se presenta la comparación de los modelos (GAB, BET y Oswin) frente a las temperaturas de almacenamiento, mediante el uso de los intervalos de confianza del 95% aplicando el método delta. En la figura 6, se presenta el comportamiento del modelo de Oswin bajo las mismas condiciones de almacenamiento

Las isotermas de desorción de jamón cocido, a las diferentes temperaturas de almacenamiento, no presentaron diferencias estadísticamente significativas con un intervalo de confianza del 95% (figuras 5 y 6).



**Figura 5.** Comparación de los modelos (Oswin, GAB, BET) a las temperaturas de almacenamiento (4, 8 y 12°C).



**Figura 6.** Comparación del modelo Oswin a las temperaturas de almacenamiento (4, 8 y 12°C).

## DISCUSIÓN

### Modelamiento de isotermas de desorción

La correlación entre la  $a_w$  y la humedad de la isoterma mostró que, a medida que la proporción de agua libre del producto fue disminuyendo por efecto de la deshidratación, se hizo más compleja la pérdida de humedad, por el incremento de la proporción de agua ligada dentro de la estructura del alimento. Este comportamiento también fue

evidenciado en estudios de secado de músculos de jamón curado, carne de res, carne de cerdo curada y cocida (25).

Los modelos de GAB, BET y Oswin presentaron los mejores ajustes en las isotermas de desorción a las diferentes temperaturas de almacenamiento. El modelo de Oswin ha sido usado para describir las isotermas de desorción en productos biológicos (26, 27) y se han observado estudios similares donde este permite describir la isoterma de desorción en productos cárnicos como en el músculo de sardina a

diferentes temperaturas (28). En el modelo de GAB se observó que el valor del contenido de humedad de monocapa ( $X_m$ ) y el valor de K arrojaron resultados similares a los calculados por Clemente *et al.*, 2009, Trujillo *et al.*, 2003 y Hadrich *et al.*, 2008 para carne de cerdo congelada, carne de atún liofilizada y lomo de res; pero diferente valor de C (3, 24, 29).

No se encontró diferencias estadísticamente significativas entre las isotermas de desorción evaluadas a las tres temperaturas. Por ello, en el rango de temperatura en el que oscila la cadena de distribución del jamón cocido empacado al vacío (4°C a 12°C), no existe dependencia de la temperatura con los valores de humedad en equilibrio alcanzados. Esto puede estar asociado a que el rango de temperatura evaluado es estrecho, comparado con los deltas comúnmente encontrados en estudios de isotermas en alimentos, como por ejemplo los reportados por Trujillo, *et al.*, 2003; que alcanzan diferenciales entre curvas de sorción de hasta 10°C (24).

Para establecer un adecuado ajuste a los modelos Boquet *et al.*, 1978, recomiendan que el (%E) sea <10% (30). Sin embargo, el error medio relativo encontrado en los mejores modelos del presente estudio arrojaron un valor promedio de 24,16%, lo cual está asociado posiblemente al hecho de que las muestras fueron obtenidas de diferentes lotes de producción, favoreciendo un producto con características heterogéneas a nivel macro y microestructural, ya que cuenta con una fase tipo mezcla caracterizada por la presencia de trozos de fibra muscular heterogéneos y salmuera de inyección.

## LIMITACIONES

Debido a que en este estudio no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las isotermas de desorción del jamón cocido a las diferentes temperaturas de almacenamiento, no fue posible realizar el análisis de algunas propiedades termodinámicas como el calor isostérico y la energía de activación. En futuros trabajos se podrían realizar isotermas de desorción con deltas de temperatura mayores que permitan modelar el proceso de tal forma que sea posible obtener otros valores de interés de la matriz alimentaria a nivel termodinámico.

## CONCLUSIONES

Las isotermas de desorción experimentales de jamón cocido se determinaron a 4, 8, 12°C mediante el método recomendado por el proyecto COST 90, las cuales presentaron una forma sigmoide de tipo III.

El comportamiento de las isotermas de desorción del jamón cocido a las tres temperaturas de trabajo (4, 8 y 12°C) fue descrito usando seis modelos (GAB, BET, Oswin, Henderson, Caurie, Smith), donde los modelos de GAB, BET y Oswin fueron los más adecuados para describir la relación entre el contenido de humedad en base seca, la  $a_w$  y la temperatura.

El rango de temperatura de almacenamiento del jamón de cerdo cocido (4°C a 12°C) no presentó dependencia frente al contenido de humedad en base seca con relación a la temperatura de evaluación a un nivel de confianza del 95%.

## REFERENCIAS

1. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC 1325. Industrias alimentarias. Productos cárnicos procesados no enlatados. Quinta actualización, Bogotá: ICONTEC; 2008. 1-32 p.
2. Tomovic V, Jokanovic M, Petrovic L, Tomovic M, Tasic T, Ikonc P, Sumic Z, Sojic B, Skaljic S, Soso M. Sensory, physical and chemical characteristics of cooked ham manufactured from rapidly chilled and earlier deboned M. semimembranosus. *Meat Sci.* 2013 Jan; 93 (1): 46-52.
3. Clemente G, Bon J, Benedito J, Mulet A. Desorption isotherms and isosteric heat of desorption of previously frozen raw pork meat. *Meat Sci.* 2009 Aug; 82 (4): 413-418.
4. Delgado A, Sun D. Desorption isotherms for cooked and cured beef and pork. *J Food Eng.* 2002 Feb; 51 (2): 163-170.
5. García F, Martínez A. Evaluación de las isotermas de sorción en cereales para desayuno. *Superficies y Vacío.* 2006 Mar; 19 (1): 12-19.
6. García V, Schmalko E, Tanzariello A. Isotermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones. *RIA.* 2007; 36 (1): 115-129.
7. Montes E, Torres R, Andrade R, Pérez O, Marimon J, Meza I. Modelado de las isotermas de desorción del Ñame (*Dioscorea rotundata*). *Dyna.* 2009 Mar; 76 (157): 145-152.
8. Anderson, S. Determination of Fat, Moisture, and Protein in Meat and Meat Products by using the FOSS Artificial Neural Network Calibration Model and Associated Database: Collaborative Study, *Journal of the AOAC International.* 2007 Jul; 90 (4): 1073-1083.
9. Association of Official Analytical Chemist (AOAC). Official methods of analysis of analysis of AOAC International. 18th ed. Nitrites in cured meat (Method 973.31/2006). Chemists, Maryland, USA. AOAC.
10. COVENIN 1150-80. Carne y Productos cárnicos. Determinación del contenido total de almidón. Primera Revisión. 1998.
11. Labuza P, Tannenbaum R, Karel M. Water content and stability of flow moisture and intermediate moisture foods. *Food Technol.* 1970; 24: 543-550.

12. Association of Official Analytical Chemist (AOAC). Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. Horwitz, William, editor. Arlington, VA: AOAC International, 2002.
13. Omaña M, Cortes F, Isaza C, García A. Isotermas de sorción de agua en residuos de extracción de jugo de naranja. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2010 En-Jun; 8 (1): 61-67.
14. Gálvez A, Aravena E, Mondaca R. Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas. 2006 Oct-Dec; 26 (4): 821-827.
15. Fox J, Weisberg S. Nonlinear Regression and Nonlinear Least Squares in R. An Appendix to An R Companion to Applied Regression [internet]. Thousand Oaks, CA. [Actualizado 2010 Diciembre 13; citado 2013 septiembre 5]. Disponible en: <http://socserv.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/appendix/Appendix-Nonlinear-Regression.pdf>
16. Blanco A. Método MOVER para el cálculo de intervalos de confianza de los índices RERI, AP y SI en caso de interacción aditiva: Implementación en R y aplicación a datos reales. [Trabajo de Maestría]. [Santiago de Compostela, España]; Universidad de Santiago de Compostela. 2012. 25 p.
17. Brunauer S, Emmett H, Teller E. Adsorption of gases on multi-molecular layer. J Am Chem Society. 1938 Feb; 60 (2): 309-319.
18. Sánchez S, Sanjuán N, Simal S, Rosselló C. Calorimetric techniques applied to the determination of isosteric heat of desorption for potato. J Sci Food Agri. 1997 May; 74 (1): 57-63.
19. Maskan M, Gögüs F. Sorption isotherms and drying characteristics of mulberry (*Morus alba*). J Food Eng. 1998 Sep; 37 (4): 437-449.
20. Mulet A, García J, Sanjuán R, Bon J. Sorption isosteric heat determination by thermal analysis and sorption isotherms. J Food Sci. 1999 Jan; 64(1): 64-68.
21. Park J, Vohnikova Z, Reis-Brod P. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). J Food Eng. 2002 51(3): 193-199.
22. Comaposada J, Gou P, Pakowski Z, Arnau J. Desorption isotherms for pork meat at different NaCl contents and temperatures. Dry Technol. 2002; 18(3): 723-746.
23. Comaposada J, Gou P, Arnau J. The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. Meat Sci. 2002 Jul; 55(3): 291-295.
24. Trujillo J, Yeow P, Pham T. Moisture sorption isotherm of fresh lean beef and external beef fat. J Food Eng. 2003 Dec; 60 (4): 357-366.
25. Clemente G. Efecto de la contracción en la cinética de secado de músculos de jamón [Tesis doctoral]. [Valencia-España]; Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos; 2003. 323 p.
26. Bellagha S, Sahli A, Glenza A, Kechaou N. Isohalic sorption isotherm of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental determination and modeling. J Food Eng. 2005 May; 68 (1): 105-111.
27. Kalcemullah S, Kailappan R. Moisture sorption isotherms of Red Chillies. Biosystem Engineering. 2004 May; 88 (1): 95-104.
28. Hadrich B, Boudhrioua N, Kechaou N. Experimental and mathematical study of desorption isotherms of Tunisian Sardine (*Sardinella aurita*). Food Bioprod Process. 2008 Dec; 86 (4): 242-247.
29. Rahman S, Sablani S, Al-Ruzaiqi H, Guisan N. Water adsorption isotherms of freeze-dried tuna meat. Trans Am Soc Agri Eng. 2002; 45 (3): 767-772.
30. Boquet R, Chirife J, Iglesias H. Equations of fitting water sorption isotherms of foods. II. Evaluation of various two parameters models. J Food Technol: 1978. 13. 329-327.