

EFECTOS DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CLORURO DE SODIO SOBRE LA TRANSFERENCIA DE MASA EN EL SALADO EN PILA DE LÁMINAS DE CARNE CAPRINA

Effects of Partial Replacement of Sodium Chloride on Mass Transfer During Pile Salting of Goat Meat Sheets

Otoniel Corzo ^{1*}, Jaime Rodríguez ² y Vanessa Carolina González ³

¹Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Oriente. Guatamare. Venezuela. ²Programa de Ingeniería Pesquera. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Punto Fijo. Venezuela. ³Programa de Ingeniería Química. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Punto Fijo. Venezuela. Fax: 0295-4006571. E-mail: otocorzo@cantv.net.

RESUMEN

Se evaluó la influencia del reemplazo parcial de cloruro de sodio por otras sales en la cinética del salado en pila de láminas de carne caprina. Para ello se cortaron láminas de 4,0 cm de largo, 4,0 cm de ancho y 1,0 cm de espesor y se les determinó el peso y los contenidos de humedad y de cloruro. Seis grupos constituidos por 36 láminas cada uno se salaron en pila con NaCl, mezclas de NaCl y KCl y mezclas de NaCl, KCl, CaCl₂ y MgCl₂. Se sacaron seis láminas de cada grupo después de 1; 2; 3; 4; 5 y 6 días de salado, se pesaron y se les determinó el contenido de humedad y de cloruro. Con los datos obtenidos se calcularon las pérdidas de agua (PA), pérdidas de peso (PP) y la ganancia de cloruro (GC) en las láminas saladas, los cuales se ajustaron al modelo cinético $Y = k_1 + k_2 t^{0.5}$. Los altos coeficientes de regresión ($R^2 > 0,90$) indicaron un buen ajuste de los datos experimentales al modelo. Los valores de k_1 y k_2 fueron mayores ($P < 0,05$) para GC que para PA y PP en todos los modelos. El reemplazo parcial del NaCl por KCl, CaCl₂ y MgCl₂ incrementó ($P < 0,05$) el valor de k_1 en GC y PA y lo disminuyó ($P < 0,05$) en PP, mientras que aumentó ($P < 0,05$) los valores de k_2 en GC y en PP y los disminuyó en PA. El modelo cinético indicó que GC y PP son más rápidas que PA durante el salado, independientemente del uso de NaCl o cualquier de las mezclas analizadas.

Palabras clave: Salado en pila, mezclas de salado, cinética del salado, carne caprina.

ABSTRACT

Effects of partial replacement of sodium chloride with other salts on the kinetics of sheet pile salted goat meat were evaluated: sheets with 4.0 cm long, 4.0 cm wide and 1.0 cm in thickness were cut, weight, water and chloride contents were determined. Six groups consisting of 36 sheets in each, were salted with NaCl and mixtures of NaCl, KCl, CaCl₂ and MgCl₂. Six sheets of each group were removed after 1, 2, 3, 4, 5 and 6 days of salting, and weight and water and chloride contents were determined. With the data obtained water loss (PA), weight loss (PP) and chloride gain (GC) in the salted sheets were calculated and then were fitted to the kinetic model $Y = k_1 + k_2 t^{0.5}$. The high regression coefficients ($R^2 > 0.90$) indicated a good fit of experimental data to the model. The values of k_1 and k_2 were higher ($P < 0.05$) for GC than those for PA and PP in all models. Partial replacement of NaCl with KCl, CaCl₂ and MgCl₂ increased ($P < 0.05$) the value of k_1 for GC and PA and decreased ($P < 0.05$) for PP, while increased ($P < 0.05$) values k_2 in GC and PP and decreased for PA. Kinetics model indicated that GC and PP are faster than PA during salting, independent of using NaCl or any one of analyzed mixtures.

Key words: Pile salting, salting mixtures, salting kinetics, goat meat.

INTRODUCCIÓN

El cloruro de sodio es un ingrediente esencial en los alimentos cárnicos procesados, por su contribución a la capacidad de retención de agua, unión de las proteínas, sabor y textura [9, 13]. Debido a los efectos sobre la salud del consumidor que tie-

ne el alto contenido de sal en los alimentos [12] se ha intentado reducirlo reemplazando el cloruro de sodio por otras sales en salchichas fermentadas secas [2, 8], jamón curado ([12], bacalao (*Gadhus morhua*) salado [10], caballa (*Scomber japonicus*) salada [11] y carne (*Semimembranosus*) de cerdo (*Sus scrofa domesticus*) [1]. El reemplazo parcial del cloruro de sodio podría inducir cambios en el tiempo de salado, la penetración y difusión de las sales o el método de salado [1], además de los inherentes como el sabor, color y textura de los productos así procesados. Pocos estudios se han hecho para evaluar la cinética del salado cuando se utilizan otras sales además del cloruro de sodio [1]. La cinética permite determinar las variables del salado para obtener un producto adecuado a las necesidades del consumidor mediante un control del proceso, aspectos importantes de la industria de alimentos. El salado en pila es un proceso en el cual los cambios de masa son acelerados por el uso de capas de sal que rodean al alimento y por la presión que éstas generan. La finalidad de este estudio fue evaluar la influencia del reemplazo parcial de cloruro de sodio por cloruros de potasio, de calcio y de magnesio en la cinética del salado en pila de láminas de carne caprina (*Capra hircus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las muestras

La carne caprina utilizada provenía del cuarto trasero del animal y fue comprada en un matadero de la localidad de Punta de Cardón, estado Falcón, Venezuela. Utilizando un molde metálico se cortaron 222 láminas de 4,0 cm de largo, 4,0 m de ancho y 1,0 cm de espesor. Se determinó el peso de cada lámina utilizando una balanza Sartorius, modelo AZ3102 (Sartorius mechatronics, EUA). Para caracterizar la carne fresca se utilizaron 6 láminas en las cuales se determinaron el contenido de humedad y de cloruros [6, 7].

Salado en pila

Las 216 láminas remanentes se dividieron al azar en seis grupos constituidos por 36 láminas cada uno, que se salaron en pila con NaCl, mezclas de NaCl y KCl y mezclas de NaCl, KCl, CaCl₂ y CaCl₂ (TABLA I) en iguales proporciones a las utilizadas en el salado de lonjas de cerdo [1]. A cada una de las mezclas se les agregó 150 ppm de KNO₃ y 150 ppm de NaNO₂ como agentes de cura y en el salado se utilizaron 1,7 g de mezcla por g de carne. Para el salado se utilizó un recipiente de plástico sin drenaje, donde se colocaron dos capas de 18 láminas, cada una con una de mezcla entre ellas, sobre la capa superior y por debajo de la inferior. El salado se efectuó a temperatura ambiente (29°C). Se sacaron seis láminas después de 1; 2; 3; 4; 5 y 6 días de salado, se sacudió el exceso de mezcla sobre la superficie y se pesaron de nuevo. Luego se determinó el contenido de humedad y de cloruro total proveniente de la mezcla, según el método de Mohr y expresado como contenido de NaCl, en cada una de las láminas y su co-

TABLA I
COMPOSICIÓN DE LAS DIFERENTES MEZCLAS DE SALADO

Mezcla	NaCl (%)	KCl (%)	CaCl ₂ (%)	MgCl ₂ (%)
0	100	-	-	-
1	75	25	-	-
2	65	35	-	-
3	50	50	-	-
4	55	25	15	5
5	45	25	20	10

Mezclas 1, 2 y 3 comparan efectos de reemplazo parcial de NaCl por KCl. Mezclas 4 y 5 comparan efecto de reemplazo parcial de NaCl por CaCl₂ y MgCl₂ manteniendo constante la cantidad de KCl.

respondiente peso. Los diferentes salados se realizaron de acuerdo a un diseño factorial 6x6 (6 mezclas y 6 tiempos).

Cinética del salado

La pérdida de agua (PA) y de peso (PP) y la ganancia de cloruro (GC) en las láminas saladas se calcularon por medio de las siguientes ecuaciones:

$$PP = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \quad (1)$$

$$PA = \frac{M_0 x_{w0} - M_t x_{wt}}{M_0} \quad (2)$$

$$GC = \frac{M_t x_{ct} - M_0 x_{c0}}{M_0} \quad (3)$$

donde M₀ y M_t son los pesos inicial y al tiempo t de salado, x_{w0} y x_{wt} son las fracciones en peso de agua (g agua/g de carne) al inicio y después de un tiempo t de salado, x_{c0} y x_{ct} son las fracciones en peso de cloruro al inicio y de cloruro total después de un tiempo t de salado y proveniente de la mezcla utilizada, expresados como contenido de NaCl (g NaCl/g de carne), respectivamente.

La siguiente ecuación se propuso para explicar la cinética de salado [1]:

$$PP, PA, GC = k_1 + k_2 t^{0.5} \quad (4)$$

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza a los resultados, para encontrar los efectos del tiempo y tipo de mezcla sobre los cambios de masa durante el salado y a los 6 días de salado. Para determinar las diferencias significativas de los efectos se aplicó la comparación múltiple LSD con un 95% de nivel de confianza. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico Statgraphics 5,1 [14].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Transferencia de masa

En las FIGS. 1-3 se presentan las pérdidas de agua y peso y la ganancia de cloruro en las láminas de carne caprina durante el salado con diferentes mezclas. En ellas se puede observar que, tanto las pérdidas de agua y de peso como la ganancia de cloruro aumentaron ($P < 0,05$) al incrementarse el tiempo de salado y el reemplazo de NaCl por KCl, CaCl_2 y MgCl_2 . El análisis de varianza mostró que estos cambios de masa estaban afectados por la interacción tiempo-mezcla ($P < 0,05$) y que el comportamiento para cada mezcla era el mismo en el tiempo de salado. Durante el primer día de salado, estos aumentos fueron más pronunciados mientras que luego fueron disminuyendo a medida que se aumentó el tiempo; el mismo comportamiento fue observado durante el salado con todas las mezclas utilizadas. Estos aumentos rápidos durante el primer día probablemente se deben a mecanismos de transferencia de masa diferentes de los de difusión, tales como desnaturalización de las proteínas de la superficie de las láminas y fuerzas capilares en el lecho de secado [3]. La forma exponencial de estos cambios es típica de los procesos de salado [5]. La etapa de salado en seco implica la disolución de la mezcla y drenaje durante el proceso como una consecuencia del flujo de agua desde el interior de la lámina hacia la superficie [13].

Las pérdidas de agua y peso y la ganancia de cloruro en las láminas de carne caprina correspondientes al sexto día de secado se presentan en la TABLA II. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) en el valor de la pérdida de peso y de la pérdida de agua, en las láminas saladas durante

seis días, cuando se utilizó NaCl solo o mezclas de NaCl con KCl (25, 35 y 50%). Cuando se agregó CaCl_2 y MgCl_2 a las mezclas de NaCl y KCl, las pérdidas de peso y de agua aumentaron ($P < 0,05$) con respecto a las obtenidas con estas últimas y con NaCl. La mezcla con el mayor contenido de CaCl_2 y MgCl_2 presentó la mayor pérdida de peso ($P < 0,05$).

Se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en los valores de ganancia de cloruro cuando se utilizaron mezclas de NaCl y KCl (mezclas 1, 2, y 3) con respecto a la formulación control (100% NaCl). La ganancia de cloruro aumentó ($P < 0,05$) cuando se incrementó la cantidad agregada de KCl a NaCl. Cuando se agregó CaCl_2 y MgCl_2 a la mezcla de NaCl y KCl, la ganancia de cloruro aumentó, siendo el valor mayor para la mezcla que contenía mayores proporciones de MgCl_2 y CaCl_2 .

Parece que el reemplazo parcial de NaCl por KCl, CaCl_2 y MgCl_2 podría afectar principalmente el transporte de agua y cloruro en la transferencia de masa durante el salado, aumentando la pérdida de agua y la ganancia de cloruro.

Cinética del salado en pila

Los altos coeficientes de regresión ($R^2 > 0,90$), y ningún patrón evidente en los residuales a través del tiempo de salado indicaron un buen ajuste de los datos experimentales a las ecuaciones 1; 2, y 3 (TABLAS III-V). Se puede asumir un transporte pseudo difusional debido a la dependencia de las pérdidas de agua y de peso y de la ganancia de cloruros con la raíz cuadrada del tiempo de salado [1, 4]. La influencia de la composición de la mezcla sobre la cinética de salado se puede analizar considerando los valores de k_1 y k_2 de los modelos ajustados, k_2 representa la tasa de cambio durante el salado,

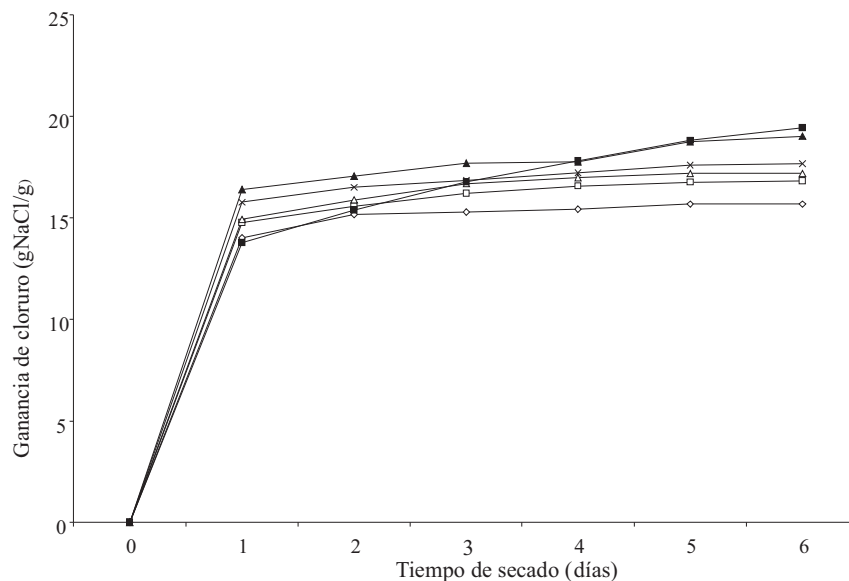


FIGURA 1. CAMBIOS EN LA GANANCIA DE CLORURO (GNaCl/G) DURANTE EL SALADO DE LÁMINAS DE CHIVO CON DIFERENTES MEZCLAS DE SALADO. (◇) 100% NaCl. (□) 75% NaCl Y 25% KCl. (△) 65% NaCl Y 35% KCl. (x) 50% NaCl Y 50% KCl. (▲) 55% NaCl, 25% KCl, 15% CaCl₂ Y 5% MgCl₂. (■) 45% NaCl, 25% KCl, 20% CaCl₂ Y 10% MgCl₂.

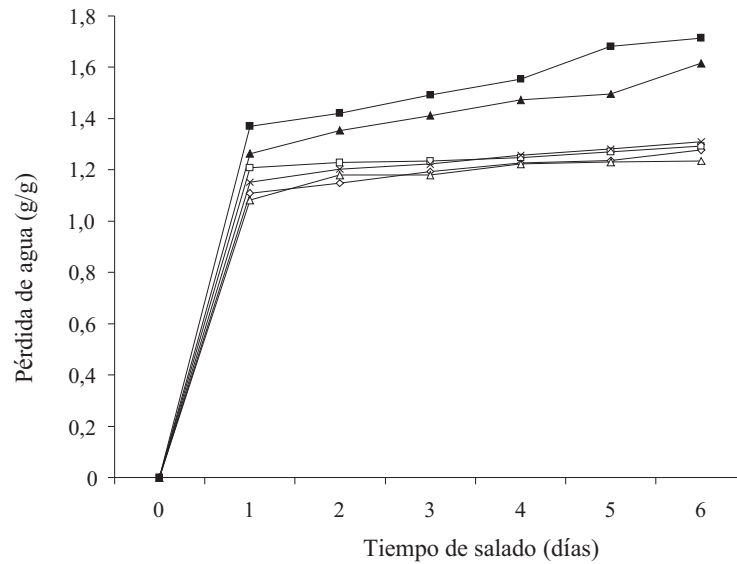


FIGURA 2. CAMBIOS EN LA PÉRDIDA DE AGUA (G AGUA/G) DURANTE EL SALADO DE LAMINAS DE CHIVO CON DIFERENTES MEZCLAS DE SALADO. (◇) 100% NaCl. (□) 75% NaCl Y 25% KCl. (△) 65% NaCl Y 35% KCl. (x) 50% NaCl Y 50% KCl. (▲) 55% NaCl, 25% KCl, 15% CaCl₂ Y 5% MgCl₂. (■) 45% NaCl, 25% KCl, 20% CaCl₂ Y 10% MgCl₂.

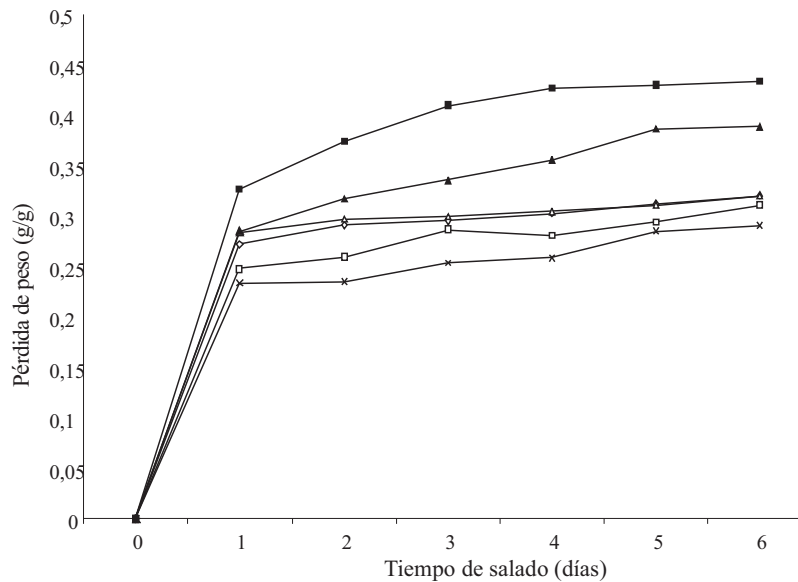


FIGURA 3. CAMBIOS EN LA PÉRDIDA DE PESO (G /G) DURANTE EL SALADO DE LAMINAS DE CHIVO CON DIFERENTES MEZCLAS DE SALADO. (◇) 100% NaCl. (□) 75% NaCl Y 25% KCl. (△) 65% NaCl Y 35% KCl. (x) 50% NaCl Y 50% KCl. (▲) 55% NaCl, 25% KCl, 15% CaCl₂ Y 5% MgCl₂. (■) 45% NaCl, 25% KCl, 20% CaCl₂ Y 10% MgCl₂.

mientras que k_1 representa los cambios en las láminas al principio del salado. Los valores de k_1 y k_2 son mayores ($P < 0,05$) para GC que para PA y PP en todos los modelos. Por otra parte, el reemplazo parcial del NaCl por KCl, CaCl₂ y MgCl₂ incrementó ($P < 0,05$) el valor de k_1 en la ganancia de cloruros y pérdida de agua, mientras que lo disminuyó ($P < 0,05$) en la pérdida de peso, lo que equivale a decir que el reemplazo de NaCl aumentó los cambios en la ganancia de cloruro y en la pérdida de agua al comienzo del salado mientras que decreció los

cambios en la pérdida de peso. El reemplazo parcial del NaCl por KCl, CaCl₂ y MgCl₂ aumentó ($P < 0,05$) los valores de k_2 en la ganancia de cloruro y en la pérdida de peso, mientras que lo disminuyó en la pérdida de agua, lo cual podría indicar que la ganancia de cloruros y la pérdida de peso son más rápidas que la pérdida de agua. Cabe destacar que el incremento en MgCl₂ en las mezclas disminuyó, tanto los valores de k_1 y k_2 en los cambios de masa. Estos resultados son similares a los encontrados en el estudio cinético del salado de cochino [1].

TABLA II
PÉRDIDA DE AGUA (PA), PÉRDIDA DE PESO (PP)
Y GANANCIA DE CLORURO (GC) EN LAS LÁMINAS
DE CHIVO SALADAS CON DIFERENTES MEZCLAS,
DESPUÉS DE 6 DÍAS DE SALADO

Mezcla	PA (g agua/g)	PP (g/g)	GC (g NaCl/g)
0	1,277 ± 0,013 ^a	0,320 ± 0,006 ^a	15,675 ± 0,07 ^a
1	1,293 ± 0,013 ^a	0,311 ± 0,006 ^a	16,823 ± 0,08 ^b
2	1,235 ± 0,013 ^a	0,329 ± 0,007 ^a	17,186 ± 0,07 ^c
3	1,310 ± 0,012 ^a	0,304 ± 0,006 ^a	17,671 ± 0,06 ^d
4	1,615 ± 0,013 ^b	0,388 ± 0,005 ^b	19,031 ± 0,07 ^e
5	1,687 ± 0,014 ^c	0,433 ± 0,006 ^c	19,437 ± 0,07 ^f

TABLA III
AJUSTE DE DATOS DE LA GANANCIA DE CLORUROS
AL MODELO $Y = k_1 + k_2 t^{0,5}$

Mezcla	Parámetro	Valor	Error estandar	Valor p	R ²
0	k ₁	12,55	0,16	< 0,0001	0,906
	k ₂	1,05	0,06	< 0,0001	
1	k ₁	13,08	0,22	< 0,0001	0,916
	k ₂	1,55	0,12	< 0,0001	
2	k ₁	13,11	0,32	< 0,0001	0,913
	k ₂	2,17	0,17	< 0,0001	
3	k ₁	13,44	0,19	< 0,0001	0,933
	k ₂	1,53	0,11	< 0,0001	
4	k ₁	14,98	0,23	< 0,0001	0,918
	k ₂	1,62	0,12	< 0,0001	
5	k ₁	11,52	0,27	< 0,0001	0,965
	k ₂	1,43	0,07	< 0,0001	

TABLA IV
AJUSTE DE DATOS DE PÉRDIDA DE AGUA
AL MODELO $Y = k_1 + k_2 t^{0,5}$

Mezcla	Parámetro	Valor	Error estandar	Valor p	R ²
0	k ₁	0,93	0,02	< 0,0001	0,928
	k ₂	0,16	0,01	< 0,0001	
1	k ₁	1,12	0,01	< 0,0001	0,927
	k ₂	0,07	0,01	< 0,0001	
2	k ₁	1,07	0,01	< 0,0001	0,914
	k ₂	0,08	0,01	< 0,0001	
3	k ₁	0,99	0,02	< 0,0001	0,914
	k ₂	0,15	0,01	< 0,0001	
4	k ₁	1,07	0,03	< 0,0001	0,950
	k ₂	0,24	0,01	< 0,0001	
5	k ₁	1,08	0,02	< 0,0001	0,949
	k ₂	0,21	0,01	< 0,0001	

TABLA V
AJUSTE DE DATOS DE LA PÉRDIDA DE PESO
AL MODELO $Y = k_1 + k_2 t^{0,5}$

Mezcla	Parámetro	Valor	Error estandar	Valor p	R ²
0	k ₁	0,269	0,011	< 0,0001	0,911
	k ₂	0,027	0,002	< 0,0001	
1	k ₁	0,236	0,010	< 0,0001	0,930
	k ₂	0,035	0,002	< 0,0001	
2	k ₁	0,252	0,010	< 0,0001	0,908
	k ₂	0,031	0,001	< 0,0001	
3	k ₁	0,202	0,010	< 0,0001	0,901
	k ₂	0,034	0,002	< 0,0001	
4	k ₁	0,187	0,014	< 0,0001	0,906
	k ₂	0,098	0,001	< 0,0001	
5	k ₁	0,271	0,012	< 0,0001	0,903
	k ₂	0,083	0,001	< 0,0001	

CONCLUSIONES

El reemplazo parcial de NaCl por KCl, CaCl₂ y MgCl₂ afecta principalmente el transporte de agua y cloruro durante el salado en pila, aumentando las pérdidas de agua y de peso y la ganancia de cloruro. El modelo cinético propuesto para explicar el salado en pila explica más del 90% de los cambios en la ganancia de cloruros, pérdida de agua y pérdida de peso, utilizando NaCl solo y mezclas de NaCl, KCl, CaCl₂ y MgCl₂. Dicho modelo indica que el reemplazo de NaCl por las sales analizadas aumentó los cambios en la ganancia de cloruro y en la pérdida de agua al comienzo del salado, mientras que decreció los cambios en la pérdida de peso, y que la ganancia de cloruros y la pérdida de peso son más rápidas que la pérdida de agua durante el salado. Este modelo permite determinar el tiempo de salado para obtener un cambio de masa deseado, o el cambio de masa cuando se efectúa el salado por un tiempo dado, utilizando NaCl o una de las mezclas; así se pueden controlar las características del producto y las variables del salado mediante un proceso más adecuado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALIÑO, M.; GRAU, R.; BAIGTS, D.; BARAT, J. M. Influence of sodium replacement on the salting kinetics of pork loin. **J. Food Eng.** 95: 551–557. 2009.
- [2] ANDRÉS, A.I.; CAVA, R.; VENTANAS, J.; MURIEL, E.; RUIZ, J. Lipid oxidative changes throughout the ripening of dry-cured Iberian hams with different salt contents and processing conditions. **Food Chem.** 84 (3): 375–381. 2004.

- [3] BARAT, J. M.; RODRÍGUEZ-BARONA, S.; ANDRÉS, A.; FITO, P. Cod salting manufacturing analysis. **Food Res. Intl.** 36(5): 447-453. 2003.
- [4] BARAT, J. M.; GALLART-JORNET, L.; ANDRES, A.; AKSE, L.; CARLEHO, M.; SKJERDAL, O. T. Influence of cod freshness on the salting, drying and desalting stages. **J. Food Eng.** 73: 9–19. 2006.
- [5] BELLAGHA, S.; SALÍ, A.; FARHAT, A.; KECHAOU, N.; GLENZA, A. Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling. **J. Food Eng.** 78: 947–952. 2007.
- [6] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 1223-02. Alimentos: Determinación de sal. 2002.
- [7] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 1120-97. Alimentos: Determinación de humedad. 1997.
- [8] GELABERT, J.; GOU, P.; GUERRERO, L.; ARNAU, J., Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages. **Meat Sci.** 65: 833–839. 2003.
- [9] GRAIVER, N.; PINOTTI, A.; CALIFANO, A.; ZARITZKY, N. Diffusion of sodium chloride in pork tissue. **J. Food Eng.** 77: 910-918. 2006.
- [10] MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, O.; BORDERÍAS, A. J.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. Sodium replacement in the cod (*Gadhus morhua*) muscle salting process. **Food Chem.** 93: 125–133. 2005.
- [11] PARK, J. N.; HWANG, K. T.; KIM, S. B.; KIM, S. Z. Partial replacement of NaCl by KCl in salted mackerel (*Scomber japonicus*) fillet products: effect on sensory acceptance and lipid oxidation. **Intl. J. Food Sci. Technol.** 44: 1572–1578. 2009.
- [12] RUUSUNEN, M.; PUOLANNE, E. Reducing sodium intake from meat products. **Meat Sci.** 70: 531–541. 2005.
- [13] TOLDRÁ, F. Manufacturing of Dry-Cured Ham. In: **Dry Cured Meat Products**. Food & Nutrition Press, Inc. Trumbull, CT. USA. 244 pp. 2002.
- [14] STATGRAPHICS. Guide user's guide. Version 5.1 plus Windows. Statpoint Technologies, Inc. Warrenton. USA. 114 pp. 2004.