DIFUSIVIDAD EFECTIVA DEL AGUA EN EL TEJIDO MAGRO DEL JAMÓN DURANTE EL PROCESO DE SECADO.

J. COMAPOSADA, E. SUNYER , P. GOU*.

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Unitat de Tecnologia de Processos.

Centre de Tecnologia de la Carn. Granja Camps i Armet. 17121 Monells, GIRONA

INTRODUCCIÓN

La velocidad de secado es un parámetro primordial en el proceso de elaboración de jamón curado, dependiendo tanto de las condiciones ambientales como del movimiento de agua en el interior del jamón y en su capa límite (González-Méndez *et al.*, 1983). Aunque el mecanismo de transferencia de masa en alimentos es complejo, con frecuencia se consideran modelos de difusión. Con este fin, la segunda ley de Fick se ha utilizado para modelizar el proceso de deshidratación en diferentes productos cárnicos (Mulet *et al.*, 1992).

El presente estudio está enmarcado en un proyecto cuyo objetivo es estudiar el movimiento del agua en las diferentes partes del jamón (piel, grasa y músculos) con el objetivo final de modelizar la deshidratación en función de las diferentes condiciones de contorno (temperatura y humedad relativa del aire secante). El objetivo concreto de este estudio es la determinación de la difusividad efectiva en uno de los músculos del jamón (*Gluteus medius*) en las direcciones longitudinal y transversal a la dirección de las fibras musculares y en las siguientes condiciones de contorno: 5 °C de temperatura, 80% de humedad relativa y velocidad del aire despreciable.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se tomó una muestra del músculo *Gluteus medius* en 6 jamones. Las muestras fueron cortadas en forma de paralepípedo de aproximadamente 3x4x5,5 cm. Para asegurar la dirección del movimiento del agua en las muestras se cubrieron las caras paralelas a la dirección del agua con una lámina de polietilén-poliamida pegada con acetato de polivinilo. Se prepararon tres muestras para cada una de las dos direcciones a estudiar: longitudinal y transversal a la dirección de las fibras musculares.

Las muestras fueron saladas por inmersión en una salmuera saturada durante 4,5 horas a 4 °C. Posteriormente, fueron secadas en una célula de secado experimental mantenida a 5 °C y donde el aire de secado era conducido a través de un filtro de gel de sílice para mantener la humedad relativa al 80%. La velocidad del aire era despreciable.

Se determinó el pH inicial de cada muestra por medio de un pH-metro de laboratorio a 14 °C. El contenido de humedad se obtuvo secando las muestras a 103 °C hasta alcanzar peso constante (A.O.A.C., 1980). El contenido de sal (NaCl) se determinó utilizando el método de Charpentier-Volhard (A.O.A.C., 1980). La velocidad de secado fue determinada pesando las muestras periódicamente (cada 2-3 días).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH medio de la carne fue de 5,5, el contenido de humedad medio de las muestras al final de la prueba de secado fue del 45,2%, y el contenido de sal medio de las muestras fue del 10,0% (m.s.).

Se admite que el movimiento del agua dentro de las muestras sigue una dirección y siempre de acuerdo con el mismo mecanismo durante el periodo considerado. El proceso se describe mediante la ecuación de Fick (Ecuación 1).

$$\frac{\partial w}{\partial \theta} = -\mathrm{Def}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \qquad (1)$$

donde w representa el contenido de humedad local.

Para permitir la separación de las variables, se considera la humedad en forma adimensional. Asumiendo las mismas condiciones de contorno en el equilibrio con la superficie y simetría, la solución tiene lugar en forma de desarrollo de series. Asumiendo un periodo de tiempo suficientemente largo, solamente se considera el primer término de la serie. Integrando se obtiene la ecuación para modelizar el contenido medio de humedad (Ecuación 2).

$$\ln\left(\frac{W - We}{Wo - We}\right) = \frac{-\pi^2 \mathrm{Def}}{4r^2} \cdot \theta \qquad (2)$$

El valor de We se estimó en 0,528, obtenido de CYTED-D (1990).

Los resultados experimentales se representan en un gráfico de acuerdo con la ecuación 2, obteniendo así una línea recta (Figura 1 y Figura 2).

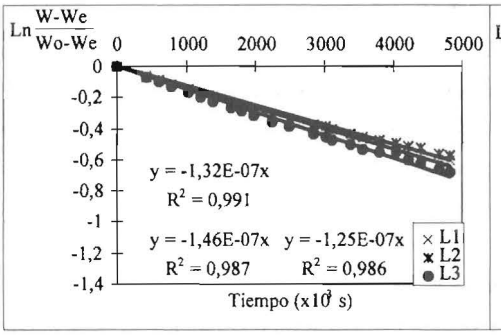


Figura 1. Secado en sentido longitudinal a la dirección de las fibras.

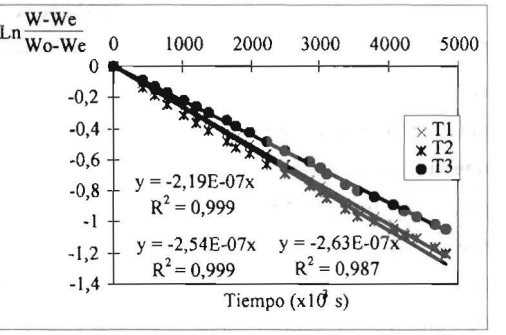


Figura 2. Secado en sentido transversal a la dirección de las fibras.

Las diferencias entre las pendientes son debidas a la variación experimental y a las diferentes dimensiones de cada muestra. Como se muestra en las figuras precedentes, una línea recta se adapta bien a los resultados experimentales ($R^2 > 0,98$). Estos resultados muestran que es razonable asumir el mecanismo de difusión del agua en el sólido (Perry y Chilton, 1973). A partir de la pendiente es posible obtener los valores de Def (Tabla 1).

Tabla 1. Difusividad efectiva del agua en el músculo *Gluteus medius* (L: longitudinal; T: transversal).

MUESTRA	PENDIENTE	DIMENSIÓN r (m)	DIFUSIVIDAD (m^2/s)	Def media (m^2/s)
L1	-1,32E-07	0,033	5,72E-11	6,11E-11
L2	-1,25E-07	0,036	6,60E-11	
L3	-1,46E-07	0,032	6,00E-11	
T1	-2,54E-07	0,019	3,54E-11	3,07E-11
T2	-2,63E-07	0,018	3,31E-11	
T3	-2,19E-07	0,016	2,36E-11	

Las difusividades efectivas medias son significativamente diferentes en las dos direcciones estudiadas. Por tanto, en la modelización de la deshidratación del músculo *Gluteus medius* deberían considerarse los coeficientes de difusividad efectiva en la dirección longitudinal y transversal a la dirección de las fibras musculares. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Gou *et al.* (1996), quienes determinaron la difusividad efectiva en el mismo músculo, pero con un mayor contenido de sal (30,5% en base seca), secando a una temperatura más elevada (13 °C).

NOTACIÓN

θ	tiempo	s
Def	difusividad efectiva	m^2/s
r	dimensión característica	m
w	contenido de humedad local	kg agua/kg m.s.
W	contenido medio de humedad	kg agua/kg m.s.
We	contenido de humedad de equilibrio	kg agua/kg m.s.
Wo	contenido crítico de humedad	kg agua/kg m.s.
x	distancia en el eje de las X	m

REFERENCIAS

A.O.A.C. (1980). Official Methods of Analysis, 13th ed.

CITED-D (1990). Inst. Polit. Nac., México, pp 557.

González-Méndez, N.; Gros, J.B. y Poma, L.P. (1983). Génie Alimentaire, 4 (1), 35-41.

Gou, P.; Mulet, A.; Comaposada, J.; Benedito, J. y Arnau, J. (1996). DRYING'96. Vol. B.

Mulet, A.; Berna, A.; Rosselló, C.; Cañellas, J. y López, N. (1992). DRYING'92. Vol. B.

Perry, J.H. y Chilton, C.H. (1973). Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill Book Co., New York.