

## DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN CARNE DE ALPACA (*Lama pacos*) EN CONGELACIÓN

*Determination of Thermal conductivity of Alpaca (*Lama pacos*) in freezing process*

Huamán N. L.<sup>1,\*</sup>, Ancco T.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universidad Nacional de Moquegua, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Moquegua, Peru,

\*Autor para correspondencia, e-mail: nhuamanc@unam.edu.pe

---

### RESUMEN

La tendencia de producir alimentos de alto valor nutritivo, y que su procesamiento sea de muy buena calidad, que conlleve a una mayor vida útil del alimento, conduce a estudiar las propiedades térmicas de la carne de alpaca en congelación, en este trabajo se reportan mediciones de conductividad térmica en 5 diferentes cortes anatómicos en carcasas de carne de alpaca machos y hembras de saca, durante su proceso de congelación a  $-18^{\circ}\text{C}$ , el método empleado fue la técnica de la fuente lineal de calor. Los resultados obtenidos indican que los valores varían entre 0,85 y 1,21  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los 5 cortes anatómicos, lo que indica que la composición, orientación del musculo, estructura del tejido y humedad influyen directamente en esta propiedad térmica. Los valores son menores a la conductividad térmica de la carne de cerdo, la cual tiene mayor contenido de humedad y tenorgraso.

**Palabras clave:** Alpaca, Conductividad térmica, carne, propiedades térmicas.

### ABSTRACT

The tendency to produce food of high nutritional value, and its processing is very good quality, which may shelf life of food, leads to study the thermal properties of alpaca meat in freezing, in this work we report measurements thermal conductivity in 5 different anatomical cuts of meat carcasses of male and female alpaca out during the process of freezing at  $-18^{\circ}\text{C}$ , the method was the technique of linear heat source. The results indicate that the values vary between 0.85 and 1.21  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$  Statistically significant differences between the 5 anatomical parts, indicating that the composition, orientation of the muscle, tissue structure and humidity directly influence the thermal properties. The values are lower than the thermal conductivity of pork meat, which has a higher moisture content and fat content.

**Keywords:** Alpaca, thermal conductivity, meat, thermal properties.

## INTRODUCCIÓN

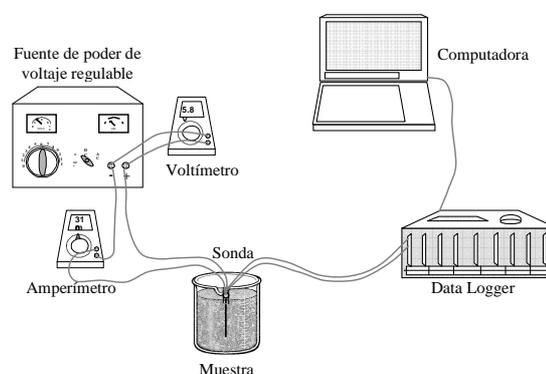
La carne de alpaca (*Lama pacos*) es conocida como una carne magra, de muy buenas propiedades nutricionales y organolépticas, la cual se enfrenta a nuevos retos como la exportación, pero es un alimento muy perecible y como tal su composición química exige para su conservación condiciones adecuadas que le permitan ampliar su durabilidad (Cristofanelliet al., 2005). La crianza de alpacas y llamas constituye una actividad económica de gran importancia para un vasto sector de la población alto andina, principalmente de Perú y Bolivia. Se estima que alrededor de 500 mil familias campesinas de la Región andina dependen directamente de la actividad con camélidos sudamericanos, además de otras que se benefician indirectamente de ella. (Tellez, 1992). La carne de alpaca es considerada saludable debido a que su carcasa tiene un bajo contenido de grasa (0.49%) y un bajo nivel de colesterol (51mg/100g) en comparación a otras carnes rojas (Cristofanelliet al., 2005). La carne es el tejido muscular que se utiliza en la alimentación en forma directa o procesada. Para la obtención de una materia prima adecuada se necesita un buen conocimiento de los tejidos musculares, de sus modificaciones después de la matanza. Debido a su composición química su vida útil es crítica debido a las diversas modificaciones bioquímicas que sufre, por ello una de las soluciones más ampliamente difundidas es la congelación (Paltrinieri y Marco, 1991). La transferencia de calor en estado no estacionario nos permite predecir las velocidades de enfriamiento y calentamiento de productos de diversos tipos de geometrías, con objeto de estimar el tiempo requerido para alcanzar ciertas temperaturas deseadas (Geankoplis, 1998). Para hacer eficiente el proceso de congelación del producto se requiere conocer la conductividad térmica del mismo, el desconocimiento de esta importante propiedad térmica conlleva a un ineficiente control de proceso. Lo que puede traer como consecuencia alteraciones físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales en el producto (Heldman, 1983).

La conductividad térmica,  $k$  [ $W m^{-1} °C^{-1}$ ], se interpreta como la cantidad de flujo de calor por unidad de tiempo y el área perpendicular a la dirección del flujo térmico (Mohsenin, 1980). Sin embargo todas las propiedades térmicas como la difusividad, conductividad, calor específico y densidad son sensibles a su cantidad de agua, de grasa, tipo de musculo, porosidad (James and James, 2002). En la carne de alpaca, el contenido de agua de alrededor de 74% puede cambiar considerablemente debido a múltiple factores tales como la edad del animal, su régimen de alimentación (Cristofanelliet al., 2005). Así la conductividad térmica puede variar en los diferentes cortes de la carcasa y de un animal a otro (Sahiny Gülüm Sumnu, 2006). Así, el objetivo del presente trabajo de

investigación es la determinación de la conductividad térmica de 5 cortes anatómicos de carne de alpaca macho y hembra de saca durante el proceso de congelación para ayudar en el diseño y mejoramiento de los sistemas de conservación y de procesamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

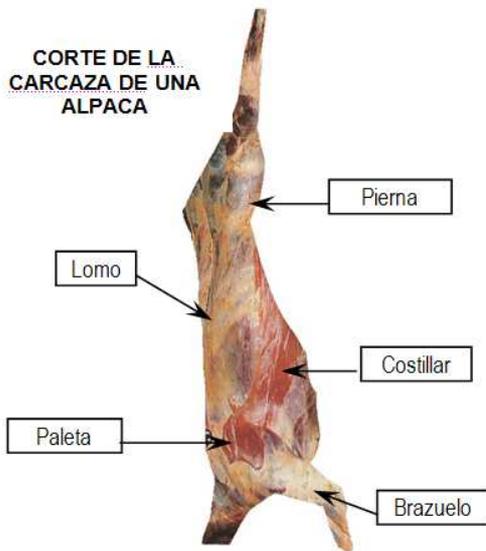
La materia prima utilizada fue 10 kg de carne de alpaca macho (5 kg) y hembra (5 kg), clasificada como carne de saca y/o adulto entre 5 años de edad. La carne fue adquirida en el mercado local de la ciudad de Puno, Perú. El contenido de humedad fue determinado en alrededor de 70%. Este valor se encuentra cerca de los valores de humedad determinados por Cristofanelli et al. (2005). La Figura 1, presenta el equipo especialmente armado para determinar la conductividad térmica, el cual consiste en una aguja hipodérmica (sonda) de 0.0502 m de longitud, y 0.00053 m de diámetro interno, la cual tiene colocada en el centro una termocupla tipo T (cobre constantano de 0.000127 m de diámetro). Se impide el contacto entre la termocupla y la pared interior de la aguja mediante una capa de epóxido. La aguja es energizada mediante un alambre de constatan que atraviesa su longitud y es soldada a la punta. La fuente de Poder entrega una corriente continua de 3 a 4 Voltios.



**Figura 1.** Esquema del equipo empleado para la medición de la difusividad térmica

La aguja hipodérmica es colocada al interior de la muestra para los 5 cortes anatómicos de carne de alpaca congelada  $-18°C$  (Figura 2), se procede a energizarla y la variación de la temperatura en función del tiempo es registrada en el sistema de adquisición de datos (data logger). La frecuencia de lecturas fue de 30 lecturas por segundo por un lapso de tiempo de 60 segundos. La intensidad y voltaje fueron leídos en dos multímetros. El

diseño tiene como base el trabajo reportado por Sweat y Haugh (1974), el cual utiliza el principio de la teoría de la prueba de conductividad termal o técnica de la fuente lineal de calor. Que consiste en una fuente lineal de calor (sonda o alambre caliente), la cual es introducida en una muestra que tiene una temperatura constante. La fuente lineal es entonces calentada a una tasa constante y la temperatura adyacente a la fuente lineal de calor es registrada. Un gráfico de la temperatura en función del logaritmo natural del tiempo, muestra una tendencia lineal, y la pendiente de esa recta es utilizada para calcular la conductividad térmica.



**Figura 2.** Esquema de la carcasa de alpaca y de los cortes anatómicos empleados (Télléz, 1992).

Esta teoría relaciona el aumento de la temperatura de un medio homogéneo infinito causado por una fuente lineal de calor de potencia constante interior. La expresión que gobierna este proceso es indicada en la ecuación (Dutta, 1988).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right] \quad \text{Ec. 1}$$

Donde, la solución para la temperatura está dada por:

$$T = \frac{Q}{2\pi k} I_0(rn); \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

$$n = \frac{1}{2} (\alpha t)^{-\frac{1}{2}}$$

Y la función de BesselI(rn) está dada por la Ecuación 3.

$$T_2 - T_1 = \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad \text{Ec. 3}$$

$$T = \frac{Q}{2\pi k} [A - \ln(rn)] \quad \text{Ec. 4}$$

Partiendo de esta Ecuación4,despejando la conductividad térmica (k), se obtiene una nueva Ecuación 5, que nos permite determinar los perfiles de temperatura en función del logaritmo natural del tiempo (Sweat y Haugh,1974). Por lo tanto:

$$k = \frac{Q}{4\pi\Delta T} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad \text{Ec. 5}$$

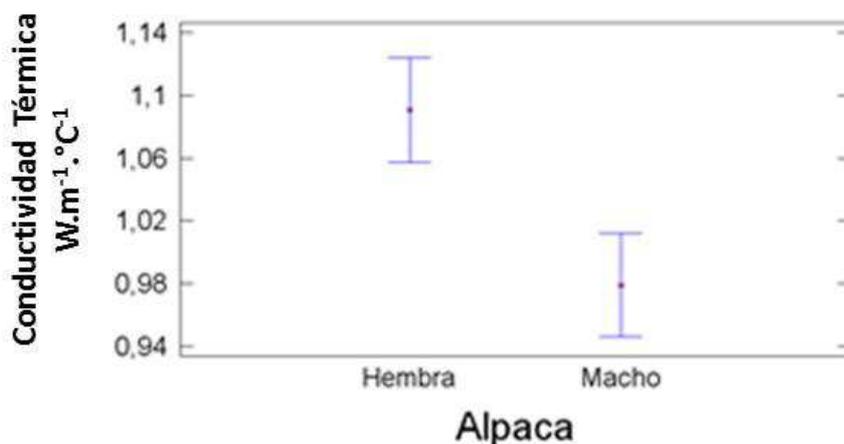
Donde, k: conductividad termal (W m<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>), Q : potencia consumida por la fuente lineal de calor (W m<sup>-1</sup>), ΔT: variación de temperaturas (°C), t: Tiempo de medición.

Los resultados fueron analizados estadísticamente empleando un Diseño Factorial Completo al Azar y se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan para observar la existencia de grupos homogéneos de datos.

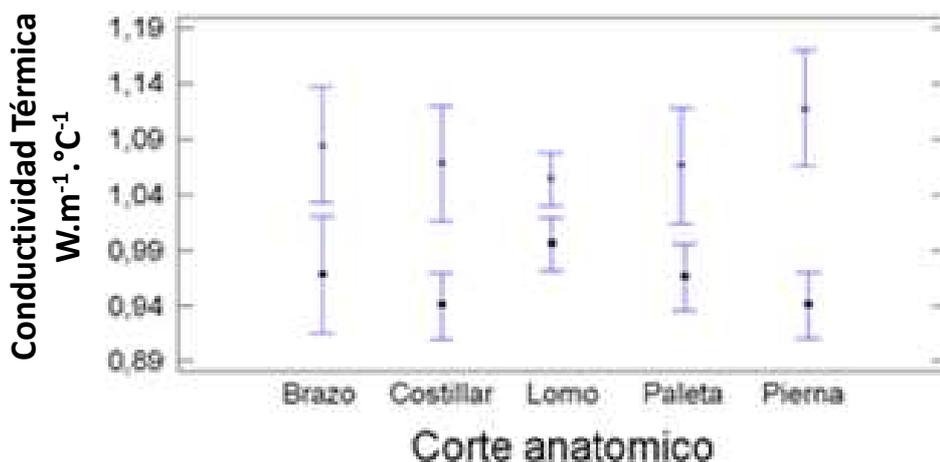
**RESULTADOS Y DISCUSION**

En la Figura 3 se presentan los valores de la conductividad térmica calculada a partir de la Ecuación 5, la Figura nos muestra el promedio para diferentes cortes de carcasa de carne de alpaca (machos y hembras) en congelación. El análisis estadístico nos indica que si existe diferencias significativas entre alpacas machos y hembras. Los valores son superiores a un 18%.

La Figura 4. Nos muestra los promedios de la conductividad térmica para cada los 5 cortes anatómicos de carne de alpaca macho y hembra, donde el mayor valor de conductividad térmica k corresponde al corte anatómico de costillar de la alpaca hembra, mientras que el menor valor corresponde al corte anatómico lomo de la alpaca macho.



**Figura 3.** Promedio y desviación estándar de la conductividad térmica en de carne de alpaca macho y hembra, determinada a  $-18 \pm 0,1$  °C.



**Figura 4.** Promedio y desviación estándar de la conductividad térmica en 5 cortes anatómicos de carne de alpaca macho (●) y hembra (\*), determinada a  $-18 \pm 0,1$  °C.

Corte anatomico	Grupos Homogéneos	
	M	H
Lomo	X	
Paleta	XX	
Costillar	XX	
Brazo	XX	
Pierna		X

Dónde: M (Macho); H (Hembra)

**Cuadro 1:** Grupos homogéneos de conductividad térmica en 5 cortes anatómicos de carcasas de carne de alpaca machos y hembras.

La conductividad térmica en los cortes de pierna, brazo y costillar de animales hembras es mayor que para los animales machos. En el corte anatómico del lomo los valores hallados son similares para ambos géneros. Sin embargo Mohsenin (1980). Nos indica que en el caso de materiales biológicos, la dependencia de la conductividad es la estructura celular, densidad y humedad. Bustinza (1993) nos menciona que los dos tipos de carcasa (macho y hembra), tienen un comportamiento similar cuando las muestras son sometidas al mismo nivel de temperatura (-18°C), lo cual concuerda en parte con nuestros resultados.

En comparación con la conductividad térmica de la carne magra de cerdo a una humedad de 75% y temperatura de -18°C es de  $0.54 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (Siebel, 1992), que es menor al valor reportado en carne de alpaca en este trabajo de investigación, los valores de conductividad térmica de carne de alpaca encontrados son menores, ya que su contenido de humedad es mas bajo (alrededor de 70%). Por otra parte, el contenido de grasa es de solamente de 0.49 % mientras que la carne de cerdo tiene 6%. Además la conductividad térmica de la grasa es de aproximadamente 6 veces menor que la conductividad de la carne ( $\approx 0.25 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) (James y James, 2002). Este menor contenido de agua y de grasa explicaría los resultados de conductividad térmica de la carne de alpaca. Los diferentes tipos de agua (libre y ligada por ejemplo) presentes en la carne y la posición relativa de los músculos en las diferentes partes anatómicas, así como la absorción monomolecular y la microcapilaridad también pueden ser la causa de esta diferencia (Kerry et al., 2002).

La gran amplitud de la valores de la desviación estándar de la conductividad térmica puede estar causada por la manipulación de las muestras en el momento de la carga y acomodo durante la evaluación de las fuente lineal de calor.

El Cuadro 1. Nos muestra la existencia de grupos homogéneos en los diferentes cortes anatómicos estudiados de los 5 cortes anatómicos de alpacas machos y hembras.

Este análisis nos muestra que pueden existir valores similares entre cortes anatómicos aun de diferentes géneros, esto probablemente debido a la composición, a la estructura del tejido y a la orientación de las fibras en los músculos de la carne en las diferentes partes anatómicas del animal.

### CONCLUSIONES

La conductividad térmica alcanza valores entre 0.90 y  $1.10 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  existiendo diferencias estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95%, entre géneros (machos y hembras) y en cada corte anatómico de carne de alpaca de saca, entonces cada corte anatómico es un parámetro distinto por las propiedades particulares que este posee, esta propiedad es inversamente proporcional a la temperatura, a mayor temperatura menor conductividad térmica y viceversa. Los resultados indican que la composición, orientación del músculo, estructura del tejido y humedad influyen directamente en esta propiedad.

**BIBLIOGRAFIA**

- BUSTINZA, V. (1993). *La Alpaca*. Editorial Universitaria Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- CARSLAW, H. S., JAEGER J. C. (1959). *Conduction of heat in solids*. Oxford University Press, USA.
- CRISTOFANELLI, S., ANTONINI, M., TORRES, D., POLIDORI, P., & RENIERI, C. (2005). Carcass characteristics of peruvian llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*) reared in the Andean highlands. *Small Ruminant Research*, 58, 219–222.
- HELDMAN C. J. (1983). Factors influencing food freezing rates. *Food Technol.* 37:103-109.
- JAMES, S. J., JAMES, C. (2002). *Meat refrigeration*. CRC Press.
- KERRY, J., KERRY, J., LEDWARD, D. (2002). *Meat processing: Improving quality*. CRC Press.
- NEELY, K., TAYLOR, C., PROSSER, O., & HAMLIN, P. F. (2001). Assessment of cooked alpaca and llama meats from the statistical analysis of data collected using an “electronic nose”. *Meat Science*, 58, 53–58.
- SALVÁ, B. K., ZUMALACÁRREGUI, J. M., FIGUEIRA, A. C., OSORIO, M. T., MATEO, J. (2009). Nutrient composition and technological quality of meat from alpacas reared in Peru., *Meat Science*, Accepted Manuscript
- SAHIN, S., GÜLÜMSUMNU, S. (2006). *Physical Properties of Foods*, Springer, USA, pp. 107.
- SWEAT, V. E. Y HAUGH, C. (1974). A thermal conductivity probe for small food materials. *Transactions of the ASAE* 17: 56-58.
- TÉLLEZ V. J. (1992). *Tecnología e industrias cárnicas*. Artes Gráficas Espino. Lima, Perú