

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN DE CARNE MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE CURVAS HUMEDAD VS. TIEMPO

STUDY OF MEAT DEHYDRATION KINETICS BY DEVELOPING HUMIDITY VS. TIME CURVES

Daniel Alejandro Luna Velasco¹, Cristian Paul Herrera Alvarado², Karen Lisseth Moyano Orozco³

{daniel.luna@unach.edu.ec¹, cristianpaul129@gmail.com², karenmoyanosmj92@gmail.com³}

Fecha de recepción: 18/06/2025 / Fecha de aceptación: 25/06/2025 / Fecha de publicación: 01/07/2025

RESUMEN: La deshidratación de carne es un proceso clave para garantizar la seguridad alimentaria, especialmente en la provincia de Chimborazo, Ecuador, donde existe un alto consumo de este alimento. El presente estudio se enfocó en optimizar dicho proceso mediante el análisis de la relación entre el contenido de agua y el tiempo de secado, con el fin de minimizar pérdidas posprocesamiento y asegurar la calidad del producto final. La deshidratación, aunque tradicional, ha evolucionado con el uso de tecnologías modernas como el control de temperatura y humedad. Este estudio se centró en la carne de res, evaluando la cinética de secado a temperatura constante (60 °C) en cortes de diferentes espesores (2.5, 3, 6 y 7 mm), para identificar los factores que inciden en la eficiencia del proceso. Se empleó un diseño experimental en el que se midió la humedad residual en función del tiempo, aplicando análisis de regresión polinómica y pruebas de Tukey ($p < 0,05$) para identificar diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados mostraron que los cortes más delgados (2.5 mm) alcanzaron el 35 % de humedad en 117 minutos, mientras que los más gruesos (7 mm) requirieron 279 minutos. Se concluye que el espesor del corte influye directamente en la velocidad de secado, siendo un factor determinante en la transferencia de masa. Esta información es útil para mejorar la eficiencia del proceso de secado de carne en condiciones controladas.

Palabras clave: *Cárnicos, deshidratación, espesores, velocidad*

ABSTRACT: Meat dehydration is a key process for ensuring food safety, especially in the province of Chimborazo, Ecuador, where meat consumption is high. This study focused on optimizing this process by analyzing the relationship between water content and drying time,

¹Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-3574-526X>.

²Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-4488-8980>.

³Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-2586-466X>

in order to minimize post-processing losses and ensure the quality of the final product. Dehydration, although traditional, has evolved with the use of modern technologies such as temperature and humidity control. This study focused on beef, evaluating the drying kinetics at a constant temperature (60°C) in cuts of different thicknesses (2.5, 3, 6, and 7 mm) to identify the factors that influence process efficiency. An experimental design was used in which residual moisture was measured as a function of time, applying polynomial regression analysis and Tukey tests ($p < 0.05$) to identify significant differences between treatments. The results showed that the thinnest cuts (2.5 mm) reached 35% moisture content in 117 minutes, while the thickest (7 mm) required 279 minutes. It is concluded that cut thickness directly influences drying speed and is a determining factor in mass transfer. This information is useful for improving the efficiency of the meat drying process under controlled conditions.

Keywords: Meat, dehydration, thickness, speed

INTRODUCCIÓN

La deshidratación de la carne es una técnica crucial para la conservación de alimentos, cuyo protagonismo ha aumentado debido a la necesidad de prolongar la vida útil de los productos cárnicos y asegurar su inocuidad microbiológica. En la provincia de Chimborazo, Ecuador, donde el consumo de carne es significativo, se enfrenta el reto de reducir las pérdidas post-faenamiento y mejorar la calidad de los alimentos procesados. La dificultad principal se encuentra en establecer el tiempo ideal de deshidratación de la carne de res, tomando en cuenta factores esenciales como la temperatura, el grosor de los cortes y la humedad residual, que afectan directamente la aceptación del producto final. Además, la carne fresca es considerada por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria como un alimento de alto riesgo, ya que puede experimentar cambios importantes en su estructura si no se almacena adecuadamente. La contaminación cruzada por factores microbiológicos demuestra este riesgo, pues los microorganismos generan alteraciones internas y externas que deterioran el producto, volviéndolo no apto para el consumo.

La deshidratación de alimentos es una de las técnicas de conservación más antiguas, utilizada desde hace miles de años. Civilizaciones como los egipcios, griegos y romanos empleaban el sol para secar frutas, hierbas y carne, prolongando así su vida útil al inhibir la proliferación de microorganismos (1). Desde el Neolítico, esta técnica ya se utilizaba como un sistema de conservación, especialmente al abandonar el nomadismo. Este método ha sido una solución constante para conservar alimentos durante épocas de escasez (2). A lo largo del tiempo, la deshidratación ha evolucionado y se ha adaptado a distintas culturas y tecnologías. Hoy en día, existen deshidratadores eléctricos y métodos más sofisticados, pero el principio básico sigue siendo el mismo: eliminar la humedad para preservar los alimentos (3).

Las industrias han desarrollado distintos métodos para el secado y conservación de la carne, que incluyen tratamientos térmicos intensivos, acidificación, deshidratación, y conservación por medios químicos (4). Además, se utilizan técnicas como el secado al vacío, la aplicación directa de corrientes de aire con humedad relativa controlada, así como procesos más avanzados como

la irradiación, pasteurización y esterilización. El secado por convección utilizando aire caliente es uno de los métodos más comunes debido a su bajo costo; sin embargo, este requiere tiempos prolongados y temperaturas elevadas que pueden degradar nutrientes importantes y alterar el color del producto (5).

El uso de un deshidratador moderno permite controlar con precisión la velocidad de secado y la pérdida de humedad a lo largo del tiempo. Esto se logra mediante la regulación de parámetros como la temperatura, la circulación del aire y la humedad relativa, los cuales influyen directamente en la tasa de deshidratación (6). La estructura de la carne deshidratada afecta tanto los mecanismos de transporte como las propiedades funcionales del producto final. La velocidad de secado en un deshidratador está determinada por factores como la temperatura, la humedad relativa del aire y la circulación del mismo. Al ajustar estos parámetros, se puede lograr un proceso eficiente y uniforme, permitiendo que la carne pierda humedad gradualmente sin comprometer su textura, sabor y propiedades nutricionales (7).

Controlar la pérdida de humedad a lo largo del tiempo es esencial. Estudios han demostrado que el uso de un deshidratador permite una disminución controlada y predecible del contenido de humedad, evitando la sobre-deshidratación o el secado desigual (8). Esto garantiza que el producto final mantenga características deseadas como la textura, el sabor y el valor nutricional. Además, el proceso de deshidratación puede acelerarse mediante técnicas como el aumento de la temperatura o la reducción del grosor de las piezas de carne. El uso de aditivos y pretratamientos también puede optimizar la cinética de deshidratación y mejorar la calidad del producto (9).

Durante la deshidratación, se extrae gradualmente la humedad presente en la carne, lo que reduce la actividad de agua y, por ende, disminuye la probabilidad de crecimiento microbiano y de reacciones químicas que podrían deteriorar el producto (10). A partir de esta base teórica y técnica, surge la necesidad de investigar de forma experimental cómo variables como el espesor de los cortes afectan la velocidad y eficiencia del secado (11), (12).

Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la relación entre el grosor de los cortes de carne y la pérdida de humedad durante el proceso de deshidratación a una temperatura constante. Se busca evaluar cómo estas variables afectan la cinética del secado, con el fin de optimizar el proceso, garantizar la seguridad alimentaria y mantener la calidad del producto deshidratado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó una metodología cuantitativa, realizando una investigación experimental y comparativa con las variables de tiempo versus humedad en la deshidratación de la carne, la cual fue analizada estadísticamente. En el diseño experimental se consideraron el espesor de la carne y la pérdida de humedad, ya que la relación entre la pérdida de agua y la velocidad de secado está determinada por el diámetro de la materia prima (2.5, 3, 6 y 7 milímetros), independientemente de la temperatura (60 °C) en cada nivel. Además, se utilizó la metodología

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN DE CARNE MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE CURVAS HUMEDAD VS. TIEMPO

de Plasencia (13) para determinar la velocidad de pérdida de agua en función del espesor y cómo la temperatura establecida a 60 °C influye en la composición final de un alimento durante la deshidratación por aire forzado como se muestra en la Tabla 1.

Para el desarrollo de las formulaciones se utilizaron cuatro tipos de espesor, y en la tabla 1 se detallan los distintos ingredientes e insumos aplicados a la carne. Para la validación del equipo, antes de cada ensayo se inspeccionaron las condiciones operativas de la máquina, controlando la temperatura interna del equipo (60 °C) con un termómetro infrarrojo. Esto permitió verificar la pérdida de humedad en cada tratamiento durante el secado, sin importar el espesor de cada muestra.

Tabla 1. Espesor de las muestras.

Muestras	Temperatura	T1	T2	T3	T4
Espesor	60 °C	2.5 mm	3 mm	6 mm	7 mm

Recolección de datos

El cálculo de la curva de secado y la velocidad de secado se llevó a cabo mediante la medición de la humedad en la máquina de secado para cada tratamiento. Posteriormente, con el fin de lograr una mayor organización y claridad, se registraron todos los datos obtenidos en una hoja de cálculo de Excel. Este proceso permitió una gestión eficiente de la información, facilitando el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos durante el experimento.

Población y muestra

El estudio abarcó una muestra de 4 kilogramos de carne de res de la parte del lomo ya que esta parte tiene alto rendimiento, y tiene baja proporción de grasa y nervios, destinada a la producción de carne deshidratada con diferentes espesores de 2.5 mm, 3 mm, 6 mm y 7 mm. Esta variedad en los espesores permitió analizar cómo las diferentes dimensiones afectan el proceso de deshidratación y las características finales del producto. Cada muestra fue cuidadosamente medida y tratada para asegurar la precisión y consistencia de los resultados obtenidos.

Medición

Las mediciones empleadas para elaborar las curvas incluyen el tiempo requerido para deshidratar la carne con diferentes espesores, así como la humedad y la velocidad de secado. Estas variables permitieron obtener datos precisos sobre el proceso de deshidratación, facilitando el análisis y una mejor visualización a través de las curvas, determinando así cuál es el mejor método de deshidratación.

Una vez obtenidas las curvas, se desarrolló un modelo de regresión múltiple para analizar el proceso de secado de carne se llevó a cabo mediante un enfoque sistemático basado en los

datos experimentales recopilados. Inicialmente, se obtuvo un conjunto de datos que incluía variables como el espesor de la muestra, el tiempo de secado, la velocidad de secado, y el porcentaje de humedad.

Análisis resultados

El proceso se llevó a cabo utilizando el software R, se ajustó un modelo de regresión lineal múltiple, este modelo buscó establecer una relación lineal entre la humedad y las variables independientes; este modelo proporcionó los coeficientes estimados, sus errores estándar, valores t, p-valores y el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado).

Una vez obtenido el modelo para el proceso de secado se realizó una corrección del mismo basandose en datos experimentales previamente obtenidos de los tratamientos T1, T2, T3 y T4, que proporcionaron tiempos específicos para alcanzar un 35% de humedad bajo condiciones controladas.

RESULTADOS

Curvas de secado

Para representar esta curva se usaron dos variables de proceso:

- Humedad Libre en Kg de H₂O por Kg de sólido seco.
- Tiempo de secado.

La humedad libre se calculó mediante la siguiente fórmula matemática:

$$X = X_t \cdot X^*$$

Donde:

X = representa la Humedad Libre (Kg de H₂O por Kg de sólido seco).

X_t = representa la Humedad en Base Seca (Kg de H₂O por Kg de sólido seco).

X^* = representa la Humedad en Equilibrio (Kg de H₂O por Kg de sólido seco).

La Humedad en Base Seca se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólidos secos, y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$X_t = \frac{W_i - W_s}{W_s}$$

Donde:

X_t es la Humedad en Base Seca (Kg de H₂O por Kg de sólido seco).

W_i es el Peso Inicial de la Muestra (Kg).

W_s es el Peso de los sólidos secos (Kg).

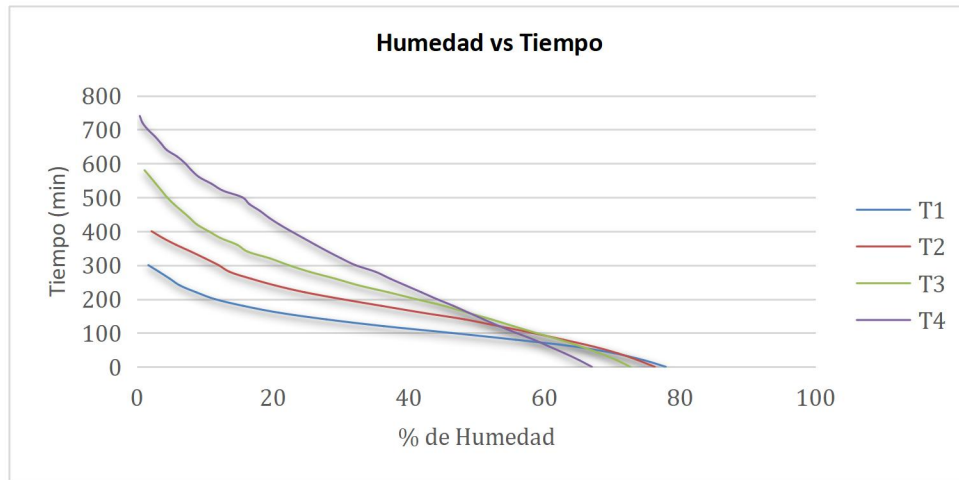


Figura 1. Curva de pérdida de humedad en los 4 tratamientos.

La Figura 1 muestra la curva de secado del tratamiento T1, analizada mediante regresión polinómica, mostró que las muestras de carne de 2,5 mm de espesor, procesadas a 60 °C, necesitaban 117 minutos para alcanzar el 35% de humedad, cumpliendo con los estándares establecidos. Estas muestras presentaban una ligera compactación debido al espesor utilizado. Las diferencias observadas respecto a otros estudios pueden deberse al tipo de salmuera y la temperatura aplicada, factores que influyen directamente en el secado de la carne.

Para el tratamiento T1, se creó un modelo matemático que permite predecir la humedad y calcular el tiempo necesario para alcanzar un nivel específico de humedad. La fórmula utilizada fue: $Y = -ax^3 + bx^2 - cx + d$, donde Y representa el tiempo en minutos y X, el 35% de humedad objetivo. Este modelo es una herramienta precisa para estimar los tiempos de secado en distintas condiciones.

En el tratamiento T2, las muestras de carne de 3 mm de espesor, también a 60 °C, necesitaban 178 minutos para llegar al 35% de humedad. Estas muestras mostraban menos compactación en comparación con T1, destacando la influencia de los aditivos en el proceso de secado. El modelo matemático de T2 indica que se requieren 178 minutos a 60 °C para alcanzar un 35% de humedad. Este tiempo puede variar según los pretratamientos, como la congelación o el uso de salmuera, que modifican las condiciones de secado y, por ende, el tiempo necesario.

Para el tratamiento T3, los cortes de carne de 6 mm de espesor, procesados a 1750 rpm, necesitaron 221 minutos para reducir su humedad al 35%. Estos cortes resultaban más blandos en comparación con T1 y T2, debido a su mayor grosor, lo que influye significativamente en el secado. La investigación confirmó que un mayor espesor prolonga el tiempo de secado. Las muestras de 6 mm alcanzaron el nivel óptimo de humedad en unas 3 horas y 30 minutos a 60 °C, demostrando que el grosor es clave para la eficiencia del secado y las características finales del producto.

El tratamiento T4, aplicado a cortes de 7 mm de espesor, tuvo el mayor tiempo de secado, necesitando 279,22 minutos para llegar al 35% de humedad. Estas muestras presentaban

mínima dureza, resultando en una textura más blanda, incluso manteniendo una temperatura constante de 60 °C. Los resultados confirman que el grosor de la carne es un factor crítico en la duración del secado. Sin embargo, tiempos prolongados pueden afectar negativamente la calidad del producto, con una textura más blanda, dificultades en la rehidratación y posibles alteraciones en el sabor debido a la exposición prolongada al calor. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos, aunque se observaron variaciones en la pérdida de humedad atribuibles a la variedad de carne y al pretratamiento con salmuera.

Curvas de velocidad de secado

La relación entre la velocidad de secado y la humedad libre se determinó mediante el análisis de humedad libre. Para calcular la velocidad de secado (R), se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{W_s(\Delta X)}{A * \Delta t}$$

W_s = Peso de sólidos secos

A= Area de muestra

ΔX = Diferencial de la humedad libre media

Δt = Diferencial de tiempo

R= Velocidad de secado expresado en KgH₂O/m².h

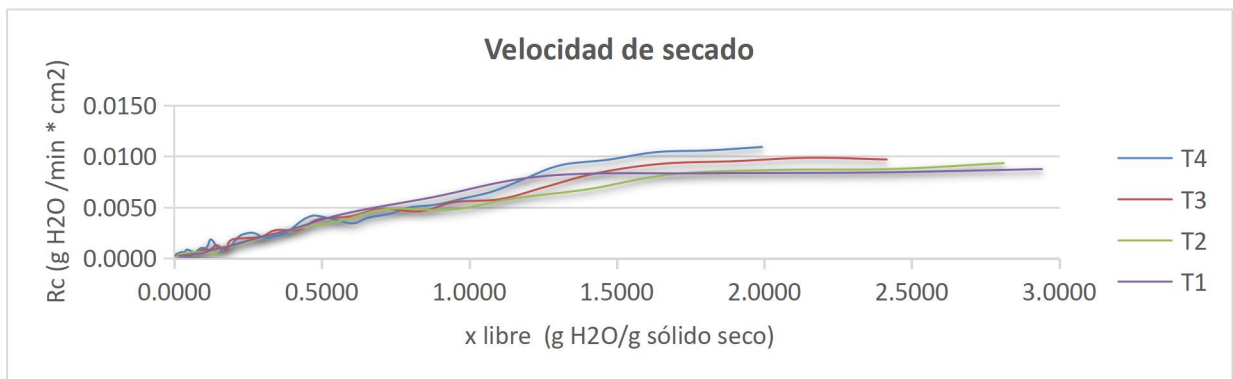


Figura 2. Velocidad de secado en los tratamientos.

La Figura 2 muestra que durante el tratamiento T1, el proceso de secado se dividió en tres fases distintas. En la fase inicial de calentamiento, la velocidad de secado comenzó en 0.0088 kg H₂O/h.m² y luego descendió a 0.0081 kg H₂O/h.m². La fase de velocidad constante se caracterizó por una humedad libre de 126.29%, con una velocidad final de 0.0002 kg H₂O/h.m² hasta llegar al 5.07% de humedad. En la fase final, correspondiente al periodo de velocidad decreciente, se mantuvo un contenido de humedad de 1.69% (Kg H₂O/Kg Ss) con una velocidad de 0.0003 kg H₂O/h.m², mostrando una reducción progresiva en la tasa de secado.

El tratamiento T2 mostró un comportamiento similar en sus tres etapas. La fase de calentamiento comenzó con una velocidad de 0.0093 kg H₂O/h.m², disminuyendo a 0.0082 kg H₂O/h.m². Durante la fase de velocidad constante, se observó una reducción desde una

humedad libre inicial de 93.44% con una velocidad de 0.0048 kg H₂O/h.m². La fase decreciente comenzó con una humedad libre de 72.25%, donde la velocidad se redujo a 0.0006 kg H₂O/h.m², alcanzando finalmente una humedad libre de 1.09%.

En el tratamiento T3, aplicado a cortes de carne de 6 milímetros de espesor, la velocidad inicial de secado fue de 0.0097 kg H₂O/h.m², estabilizándose en 0.0093 kg H₂O/h.m² con una humedad del 16.5%. La fase de velocidad constante presentó una reducción de la humedad hasta 83.08% con una velocidad de 0.0046 kg H₂O/h.m², progresando hasta 70.27% de humedad a 0.0048 kg H₂O/h.m². Durante la fase decreciente, el contenido de humedad se redujo hasta 8.62%, con una velocidad final de 0.0002 kg H₂O/h.m².

El tratamiento T4 mostró la velocidad inicial de secado más alta, comenzando en 0.0109 kg H₂O/h.m², lo que facilitó una evaporación considerable de la humedad superficial hasta alcanzar el 131% de humedad libre. En la fase de velocidad constante, se registró una velocidad inicial de 0.0092 kg H₂O/h.m², reduciéndose hasta el 60.37% de humedad libre, indicando una transferencia de masa eficiente desde el interior del material hacia la superficie. La fase decreciente presentó variaciones notables, con fluctuaciones en la velocidad y una reducción progresiva de la humedad hasta 0.24% (Kg H₂O/Kg Ss) con una velocidad final de 0.0003 kg H₂O/h.m².

Los resultados demuestran que el incremento en el espesor de los cortes de carne genera una mayor resistencia interna a la transferencia de masa, afectando directamente la tasa de secado. Es crucial realizar un seguimiento minucioso del proceso de secado, respetando los parámetros específicos de tiempo y temperatura establecidos para cada tipo de carne. Una exposición prolongada puede resultar en una deshidratación excesiva del producto, aumentando su susceptibilidad a la oxidación y comprometiendo tanto sus características organolépticas como su seguridad a largo plazo.

Modelo de regresión múltiple

El modelo de regresión lineal múltiple desarrollado estableció una relación significativa entre la humedad como variable dependiente y las variables independientes: espesor, tiempo y velocidad de secado (Rc). Los resultados indicaron un intercepto de 16.7808 ($p < 2e-16$), un coeficiente para el espesor de 0.866 ($p = 2.78e-05$), un coeficiente para el tiempo de -0.0355 ($p < 2e-16$) y un coeficiente para Rc de 5240.5137 ($p < 2e-16$), todos altamente significativos ($p < 0.05$). Esto sugiere que cada variable contribuye de manera relevante al modelo. El coeficiente de determinación ajustado alcanzó un valor de 0.9549, lo que implica que el 95.49% de la variabilidad en la humedad es explicada por el modelo, destacando un ajuste excelente. El error estándar residual fue de 4.84, considerado adecuado dado el rango de los datos. La ecuación resultante del modelo se expresó como

$$HUMEDAD = 16,7808 + 0,866(ESPESOR) - 0,0355(TIEMPO) + 5240,5137(VEL SECADO)$$

El modelo de regresión múltiple, fue sometido a una corrección tras la obtención de datos experimentales provenientes de los tratamientos T1, T2, T3 y T4.

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN DE CARNE MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE CURVAS HUMEDAD VS. TIEMPO

El proceso de corrección implicó una reevaluación de los coeficientes, manteniendo el intercepto (16.7808) y los coeficientes de espesor (0.866) y Rc (5240.5137) cercanos a los valores originales, mientras se recalibraba el coeficiente de tiempo, el resultado del modelo se puede observar en la figura 3.

EL modelo corregido presentó la siguiente ecuación:

$$HUMEDAD = 16,7808 + 0,866(ESPESOR) - 0,0742(TIEMPO) + 5240,5137(VEL SECADO)$$

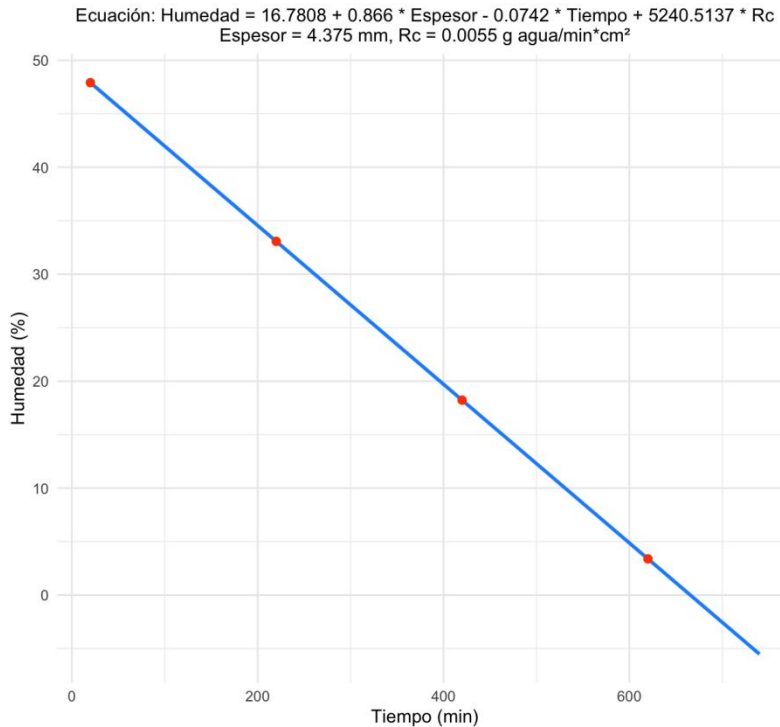


Figura 3. Modelo de predicción de humedad para carne con distintos grosores.

DISCUSIÓN

Investigaciones previas, han documentado ampliamente la influencia del grosor de la carne en el proceso de deshidratación. Sus hallazgos mostraron que la carne con un grosor promedio de 6.5 milímetros, tratada con salmuera, redujo su humedad en un 30% durante un proceso de 200 minutos a alta temperatura (14) . (15) en su estudio sobre la carne de ovino deshidratada (charqui o chalona), observó una reducción de humedad del 32% bajo condiciones similares y con salmuera añadida.

La evidencia científica confirma que los cortes más gruesos requieren más tiempo para deshidratarse (16) . Esto se evidenció en un estudio donde cortes de carne de 6 milímetros necesitaron 3 horas y 30 minutos a 60°C para alcanzar una humedad óptima del 35%. (17) en su investigación sobre la "determinación de los parámetros óptimos para el secado-cocción de

carne de alpaca (*vicugna pacos*)", subrayaron la importancia del equilibrio de humedad durante el secado. Sus resultados mostraron que rodajas de 6.5 milímetros alcanzaron un 32% de humedad en 300 minutos, mientras que la carne de res utilizada como control llegó al 34%. En un estudio comparativo del secado entre diferentes tipos de carne, encontraron variaciones significativas en la pérdida de humedad: 25% para res, 30% para cerdo y 40% para aves, a una temperatura constante de 60°C. Sus hallazgos resaltaron la importancia del salado como factor determinante para potenciar la deshidratación en condiciones controladas (18).

En el tratamiento T2, se identificaron tres etapas distintivas en el proceso de secado. La fase de calentamiento comenzó con una velocidad de 0.0093 kg H₂O/h.m², reduciéndose posteriormente a 0.0082 kg H₂O/h.m². Durante la fase de velocidad constante, la humedad libre comenzó en 93.44%, con una velocidad decreciente de 0.0048 kg H₂O/h.m² hasta llegar al 72.25%. La fase final presentó una reducción de la humedad libre hasta 11.18% (kg H₂O/kg ss) con una velocidad de 0.0006 kg H₂O/h.m², alcanzando finalmente 1.09%. La velocidad de secado se ve significativamente influenciada por la adición de salmuera, salitre o sal. Estos aditivos pueden aumentar la velocidad de secado hasta 0.01 kg H₂O/h.m², aunque esta velocidad disminuye progresivamente (19). El incremento en el grosor de la carne resultó en una reducción de la velocidad de secado, atribuible al mayor contenido de agua en la estructura cárnica, independientemente de los aditivos empleados.

La influencia del diámetro del corte en las características finales del producto, sugiriendo que las limitaciones asociadas pueden mitigarse mediante la aplicación de temperaturas más elevadas en combinación con aditivos como NaCl, lo que optimiza la velocidad de secado y establece una curva adecuada para todas las etapas del proceso (18). (20) sobre fajitas de cerdo deshidratadas reveló que estas alcanzaron un 89.27% de humedad durante el proceso, manteniendo una velocidad de secado constante de 0.009 kg H₂O/h.m². Estos resultados sugieren que la interacción entre el grosor del corte y los aditivos utilizados es fundamental para optimizar el proceso de deshidratación.

En general, los hallazgos indican que el grosor del material es un factor crítico en la velocidad de secado, donde cortes más gruesos disminuyen la eficiencia del proceso debido a la mayor retención de agua. La incorporación de aditivos y el control preciso de la temperatura son esenciales para mejorar la tasa de secado y asegurar un producto final de calidad. Sin embargo, es fundamental mantener un monitoreo riguroso del proceso para evitar efectos adversos como el ablandamiento excesivo, problemas de rehidratación y alteraciones en el sabor, garantizando así la calidad e inocuidad del producto a largo plazo.

CONCLUSIONES

El diagrama de contenido de humedad obtenido en este estudio permitió visualizar con claridad la evolución del proceso de secado en función del tiempo y del espesor de las muestras de carne de res. Se observó que, en todos los tratamientos, las curvas de deshidratación presentaron una fase inicial con una pendiente pronunciada, lo que evidencia una rápida pérdida de humedad

superficial debido a la presencia de agua libre. Posteriormente, la velocidad de secado disminuyó de forma gradual, indicando que la eliminación de agua ocurrió principalmente por transporte interno a través de la estructura de la carne. Entre los tratamientos evaluados, el de 2.5 mm de espesor fue el más eficiente, al alcanzar el contenido de humedad deseado (35 %) en solo 117 minutos, en comparación con los 279 minutos requeridos por las muestras de 7 mm. Esta diferencia confirma que el espesor del corte es un factor determinante en la velocidad de secado y en la eficiencia del proceso. Los resultados permiten concluir que, al aumentar el espesor, la resistencia a la deshidratación se incrementa, lo que prolonga el tiempo requerido para alcanzar una humedad segura. Por lo tanto, el tratamiento con menor espesor (2.5 mm) se considera el más adecuado para diseñar un proceso de deshidratación eficiente, ya que optimiza el tiempo de secado y asegura una mejor conservación del producto. Esta conclusión responde directamente al objetivo de analizar la relación entre el espesor del corte, la pérdida de humedad y la velocidad de secado en carne de res.

Asimismo, el modelado de regresión múltiple permitió establecer una herramienta predictiva robusta para estimar el tiempo requerido en el proceso de secado de la carne, considerando como variables independientes el espesor de los cortes, el tiempo de secado y la velocidad de transferencia de humedad. Este enfoque estadístico no solo validó la influencia significativa de cada uno de estos parámetros sobre la humedad final del producto, sino que también facilita la optimización del proceso en condiciones reales, brindando una base cuantitativa sólida para el diseño y control de procesos de deshidratación eficientes en la industria cárnica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cristina LVI, Manuel ELS, Patricio GTJ. Parámetros que influyen en la deshidratación de frutas y hortalizas. Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS [Internet]. 2024 Jun 26 [cited 2025 Feb 9];6(5):64–75. Available from: <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/1181>
2. JAVIER C. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS AGROINDUSTRIALES DE CUATRO VARIETADES DE MANGO (Manguifera indica) DESHIDRATADO. 2021 [cited 2025 Feb 9]; Available from: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CABRERA%20SOLIS%20EDHISON%20JAVIER.pdf>
3. Acosta Miranda ML, Ángeles Hernández L. Disminuir la pérdida de alimentos en la producción agrícola mediante la deshidratación. Revista Tecnológica - ESPOL. 2021 Dec 30;33(3):139–51.
4. Japa Paqui LE. Efectos de los métodos de deshidratación de frutas sobre sus propiedades nutricionales y sensoriales [Internet]. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos; 2022 [cited 2025 Feb 9]. Available from: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34929>
5. León Rodríguez AJ. Diseño e implementación de un deshidratador híbrido con paneles fotovoltaicos. 2018;

6. Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria » Categorización de Alimentos Procesados por Riesgo [Internet]. [cited 2025 Feb 9]. Available from: <https://www.controlsanitario.gob.ec/clasificacion-de-alimentos-procesados-por-riesgo/>
7. Mediani A, Hamezah HS, Jam FA, Mahadi NF, Chan SXY, Rohani ER, et al. A comprehensive review of drying meat products and the associated effects and changes. *Front Nutr* [Internet]. 2022 Nov 28 [cited 2025 Feb 9];9:1057366. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9742493/>
8. Repositorio Institucional Caxcán: Comparación de técnicas de deshidratación de carne de res, natural y por flujo de aire caliente [Internet]. [cited 2025 Feb 9]. Available from: <http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/handle/20.500.11845/1926>
9. Zambrano Cárdenas GO, Haro Altamirano JP, Bravo Calle OE, Solorzano Casco T, Arteaga Bonilla GR. Evaluación del proceso de ablandamiento-conservación sobre la carnización del paquete muscular de pierna deshidratada de llama. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol 6, No 3, 2021, págs 937-957 [Internet]. 2021 [cited 2025 Feb 9];6(3):937-57. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926933&info=resumen&idioma=SPA>
10. Rubí Darce JA, López Urbina SB. Efecto de un ablandador de piña (Ananas comosus) monte lirio en la terneza de cortes de carne bovina a escala de laboratorio en la UNA Managua durante julio-noviembre 2021. 2022;
11. Nataly BK, Alejo M, Optar P, Título EL, De P. Efecto de la temperatura y tiempo en la deshidratación del cushuro (*Nostoc commune*) mediante bandejas en las propiedades fisicoquímicas. [Internet]. Universidad Nacional de Huancavelica; 2021 [cited 2025 Feb 9]. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.14597/4641>
12. Orejarena Hernández DE, Fajardo Reyes DS, Puentes Barajas J. Implementación de un sistema de control de variables termodinámicas en un horno de combustión para pellets, usado para el secado de alimentos por convección forzada. 2024 Dec 3 [cited 2025 Feb 9]; Available from: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/18233>
13. Producción ", Carne DE, Macas D. Producción de carne deshidratada Macas 2012. 2013 Jul 3 [cited 2025 Feb 9]; Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9643>
14. González R. SN. La deshidratación parcial: una alternativa para el aprovechamiento de los cortes de carne bovina con menor valor comercial. 2021 Jan 1;
15. Bejarano Uculmana AB. Evaluación del proceso de deshidratación bajo sombra y en bandejas de las carnes de res y alpaca para la obtención de carne seca (charqui). Repositorio Institucional Ulma [Internet]. 2024 [cited 2025 Feb 13]; Available from: <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/21089>
16. González R. SN. La deshidratación parcial: una alternativa para el aprovechamiento de los cortes de carne bovina con menor valor comercial. 2021 Jan 1;
17. Condori Lucas B, Tiellacuri Anccasi M. Determinación de los parámetros óptimos para el secado – cocción de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) [Internet]. Universidad Nacional de Huancavelica; 2022 [cited 2025 Feb 13]. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.14597/5386>
18. Castillo-Téllez 1beatriz, Vega-Gómez J, Mejía Pérez A, Marzoug R, Téllez C. SECADO CON TECNOLOGÍA SOLAR: UNA OPCIÓN PARA CONSERVACIÓN DE LA CARNE. *Energías*

- Renovables [Internet]. 2023 Oct 5 [cited 2025 Feb 13];10(51). Available from: <https://renovable-anes.unison.mx/index.php/articulos/article/view/49>
19. Elaboración de curados y salazones cárnicos. INAI0108 - María Elena Cabrera López - Google Libros [Internet]. [cited 2025 Feb 13]. Available from: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BJXEEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=la+velocidad+de+secado+de+carne++se+ve+significativamente+influenciada+por+la+adici%C3%B3n+de+salmuera,+salitre+o+sal&ots=DuxCtkEfYo&sig=9hDfbRiAXSLsvTH-fUKqIhTLLAE#v=onepage&q&f=false>
 20. Andino Quezada EB, Espinoza Matamoros MA. Elaboración de fajitas de carne de cerdo deshidratadas en horno eléctrico, en el laboratorio Mauricio Díaz Müller, Facultad de Ciencias Químicas, UNAN-León, en período comprendido de enero 2018 - agosto 2019.