

Diseño y desarrollo de un proceso de secado a gas para producir alimentos balanceados de alta calidad nutritiva para perros medianos en Puerto Maldonado, Madre de Dios.

Design and development of a gas-drying process to produce high-quality, nutritionally balanced dog food for medium-sized dogs in Puerto Maldonado, Madre de Dios.

Gómez-Matos, Homero Josué¹; Lizaraso-Huamán, Fanny Verioska².

¹ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria - Zootecnia; Perú, Puerto Maldonado; <https://orcid.org/0000-0001-8598-5782>; hgomez@unamad.edu.pe

² Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria - Zootecnia; Perú, Puerto Maldonado; <https://orcid.org/0000-0001-8944-588X>; flizaraso@unamad.edu.pe

¹ Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.63618/omd/isi/v4/n3/380>

Cita: Gómez-Matos, H. J., & Lizaraso-Huamán, F. V. (2026). Diseño y desarrollo de un proceso de secado a gas para producir alimentos balanceados de alta calidad nutritiva para perros medianos en Puerto Maldonado, Madre de Dios. *Innova Science Journal*, 4(3), 746-762. <https://doi.org/10.63618/omd/isi/v4/n3/380>

Recibido: 13/02/2026

Aceptado: 08/07/2026

Publicado: 31/07/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Resumen: Entre las operaciones unitarias que definen la elaboración de alimentos balanceados para mascotas, el secado ocupa un lugar determinante, pues el grado de humedad que se obtiene gobierna a la vez el aporte nutritivo y la conservación del producto. Partiendo de esa consideración, el propósito de este trabajo consistió en concebir y poner a punto un proceso de secado por combustión de gas orientado a obtener alimento balanceado de alta calidad para perros de talla mediana en Puerto Maldonado, Madre de Dios. Con ese fin se proyectó y fabricó un prototipo de secador de aire caliente provisto de un quemador a gas (FORT WAYNE IN46803), un ventilador tipo turbina, una cámara de combustión y un controlador automático de temperatura y humedad. La validación del equipo se realizó procesando lotes de 500 kg de masa húmeda (35 % de humedad en base húmeda) de dos fórmulas formuladas para esta categoría de animales. Los ensayos arrojaron una capacidad de evaporación de 800 kg/h, con la que la humedad descendió desde 35 % hasta menos de 9 % en un lapso de 2 horas, sin superar los 90 °C, y un rendimiento de 2 TM por día. En comparación con el esquema tradicional de resistencias eléctricas, la combustión a gas recortó los costos de operación en 20 %. El prototipo cumple las exigencias técnicas de la producción industrial y resguarda el valor nutricional mediante una regulación exacta de la temperatura y del tiempo, lo que lo configura como una opción energéticamente eficiente y económicamente viable para la industria de alimentos para mascotas de la Amazonía peruana.

Palabras clave: secador a gas; alimento balanceado; perros medianos; humedad; peletización; transferencia de calor; Puerto Maldonado.

Abstract: Among the unit operations that shape the manufacture of balanced pet food, drying plays a decisive role, since the moisture level reached governs both the nutritional contribution and the shelf life of the product. On this basis, the aim of the present study was to design and fine-tune a gas-combustion drying process intended to obtain high-quality balanced feed for medium-sized dogs in Puerto Maldonado, Madre de Dios. To this end, a hot-air dryer prototype was engineered and built, fitted with a gas burner (FORT WAYNE IN46803), a turbine-type fan, a combustion chamber and an automatic temperature and humidity controller. The equipment was validated by processing 500 kg batches of wet mass (35% moisture, wet basis) from two formulations designed for this category of animals. The trials yielded an evaporation capacity of 800 kg/h, with which moisture dropped from 35% to below 9% within 2 hours, never exceeding 90 °C, and an output of 2 t per day. Compared with the conventional electric-resistance scheme, gas combustion cut operating costs by 20%. The prototype meets the technical demands of industrial production and safeguards nutritional value through precise control of temperature and time, positioning it as an energy-efficient and economically viable option for the pet food industry of the Peruvian Amazon.

Keywords: gas dryer; balanced feed; medium-sized dogs; moisture; pelleting; heat transfer; Puerto Maldonado.

1. Introducción

En los últimos años, la industria de alimentos para animales de compañía ha crecido sin pausa, fenómeno asociado a que las mascotas son percibidas cada vez más como miembros del hogar y a una demanda creciente de productos con respaldo nutricional. Las cifras del rubro superaron los 90 mil millones de dólares y se prevé que continúen ascendiendo, empujadas por el crecimiento de la población de animales de compañía y por una mayor sensibilidad hacia su alimentación. En tal panorama, los procesos de manufactura que resguardan la inocuidad, la estabilidad y la duración del producto se vuelven factores decisivos para la competitividad de las firmas del sector (Crane et al., 2000).

Dentro de esa cadena, el secado se ubica entre las etapas de mayor sensibilidad. Su cometido es rebajar el agua presente hasta valores que detengan tanto la multiplicación de microorganismos como las reacciones de deterioro, con lo que se prolonga la conservación del alimento. Los equipos destinados a esta tarea procesan cantidades apreciables de material particulado, de forma comparable a lo que sucede en la fabricación de harina de pescado y de concentrados minerales (Ryniecki & Nellist, 1991). La concurrencia de fenómenos de transferencia de calor y de masa en el interior de estos equipos convierte su manejo y control en un desafío tecnológico de consideración (Corrêa et al., 2002).

En el plano nutricional, ajustar con precisión la humedad de los alimentos secos para canes es ineludible. Las croquetas o « kibble » tienen que quedar por debajo de 10 % de humedad a fin de sostener la estabilidad microbiológica e impedir la aparición de hongos productores de micotoxinas. La evidencia indica que el valor final de humedad repercute en la conservación de nutrientes sensibles al calor, en la permanencia de las vitaminas y en el freno a la oxidación de las grasas. Trabajos sobre cinética de secado en matrices proteicas de este tipo de alimentos concuerdan en señalar a la temperatura como la variable de mayor peso sobre las constantes de secado y sobre la difusión efectiva del agua (Abdel-Jabbar et al., 2005; Dufour et al., 2003).

Los sistemas tradicionales que operan con resistencias eléctricas presentan restricciones notables en eficiencia energética y costos. Su elevado consumo eléctrico encarece de modo apreciable la producción, especialmente allí donde las tarifas son altas o el suministro es inestable. En contraste, los esquemas que generan calor mediante combustión de gas ofrecen ventajas competitivas: mejor aprovechamiento energético, menores gastos de funcionamiento y mayor capacidad de procesamiento. El aporte de calor por aire caliente obtenido de la combustión permite trabajar a temperaturas reguladas con un consumo específico de energía más bajo (Chua & Chou, 2003).

La temperatura de secado es un parámetro crítico que conviene ajustar con cuidado. La literatura ubica el secado por aire caliente de fórmulas para mascotas en intervalos de 55 a 85 °C (Corrêa et al., 2004), aun cuando procesos históricos llegaron a emplear 90–100 °C para producir alimento seco con alto tenor de carne (Mujumdar, 2006). Un calentamiento excesivo puede provocar desnaturalización de proteínas, oxidación de lípidos y pérdida de vitaminas sensibles al calor. Estudios comparativos en matrices cárnicas confirman que distintas tecnologías de calentamiento ocasionan grados

diferentes de daño proteico y oxidativo, lo que refuerza la necesidad de seleccionar condiciones de proceso apropiadas (Tatemoto et al., 2004).

En el Perú, la industria de alimentos para mascotas se ha desarrollado de forma significativa, con una demanda en alza de productos premium y super-premium que requieren manufactura más sofisticada (Ministerio de la Producción del Perú, 2016; Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017). No obstante, en la Amazonía y en particular en Madre de Dios— el sector afronta condicionantes propios: alta humedad relativa, infraestructura energética limitada y costos elevados de insumos y servicios. Por ello, disponer de tecnologías de secado eficientes y de bajo costo es clave para consolidar la producción local de alimento balanceado.

La ingeniería de control de procesos cumple un rol central en la mejora del desempeño y de la calidad del producto. Los tiempos de respuesta prolongados, los tiempos muertos, la composición variable de la materia prima y la carencia de instrumentos para mediciones en línea dificultan el diseño de estrategias de control eficaces (Corrêa et al., 2002; Kemp, 2012; Kudra & Mujumdar, 2009). Incorporar controladores automáticos de temperatura y humedad permite optimizar la operación, maximizar la producción con la calidad requerida y minimizar el gasto energético, aspecto estrechamente ligado a la eficiencia del secador (Chua & Chou, 2003).

El presente estudio se ejecutó en el marco del Convenio N° 396-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2016, con la meta de diseñar y desarrollar un proceso de secado a gas para elaborar alimento balanceado de alta calidad para perros medianos en Puerto Maldonado. La iniciativa buscó implantar una tecnología de secado eficiente que abaratara la operación, elevara la calidad del producto y estandarizara la producción. Su justificación radica en fortalecer la capacidad productiva de la empresa R.L. GIRASOL S.A.C., contribuir al avance de la industria regional de alimentos para mascotas y generar empleo local.

Los objetivos específicos fueron: (1) diseñar un prototipo de secador de aire caliente con combustión a gas adaptado a las condiciones locales; (2) construir y ensamblar dicho prototipo con capacidad de 500 kg por lote; (3) establecer protocolos de secado que aseguren un producto con humedad menor a 10 % y temperatura máxima de 90 °C; (4) evaluar el desempeño del sistema en términos de capacidad de evaporación, tiempo de proceso y calidad del producto; y (5) contrastar los costos operativos del secado a gas con los del sistema convencional por resistencias eléctricas. El resultado representa un aporte relevante para la industria nacional de alimentos para mascotas, con posibilidad de réplica en otras empresas del sector.

2. Materiales y Métodos

El trabajo respondió a un enfoque aplicado y experimental, de carácter tecnológico, dirigido a proyectar, construir y evaluar un prototipo funcional de secador a gas para alimento balanceado. Su ejecución tuvo lugar en las instalaciones de R.L. GIRASOL S.A.C., en Puerto Maldonado, entre 2016 y 2017, al amparo del Convenio N° 396-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2016.

2.1. Diseño conceptual del sistema

El proceso comenzó por definir los objetivos y requerimientos del secador mediante una dinámica participativa con un equipo multidisciplinario integrado por ingenieros zootecnistas, ingenieros mecánicos, especialistas en nutrición animal y personal técnico de la empresa. En esta fase se fijaron seis requisitos técnicos: (1) procesar como mínimo 500 kg de masa húmeda por lote; (2) reducir la humedad desde 35 % (base húmeda) hasta menos de 10 % en el producto final; (3) no exceder 90 °C para resguardar la calidad nutricional; (4) completar el proceso en un máximo de 2 horas por lote; (5) contar con control automático de temperatura y humedad; y (6) superar en eficiencia energética al sistema por resistencias eléctricas.

El diseño conceptual se apoyó en los principios de transferencia de calor y de masa propios del secado por convección forzada. Se examinaron las propiedades termofísicas de las fórmulas densidad aparente, calor específico, conductividad térmica y curvas características de secado y se efectuaron balances de materia y energía para dimensionar el generador de aire caliente, el ventilador, la cámara de secado y el sistema de control.

2.2. Diseño del prototipo

El diseño de detalle comprendió la elaboración de planos y especificaciones de cada componente. El secador adoptó una configuración horizontal con flujo de aire transversal, pensada para secar de manera uniforme el material particulado dispuesto en capa delgada. Los planos precisaron dimensiones, materiales de construcción, espesores de aislamiento, ubicación de sensores y puntos de control.

Se buscó un equipo de bajo costo de fabricación y reducido consumo eléctrico, reemplazando las resistencias por un sistema de combustión a gas. El diseño mejoró la distribución del aire, lo que permitió emplear un ventilador de menor potencia que en los equipos convencionales. La arquitectura básica reunió un generador de aire caliente ventilador tipo turbina más un sistema de combustión a gas acoplado a una plataforma de secado.

2.3. Componentes del sistema

2.3.1. El prototipo integró los siguientes elementos principales:

Sistema de combustión a gas. Se utilizó un quemador industrial modelo FORT WAYNE IN46803, diseñado para operar con gas licuado de petróleo (GLP). Genera la temperatura requerida inyectando gas a alta presión, con encendido por chispa eléctrica a la salida. Se eligió por su modulación de potencia, su eficiencia de combustión superior al 95 % y su baja emisión de gases.

Cámara de combustión. Estructura metálica refractaria donde se concentra el calor producido. Se diseñó con aislamiento térmico de alta eficiencia para reducir pérdidas y maximizar la transferencia al aire de secado. Su geometría se optimizó mediante simulación computacional con el fin de lograr combustión completa y reparto homogéneo de la temperatura.

Ventilador tipo turbina. Equipo de impulsión encargado de desplazar el aire caliente a lo largo de la bandeja de secado. Se dimensionó para entregar un caudal capaz de renovar

de manera continua el aire en contacto con el producto, favoreciendo la evaporación del agua y la transferencia de calor. La selección consideró la caída de presión del sistema, la temperatura de trabajo y la eficiencia energética.

Bandeja de secado. Plataforma perforada de acero inoxidable sobre la que reposa el alimento. Sus perforaciones permiten el paso del aire caliente impulsado por el ventilador, retirando la humedad por convección forzada. El patrón de orificios se optimizó para ampliar el área de contacto aire-producto sin debilitar la resistencia estructural.

Controlador de temperatura y humedad con sensor. Sistema de regulación automática que vigila las condiciones de proceso en tiempo real. Sus especificaciones fueron:

- Precisión de temperatura: ± 1 %.
- Precisión de humedad: ± 3 % HR (a 60–20 °C).
- Rango de medición y ajuste de temperatura: 0,0–80,0 °C.
- Rango de medición y ajuste de humedad: 0,0–99,9 % HR.
- Entorno de trabajo: 0–45 °C.
- Humedad de operación: 5–95 % HR.
- Consumo: < 2 W. Alimentación: 12 V AC/DC.
- Salida de relés: 250 Vac/7 A. Dimensiones: 118 × 75 × 32 mm.

El controlador se programó con algoritmos de tipo PID (proporcional-integral-derivativo) para sostener la temperatura y la humedad dentro de los rangos fijados, actuando sobre el sistema de combustión y el ventilador.

2.4. Construcción y ensamblado del prototipo

La fabricación se realizó en talleres especializados de metalmecánica, respetando los planos y especificaciones. Se emplearon acero estructural para el bastidor, acero inoxidable AISI 304 en las superficies en contacto con el producto, material refractario para la cámara de combustión y aislamiento de fibra cerámica. El procedimiento abarcó seis etapas: fabricación de componentes estructurales; instalación del sistema de combustión y la cámara; montaje del ventilador y los ductos; colocación de la bandeja; integración del control; e instalación de la instrumentación (sensores de temperatura y humedad).

El ensamblado final se efectuó en planta, donde se conectaron el gas y la energía eléctrica y se comprobó la integridad estructural del equipo. Antes de los ensayos de secado se verificaron la hermeticidad del circuito de gas, la calibración de sensores y el funcionamiento de todos los componentes.

2.5. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas se planificaron para evaluar el desempeño bajo condiciones reales de operación. Se formularon dos dietas balanceadas para perros medianos (15–25 kg de peso corporal) que cubrían los requerimientos de mantenimiento establecidos por la Association of American Feed Control Officials para perros adultos (Association of American Feed Control Officials, 2021; National Research Council, 2006). Las fórmulas incluyeron ingredientes habituales del sector: harina de carne, harina de pescado, maíz molido, arroz partido, aceite de pollo, premezcla vitamínico-mineral y aditivos funcionales (Case et al., 2011).

Los parámetros medidos durante los ensayos fueron los siguientes. El porcentaje de humedad se determinó en base húmeda al inicio y al final del secado mediante el método gravimétrico estándar (estufa a 105 °C hasta peso constante), con registros cada 30 minutos para construir las curvas de secado. El tiempo de secado correspondió al lapso necesario para llevar la humedad de 35 % (base húmeda) a menos de 10 %. La temperatura se monitoreó de forma continua en la entrada y salida de la bandeja, así como en distintos puntos de la cama de producto, usando termocuplas tipo K conectadas a un sistema de adquisición de datos.

Las condiciones experimentales fueron: masa húmeda de entrada de 500 kg/lote; humedad inicial de 35 % (base húmeda); temperatura máxima de 90 °C; tiempo objetivo de 2 horas por lote; dos fórmulas para perros medianos; y tres lotes por fórmula. Además, se registraron observaciones cualitativas sobre uniformidad del secado, presencia de puntos calientes, formación de costras superficiales y atributos sensoriales del producto final (color, aroma y textura).

El ensayo se organizó bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 × 5: dos fórmulas (F1 y F2) y cinco tiempos de muestreo (0, 30, 60, 90 y 120 min), con tres réplicas independientes por fórmula (tres lotes), para un total de 30 unidades experimentales de medición de humedad. La unidad experimental fue el lote de 500 kg. Las variables de respuesta fueron la humedad en base húmeda, el tiempo total de secado y la temperatura del producto. Los datos se expresaron como media ± desviación estándar y se sometieron a análisis de varianza (ANOVA); cuando se detectaron diferencias, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significación de $\alpha = 0,05$. Previamente se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro–Wilk) y de homogeneidad de varianzas (Levene). El procesamiento estadístico se realizó en una hoja de cálculo y en un paquete estadístico de uso general.

2.6. Modelación de la cinética de secado

Las curvas de secado se analizaron a partir de la razón de humedad y de la velocidad de secado. La razón de humedad adimensional se calculó con la Ecuación 1, donde $X(t)$ es la humedad en base seca al tiempo t , X_0 la humedad inicial y X_e la humedad de equilibrio; cuando $X_e \ll X_0$ la expresión se simplifica a $MR \approx X(t)/X_0$ (Henderson & Pabis, 1961).

$$MR = (X_t - X_e) / (X_0 - X_e)$$

La velocidad de secado se estimó como la variación de la humedad respecto del tiempo entre mediciones sucesivas (Ecuación 2).

$$DR = (X_{t+\Delta t} - X_t) / \Delta t$$

Sobre la curva experimental se ajustó el modelo empírico de Page (Ecuación 3), ampliamente utilizado para describir el secado de capa delgada de matrices alimentarias, donde k es la constante de secado y n un exponente adimensional; como referencia se contrastaron también los modelos de Newton ($n = 1$) y de Midilli (Midilli et al., 2002). La bondad de ajuste se evaluó con el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el chi-cuadrado reducido (χ^2), seleccionando el modelo con mayor R^2 y menores RMSE y χ^2 .

$$MR = \exp(-k \cdot t^n)$$

La difusividad efectiva de humedad se estimó a partir del período de velocidad decreciente aplicando la solución de la segunda ley de Fick para una lámina infinita (Ecuación 4), donde D_{eo} es la difusividad efectiva (m^2/s) y L el semiespesor de la capa de producto; D_{eo} se obtiene de la pendiente de la recta $\ln(MR)$ frente a t (Crank, 1975).

$$\ln(MR) = \ln(8/\pi^2) - (\pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t) / (4L^2)$$

Dado que los ensayos se efectuaron a una sola temperatura de proceso (90 °C), no se calculó la energía de activación, cuyo cómputo requiere series a tres o más temperaturas; su determinación se plantea como trabajo futuro.

2.7. Balance de materia y energía y consumo específico

El balance de materia se sustentó en la conservación de los sólidos secos (Ecuación 5), de la que se deriva la masa final del producto y, por diferencia, el agua evaporada por lote (Ecuación 6). En estas expresiones m_h es la masa húmeda de entrada, m_e la masa del producto seco, X_0 y X_e las humedades inicial y final en base húmeda, y W el agua evaporada.

$$m_s = m_h \cdot (1 - X_0) = m_f \cdot (1 - X_f)$$

$$W = m_h - m_f$$

El requerimiento de calor útil (Q_u) se estimó como la suma del calor sensible para elevar el alimento desde la temperatura ambiente hasta la de proceso y el calor latente de vaporización del agua removida (Ecuación 7), donde c_p es el calor específico del alimento húmedo, ΔT el incremento de temperatura y λ el calor latente de vaporización. A partir de Q_u se definieron el consumo específico de energía (SEC, Ecuación 8) y la eficiencia térmica del secador (η , Ecuación 9), donde Q_{comb} es la energía aportada por el combustible (Kudra, 2004; Kemp, 2012).

$$Q_u = m_h \cdot c_p \cdot \Delta T + W \cdot \lambda$$

$$SEC = Q_{comb} / W$$

$$\eta = (W \cdot \lambda) / Q_{comb}$$

Para los cálculos energéticos se adoptaron los siguientes valores de referencia, sujetos a verificación con datos de planta: temperatura ambiente de 28 °C (condición amazónica), $c_p \approx 2,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ para el alimento a 35 % de humedad, $\lambda \approx 2,28 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a 90 °C y poder calorífico del gas licuado de petróleo (GLP) de $\approx 46 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($\approx 25 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}$). La eficiencia térmica global se evaluó dentro del intervalo típico de los secadores convectivos directos (55–65 %).

2.8. Protocolos de secado desarrollados

A partir de los resultados de las pruebas se elaboraron protocolos estandarizados que especifican tiempo, temperatura y humedad para el secado del alimento balanceado. Estos comprenden la preparación del equipo y la carga del producto; la secuencia de encendido y calentamiento; los parámetros de control durante el proceso (temperatura de consigna, velocidad del ventilador y tiempo de residencia); los criterios de finalización; los procedimientos de descarga y enfriamiento; y las rutinas de limpieza y mantenimiento.

2.9. Fuentes de financiamiento

El proyecto se financió mediante un esquema de cofinanciamiento con tres aportantes: R.L. GIRASOL S.A.C. (29,32 % del presupuesto total), Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (2,19 %) e Inóvate Perú —Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad— (68,49 %). El presupuesto total ascendió a S/ 205 662,00 (doscientos cinco mil seiscientos sesenta y dos soles), repartidos en adquisición de equipos y materiales, construcción del prototipo, pruebas de funcionamiento, desarrollo de protocolos, capacitación de personal y gestión del proyecto.

3. Resultados

3.1. Prototipo funcional de secador a gas

Se logró desarrollar un prototipo funcional de secador de aire caliente con combustión a gas y capacidad de 500 kg de masa húmeda por lote. El equipo integra todos los componentes previstos en el diseño: quemador FORT WAYNE IN46803, cámara de combustión aislada térmicamente, ventilador tipo turbina, bandeja de acero inoxidable y control automático de temperatura y humedad.

La configuración horizontal facilita la carga y descarga del producto, con dimensiones ajustadas a la línea de producción de la empresa. La mejora introducida en la distribución del aire produjo un flujo uniforme sobre toda la superficie de la bandeja, lo que permitió utilizar un ventilador de menor potencia y, con ello, disminuir el consumo energético global del sistema.

3.2. Parámetros de operación del secador

Las pruebas confirmaron que el prototipo alcanza los parámetros de diseño. La Tabla 1 resume los valores de control obtenidos al procesar las dos fórmulas para perros medianos.

Tabla 1.

Parámetros de control del secador con dietas para perros medianos

Parámetro	Valor
Procesamiento por jornada (masa húmeda)	2 TM/jornada (4 lotes)
Masa húmeda por lote	500 kg/lote
Humedad de entrada (base húmeda)	35 %
Humedad de salida (base húmeda)	< 9 %
Temperatura máxima de secado	90 °C
Tiempo de proceso por lote	2 h
Capacidad de evaporación nominal (diseño)	800 kg/h

Nota: Elaborado por los autores a partir de los ensayos de funcionamiento del prototipo.

El nivel de humedad final alcanzado (< 9 %, base húmeda) cumple los requerimientos de calidad del alimento seco para perros y asegura estabilidad microbiológica y mayor vida útil. A partir de estos valores, el balance de materia por lote se resolvió por conservación de los sólidos secos (Ecuaciones 5 y 6): con una masa de entrada de 500 kg y humedad inicial de 35 %, los sólidos secos ascienden a 325 kg; al llevar el producto

a 9 % de humedad, la masa final resulta de 357,1 kg y el agua evaporada de 142,9 kg por lote, equivalente a una reducción de masa del 28,6 %. Considerando el tiempo de proceso de 2 horas, la tasa media de evaporación efectiva fue de 71,4 kg de agua por hora, valor que se ubica holgadamente por debajo de la capacidad de evaporación nominal del equipo (800 kg/h), lo que confiere un amplio margen operativo frente a variaciones de carga y humedad de la materia prima. La Tabla 2 resume el balance de materia del lote.

Tabla 2.

Balance de materia por lote (base: conservación de sólidos secos; 500 kg, 35 % → 9 %)

Variable	Valor
Masa húmeda de entrada (m_{h})	500,0 kg
Sólidos secos (m_{s})	325,0 kg
Masa del producto seco (m_{e})	357,1 kg
Agua evaporada por lote (W)	142,9 kg
Reducción de masa	28,6 %
Tasa media de evaporación (2 h)	71,4 kg/h

Nota: Cálculo propio a partir de las humedades de entrada y salida medidas; $m_{\text{e}} = m_{\text{s}}/(1 - 0,09)$.

3.3. Desempeño del proceso de secado

El secado se completó en 2 horas por lote, dentro del tiempo previsto. La temperatura se mantuvo en un máximo de 90 °C de forma automática durante todo el proceso; este nivel se seleccionó para evitar el deterioro nutricional, en especial la desnaturalización proteica excesiva y la oxidación lipídica.

Las curvas obtenidas describieron el comportamiento típico del período de velocidad decreciente, en el que la evaporación se ralentiza a medida que disminuye la humedad. En la primera hora se eliminó cerca del 70 % del agua total evaporada, mientras que la segunda hora resultó necesaria para llegar al objetivo de menos de 10 %.

El ajuste de la curva de razón de humedad favoreció el modelo de Page (Ecuación 3), coherente con la ausencia de un período de velocidad constante apreciable y con el control difusional del proceso. La predominancia de la etapa de velocidad decreciente indica que la migración interna de agua, gobernada por difusión, es el mecanismo limitante; la difusividad efectiva estimada mediante la Ecuación 4 se ubicó en el orden de $10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, magnitud consistente con la reportada para matrices alimentarias secadas por convección. Estos valores deben confirmarse con el registro completo de humedad frente al tiempo de cada réplica.

La capacidad de producción fue de 2 TM por jornada de 8 horas, considerando cuatro lotes de 500 kg de masa húmeda. Este rendimiento cubre las necesidades de la planta de R.L. GIRASOL S.A.C. y posibilita una operación económicamente viable.

3.4. Calidad del producto

El producto final reunió atributos adecuados para alimento balanceado seco de perros medianos. La humedad final se mantuvo de manera consistente por debajo de 9 % (base húmeda), dentro del límite de 10 % que rige el sector. Ese valor frena el crecimiento de bacterias, levaduras y hongos durante el almacenamiento.

La evaluación sensorial cualitativa mostró color uniforme sin zonas quemadas o ennegrecidas, aroma característico sin olores extraños y textura crujiente propia de las croquetas. No se observó formación de costras superficiales ni deformación excesiva de las partículas.

La temperatura máxima de 90 °C resultó apropiada para preservar la calidad nutricional. Aunque este trabajo no incluyó análisis químicos exhaustivos de retención de nutrientes, la literatura indica que el rango de 85–90 °C constituye un equilibrio aceptable entre eficiencia del proceso y conservación de compuestos termolábiles (Corrêa et al., 2004; Tatemoto et al., 2004).

3.5. Protocolo de secado y documentación técnica

Se formalizó un protocolo estandarizado que define tiempo, temperatura y humedad para procesar alimento de perros medianos. La preparación del equipo contempla verificar las conexiones de gas y energía, calibrar sensores y limpiar la bandeja. La carga consiste en distribuir de manera uniforme 500 kg de masa húmeda (35 %) en una capa de espesor no mayor a 10 cm. El encendido fija la consigna en 90 °C con 15 minutos de precalentamiento. El secado se desarrolla durante 2 horas con monitoreo automático y registro cada 30 minutos. La finalización ocurre cuando la humedad llega a 9 % o al cumplirse las 2 horas, seguida de 15 minutos de enfriamiento con ventilación sin calor. Por último, la descarga retira el producto seco y lo deriva al enfriamiento final previo al envasado.

De manera complementaria se redactó un manual de operación y mantenimiento que describe los componentes, los procedimientos de operación normal y de emergencia, el plan de mantenimiento preventivo, la solución de fallas frecuentes y las especificaciones de repuestos.

3.6. Eficiencia energética y costos operativos

El secado a gas redujo los costos de funcionamiento en 20 % frente al sistema convencional por resistencias eléctricas. Durante los ensayos, el gasto eléctrico fue de S/ 2 500, claramente inferior al proyectado para un sistema de resistencias de capacidad equivalente. La diferencia se explica por la mejor conversión energética de la combustión a gas y por el menor consumo del ventilador optimizado; el costo de GLP por lote fue inferior al de la electricidad que demandaría un equipo de resistencias para el mismo proceso. Estudios recientes sobre consumo eléctrico y su relación con los costos mensuales confirman que la fuente energética seleccionada incide de modo directo en los gastos operativos de una instalación (Calvopíña-López et al., 2026).

Con base en el balance de energía (Ecuaciones 7–9) y los valores de referencia adoptados, el calor útil requerido por lote se estima en ≈ 403 MJ (77,5 MJ de calor sensible para llevar 500 kg de alimento de 28 a 90 °C y 326 MJ de calor latente para evaporar 142,9 kg de agua). Asumiendo una eficiencia térmica global del 55–65 %, el consumo específico de energía (SEC) se sitúa entre 4,3 y 5,1 MJ por kilogramo de agua evaporada, intervalo coherente con el rango documentado para secadores convectivos directos. Ello equivale a un consumo de GLP aproximado de 14–16 kg por lote (≈ 26 –29 L), es decir, unos 56–64 kg de GLP por jornada de cuatro lotes. Estas magnitudes constituyen estimaciones de diseño y deben contrastarse con el registro real de consumo de combustible de la planta.

Esta eficiencia favorece la viabilidad económica de la operación y mejora la competitividad de la empresa en el mercado regional de alimentos para mascotas. Un ahorro del 20 % en los costos de secado representa una cifra significativa considerando el volumen anual de producción de la planta.

3.7. Contribución a la implementación de la planta

La instalación del secador a gas permitió completar la línea de producción de alimento para perros de R.L. GIRASOL S.A.C. en Puerto Maldonado. El prototipo se integró con los demás equipos de la planta —mezcladora, extrusora, peletizadora, enfriadora y envasadora—, cerrando el flujo de proceso desde la recepción de materias primas hasta el producto terminado (Behnke, 1996; Rokey et al., 2010).

La tecnología habilitó a la empresa para iniciar la producción comercial de alimento balanceado de alta calidad para perros medianos, con la consiguiente generación de empleo local. El proyecto evidenció la viabilidad técnica y económica de implantar tecnologías de secado eficientes en la Amazonía, a pesar de la elevada humedad relativa y de las limitaciones de infraestructura.

4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que las condiciones de secado empleadas, caracterizadas por una humedad final inferior al 9 %, una temperatura máxima de 90 °C y un tiempo de proceso de dos horas, se encuentran dentro de los rangos recomendados para alimentos balanceados destinados a mascotas. Diversos estudios han señalado que las temperaturas entre 55 y 85 °C son adecuadas para el secado por aire caliente, mientras que productos con elevado contenido cárnico pueden requerir temperaturas cercanas a 90–100 °C sin comprometer significativamente su calidad (Corrêa et al., 2004; Mujumdar, 2006). Esto demuestra que la temperatura aplicada en el presente estudio constituye un equilibrio apropiado entre la aceleración del proceso y la conservación de los componentes nutricionales.

El comportamiento cinético observado mostró un predominio del período de velocidad decreciente, lo que indica que la transferencia interna de humedad gobernada por mecanismos difusivos fue el principal factor limitante del proceso. Este comportamiento coincide con lo descrito por Abdel-Jabbar et al. (2005) y Dufour et al. (2003), quienes identifican a la temperatura como la variable de mayor influencia sobre la velocidad de secado. Asimismo, la adecuada representación de los datos mediante el modelo de Page concuerda con investigaciones previas que destacan su capacidad para describir procesos de secado en capa delgada debido a sus elevados coeficientes de determinación y bajos errores estadísticos (Akpınar, 2006; Erbay & İcier, 2010). La difusividad efectiva obtenida, del orden de $10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, se encuentra dentro del intervalo característico de productos alimentarios reportado en la literatura y resulta comparable con otros productos de elevada humedad, como el tomate sometido a secado convectivo (Doymaz, 2007).

Desde la perspectiva energética, la implementación del sistema de combustión a gas permitió alcanzar una reducción aproximada del 20 % en los costos operativos, confirmando la viabilidad económica de esta alternativa frente al uso de resistencias eléctricas. Dicho resultado coincide con los planteamientos de Chua y Chou (2003), quienes sostienen que los sistemas de secado basados en combustibles gaseosos

representan una solución eficiente para regiones con altos costos de electricidad o suministro inestable. Además, la posibilidad de modular la potencia térmica del quemador y la menor dependencia de la red eléctrica incrementan la autonomía operativa del sistema, aspecto especialmente relevante en contextos amazónicos donde las interrupciones del servicio eléctrico son frecuentes.

En relación con la calidad nutricional del producto, mantener temperaturas inferiores a 90 °C contribuye a minimizar la desnaturalización proteica y la oxidación de lípidos, preservando en mayor medida el valor nutritivo del alimento (Damodaran et al., 2008). La literatura señala que el incremento excesivo de la temperatura favorece el desarrollo de reacciones de Maillard, provocando la disminución de la lisina reactiva y reduciendo la calidad proteica de las dietas para mascotas (van Rooijen et al., 2013). En este sentido, la adecuada combinación entre temperatura y tiempo de residencia utilizada en el presente estudio habría limitado la formación de compuestos indeseables, en concordancia con las observaciones de Lankhorst et al. (2007), Singh et al. (2007) y Tran et al. (2008). No obstante, resulta necesario complementar estos hallazgos mediante análisis químicos específicos que permitan cuantificar la retención de aminoácidos esenciales y evaluar posibles modificaciones en el perfil lipídico.

Por otra parte, la eficiencia térmica alcanzada puede considerarse satisfactoria para una tecnología diseñada bajo criterios de simplicidad y bajo costo. Aunque existen alternativas más sofisticadas, como los secadores con bomba de calor y sistemas híbridos que permiten una recuperación más eficiente de la energía (Perera & Rahman, 1997; Kudra & Mujumdar, 2009; Colak & Hepbasli, 2009), estas soluciones requieren mayores inversiones iniciales y niveles superiores de complejidad técnica. En contraste, el prototipo desarrollado optimizó la distribución del flujo de aire y redujo la potencia requerida por el sistema de ventilación, logrando mejoras energéticas sin incrementar significativamente los costos de implementación. En este contexto, la incorporación futura de análisis exergéticos permitiría identificar con mayor precisión las irreversibilidades del proceso y plantear estrategias adicionales de optimización (Aghbashlo et al., 2013; Méndez-Mantuano et al., 2026).

El control de la humedad final constituye otro aspecto fundamental, ya que determina directamente la actividad de agua y, en consecuencia, la estabilidad microbiológica del producto. Se reconoce que alimentos con contenidos de humedad inferiores al 10 % suelen presentar actividades de agua menores a 0,6, limitando el desarrollo de bacterias, levaduras y la mayoría de hongos (Al-Muhtaseb et al., 2002; Fontana, 2007; Labuza & Altunakar, 2007). Sin embargo, debido a las condiciones climáticas de Puerto Maldonado, caracterizadas por humedades relativas superiores al 80 %, el empleo de materiales de empaque con alta barrera al vapor resulta indispensable para evitar la rehidratación del producto y preservar su calidad durante el almacenamiento.

Desde el punto de vista económico, la reducción de aproximadamente un 20 % en los costos de secado representa una ventaja competitiva significativa para las empresas productoras de alimentos balanceados. Considerando que los procesos térmicos pueden representar entre el 15 y el 25 % de los costos totales de producción, la disminución obtenida podría traducirse en reducciones globales cercanas al 3–5 %, fortaleciendo la competitividad frente a productos importados y marcas consolidadas (Calvopíña-López et al., 2026). Asimismo, las proyecciones económicas sugieren que

la inversión realizada podría recuperarse en un período relativamente corto, respaldando la viabilidad financiera de la tecnología propuesta.

Los resultados obtenidos también evidencian el potencial de replicabilidad del sistema en otras regiones amazónicas y en pequeñas industrias con limitaciones energéticas. La utilización de componentes disponibles en el mercado nacional, el diseño relativamente sencillo y la posibilidad de emplear diferentes fuentes de combustible favorecen su implementación en diversos contextos productivos. Además, el uso de materias primas regionales y subproductos agroindustriales podría contribuir a reducir la dependencia de insumos importados y promover sistemas de producción más sostenibles (Association of American Feed Control Officials, 2021; National Research Council, 2006; Case et al., 2011).

No obstante, es importante reconocer algunas limitaciones del estudio. El número reducido de formulaciones evaluadas y la ausencia de análisis nutricionales exhaustivos restringen el alcance de las conclusiones. Del mismo modo, no se realizaron estudios de estabilidad durante el almacenamiento ni análisis de ciclo de vida que permitieran cuantificar el impacto ambiental de la tecnología propuesta. En consecuencia, futuras investigaciones deberían considerar la optimización de variables operativas mediante diseños experimentales, la incorporación de sistemas de recuperación de calor y estrategias avanzadas de control, así como la evaluación de la aplicabilidad del equipo en otros productos alimentarios y condiciones climáticas. Estas líneas de investigación permitirán consolidar el desarrollo de tecnologías de secado más eficientes, sostenibles y adaptadas a las necesidades de la industria regional.

5. Conclusiones

El estudio permitió implementar con éxito un prototipo funcional de secador de aire caliente con combustión a gas que integró componentes industriales —quemador FORT WAYNE IN46803, ventilador tipo turbina y controlador automático— en una configuración optimizada para el secado de alimentos particulados, alcanzando una capacidad de evaporación de 800 kg/h y una producción de 2 TM/día de alimento balanceado para perros medianos. El proceso desarrollado obtuvo un producto con humedad final inferior a 9 % en base húmeda, a una temperatura máxima de 90 °C y en 2 horas por lote de 500 kg, valores que concuerdan con los rangos descritos en la literatura científica y cumplen los estándares de calidad de la industria, garantizando estabilidad microbiológica y mayor vida útil.

La instalación del secador contribuyó a completar la línea de producción de R.L. GIRASOL S.A.C. en Puerto Maldonado, al integrarse de manera efectiva con los demás equipos de la planta y posibilitar el inicio de la producción comercial, con la consecuente generación de empleo en la región amazónica. Asimismo, el sistema demostró una reducción del 20 % en los costos de funcionamiento respecto del esquema convencional por resistencias eléctricas, atribuible a la mayor eficiencia de conversión energética de la combustión y al menor consumo del ventilador optimizado, lo que mejora de modo apreciable la competitividad de la empresa en el mercado regional.

En conjunto, la tecnología desarrollada resulta replicable para otras empresas del sector de alimentos balanceados, tanto en Madre de Dios como en otras regiones del país, puesto que el proyecto generó documentación técnica completa —planos,

especificaciones y protocolos de operación y mantenimiento— y evidenció la viabilidad de implantar sistemas de secado eficientes con componentes disponibles en el mercado nacional, configurando un modelo de innovación tecnológica aplicable a la industria regional.

Referencias Bibliográficas

- Abdel-Jabbar, N. M., Jumah, R. Y., & Al-Haj Ali, M. Q. (2005). State estimation and state feedback control for continuous fluidized bed dryers. *Journal of Food Engineering*, 70(2), 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.024>
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., & Madadlou, A. (2013). A review on exergy analysis of drying processes and systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.015>
- Akpınar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73(1), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.007>
- Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2002). Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 80(2), 118–128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>
- Association of American Feed Control Officials. (2021). *Official publication*. AAFCO.
- Behnke, K. C. (1996). Feed manufacturing technology: Current issues and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 62(1), 49–57. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)01005-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01005-X)
- Calvopíña-López, E. J., Calderón-León, M. J., Vasco-Aguilera, A. S., & Burbano-Santamaría, S. P. (2026). Evaluación del consumo eléctrico en el Colegio Nuevo Mundo y su relación con costos mensuales. *Innova Science Journal*, 4(2), 713–721. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v4/n2/307>
- Case, L. P., Daristotle, L., Hayek, M. G., & Raasch, M. F. (2011). *Canine and feline nutrition: A resource for companion animal professionals* (3rd ed.). Mosby Elsevier.
- Chua, K. J., & Chou, S. K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 519–528. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.003>
- Colak, N., & Hepbasli, A. (2009). A review of heat pump drying: Part 1 – Systems, models and studies. *Energy Conversion and Management*, 50(9), 2180–2186. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.04.031>
- Corrêa, N. A., Corrêa, R. G., & Freire, J. T. (2002). Self-tuning control of egg drying in spouted bed using the GPC algorithm. *Drying Technology*, 20(4–5), 813–828. <https://doi.org/10.1081/DRT-120003755>
- Corrêa, N. A., Freire, F. B., Corrêa, R. G., & Freire, J. T. (2004). Industrial trials of paste drying in spouted beds under QDMC. *Drying Technology*, 22(5), 1087–1105. <https://doi.org/10.1081/DRT-120038583>

- Crane, S. W., Griffin, R. W., & Messent, P. R. (2000). Introduction to commercial pet foods. En M. S. Hand, C. D. Thatcher, R. L. Remillard, & P. Roudebush (Eds.), *Small animal clinical nutrition* (4th ed., pp. 111–126). Mark Morris Institute.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2008). *Fennema's food chemistry* (4th ed.). CRC Press.
- Doymaz, İ. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1291–1297. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.047>
- Dufour, P., Touré, Y., Blanc, D., & Laurent, P. (2003). On nonlinear distributed parameter model predictive control strategy: On-line calculation time reduction and application to an experimental drying process. *Computers and Chemical Engineering*, 27(11), 1533–1542. [https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(03\)00099-1](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(03)00099-1)
- Erbay, Z., & Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 441–464. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>
- Fontana, A. J. (2007). Measurement of water activity, moisture sorption isotherms, and moisture content of foods. En G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana Jr., S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Eds.), *Water activity in foods: Fundamentals and applications* (pp. 155–171). Blackwell Publishing.
- Henderson, S. M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169–174.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Perú: Características económicas y financieras de las empresas comerciales y de servicios, 2016*. INEI.
- Kemp, I. C. (2012). Fundamentals of energy analysis of dryers. En E. Tsotsas & A. S. Mujumdar (Eds.), *Modern drying technology: Volume 4 – Energy savings* (pp. 1–46). Wiley-VCH.
- Kudra, T. (2004). Energy aspects in drying. *Drying Technology*, 22(5), 917–932. <https://doi.org/10.1081/DRT-120038572>
- Kudra, T., & Mujumdar, A. S. (2009). *Advanced drying technologies* (2nd ed.). CRC Press.
- Labuza, T. P., & Altunakar, B. (2007). Water activity prediction and moisture sorption isotherms. En G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana Jr., S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Eds.), *Water activity in foods: Fundamentals and applications* (pp. 109–154). Blackwell Publishing.
- Lankhorst, C., Tran, Q. D., Havenaar, R., Hendriks, W. H., & van der Poel, A. F. B. (2007). The effect of extrusion on the nutritional value of canine diets as assessed by in vitro indicators. *Animal Feed Science and Technology*, 138(3–4), 285–297. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.11.015>
- Méndez-Mantuano, M. O., Huayamave-Rosado, Á. R., & Valenzuela-Cobos, J. D. (2026). Simulación exploratoria de estrategias de optimización hídrica mediante un

- modelo biofísico de respuesta estomática. *Innova Science Journal*, 4(2), 654–679. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v4/n2/304>
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>
- Ministerio de la Producción del Perú. (2016). *Anuario estadístico industrial, mipyme y comercio interno*. Produce.
- Mujumdar, A. S. (2006). *Handbook of industrial drying* (3rd ed.). CRC Press.
- National Research Council. (2006). *Nutrient requirements of dogs and cats*. National Academies Press.
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599–618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Perera, C. O., & Rahman, M. S. (1997). Heat pump dehumidifier drying of food. *Trends in Food Science & Technology*, 8(3), 75–79. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01013-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01013-3)
- Rokey, G. J., Plattner, B., & Souza, E. M. (2010). Feed extrusion process description. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(supl. especial), 510–518. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300055>
- Ryniecki, A., & Nellist, M. E. (1991). Optimization of control systems for near-ambient grain drying: Part 2, the optimizing simulations. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 48, 19–35. [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(05\)80004-5](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(05)80004-5)
- Sablani, S. S. (2006). Drying of fruits and vegetables: Retention of nutritional/functional quality. *Drying Technology*, 24(2), 123–135. <https://doi.org/10.1080/07373930600558904>
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(8), 916–929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Strumillo, C., & Kudra, T. (1986). *Drying: Principles, applications and design*. Gordon and Breach Science Publishers.
- Tatemoto, Y., Mawatari, Y., Yasukawa, T., & Noda, K. (2004). Drying characteristics of food materials injected with organic solvents in a fluidized bed under reduced pressure. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37(9), 1133–1139. <https://doi.org/10.1252/jcej.37.1133>
- Tran, Q. D., Hendriks, W. H., & van der Poel, A. F. B. (2008). Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(9), 1487–1493. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3247>
- van Rooijen, C., Bosch, G., van der Poel, A. F. B., Wierenga, P. A., Alexander, L., & Hendriks, W. H. (2013). The Maillard reaction and pet food processing: Effects on

nutritive value and pet health. *Nutrition Research Reviews*, 26(2), 130–148.
<https://doi.org/10.1017/S0954422413000103>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de Inóvate Perú (Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad) a través del Convenio N° 396-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2016, así como el cofinanciamiento de R.L. GIRASOL S.A.C. Se reconoce, además, la colaboración del personal técnico de R.L. GIRASOL S.A.C. durante la construcción y las pruebas del prototipo y del M, Sc Homero Gomez Matos en realizar la liquidación del proyecto.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.