

Elaboration of Nutritionally Balanced Homemade Canine Diet of Optimal Cost through Linear Programming

Francia Melissa Romero Aguilar, Ingeniero Industrial y de Sistemas¹, Ismael Alfonso Abarca Montoya, Máster en Administración de Empresas²

^{1,2}Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, francia.romero@unitec.edu, iabarca@unitec.edu

Abstract— The following work aims to propose a linear programming model to optimize the cost of preparing a homemade diet for dogs, using ingredients available in the local markets, always trying to maintain the animal's nutritional requirements. Also, we aim to compare the recipe obtained with feed readily available in the Honduran market. The creation of the diet comes from the need of having a high-quality pet diet at a low cost, since consumers tend to perceive the meal's price at a same standard as its price. Two different energy densities and fat variations were used to obtain the resulting recipes, of which the high fat diet yielded a nutrient composition of 28.23% crude protein, 20.60% fat, 4.61% dietary fiber, 3.03% ash, 0.63% calcium, 0.535% phosphorus, and 0.095% sodium. The low-fat diet yielded a composition of 30.96% crude protein, 17.03% fat, 4.49% fiber, 2.98% ash, 0.62% calcium, 0.93% phosphorus, and 0.093% sodium. The cost obtained for each of the diets was L.4.57 per 78.98 grams (L.26.25/lb.) and L.20.05 per 322.97 grams (L.28.18/lb.) respectively.

Keywords—linear programming, operations research, diet formulation, canine diet.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Elaboración de Dieta Canina Casera Nutricionalmente Balanceada de Costo Óptimo Mediante Programación Lineal

Francia Melissa Romero Aguilar, Ingeniero Industrial y de Sistemas¹, Ismael Alfonso Abarca Montoya, Máster en Administración de Empresas²

^{1,2}Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, francia.romero@unitec.edu, iabarca@unitec.edu

Abstract— *The following work aims to propose a linear programming model to optimize the cost of preparing a homemade diet for dogs, using ingredients available in the local markets, always trying to maintain the animal's nutritional requirements. Also, we aim to compare the recipe obtained with feed readily available in the Honduran market. The creation of the diet comes from the need of having a high-quality pet diet at a low cost, since consumers tend to perceive the meal's price at a same standard as its price. Two different energy densities and fat variations were used to obtain the resulting recipes, of which the high fat diet yielded a nutrient composition of 28.23% crude protein, 20.60% fat, 4.61% dietary fiber, 3.03% ash, 0.63% calcium, 0.535% phosphorus, and 0.095% sodium. The low-fat diet yielded a composition of 30.96% crude protein, 17.03% fat, 4.49% fiber, 2.98% ash, 0.62% calcium, 0.93% phosphorus, and 0.093% sodium. The cost obtained for each of the diets was L.4.57 per 78.98 grams (L.26.25/lb.) and L.20.05 per 322.97 grams (L.28.18/lb.) respectively.*

Keywords—linear programming, operations research, diet formulation, canine diet

Abstract— *El trabajo realizado pretende plantear un modelo de programación lineal para optimizar el costo de elaboración de un alimento casero para perros, utilizando ingredientes disponibles en el mercado, siempre intentando mantener los requerimientos nutricionales del animal. Finalmente, se pretende comparar la receta obtenida con alimentos secos disponibles en el mercado hondureño. La elaboración de esta dieta responde a la necesidad de obtener un alimento de calidad a un precio competitivo, dado que la percepción de los consumidores ante los alimentos de bajo costo suele ser proporcional a su calidad. Se utilizaron dos variaciones en densidad energética y en cantidad de grasa para el cálculo de la receta, de las cuales se obtuvo para la dieta de grasas añadidas una composición nutricional de 28.23% de proteína cruda, 20.60% de grasa cruda, 4.61% de fibra, 3.03% de ceniza, 0.63% de calcio, 0.535% de fósforo, y 0.095% de sodio. Para la dieta de grasas reducidas se obtuvo una composición nutricional de 30.96% de proteína cruda, 17.03% de grasa, 4.49% de fibra, 2.98% de ceniza, 0.62% de calcio, 0.93% de fósforo, y 0.093% sodio. El costo obtenido para cada dieta fue de L.4.57 por 78.98 gramos (L.26.25/lb) y L.20.05 por 322.97 gramos (L.28.18/lb) respectivamente.*

Keywords—programación lineal, investigación de operaciones, dieta, alimentación canina

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

I. INTRODUCCIÓN

La Investigación de Operaciones surgió como respuesta a la necesidad de distribuir de forma eficiente los insumos y alimentos a las tropas durante tiempos de la segunda guerra mundial. La ciencia evolucionó y mostró ser versátil al ser aplicada en distintos rubros, especialmente en la industria [1].

Una de las técnicas principales utilizadas en investigación de operaciones es la programación lineal, en donde, mediante expresiones matemáticas y ecuaciones, se busca la optimización de un proceso. Esta técnica requiere de creatividad y precisión, pues es necesario traducir problemas y datos a restricciones en lenguaje simbólico (ecuaciones e inecuaciones).

La programación lineal posee distintas aplicaciones, las cuales pueden ser: la creación horarios, asignación de personal en una línea de producción, determinación de la producción periódica en una fábrica, creación de rutas de transporte, y creación de dietas.

El método de resolución de problemas mediante programación lineal puede tener distintos objetivos de acuerdo a su naturaleza, siendo los más comunes el maximizar ganancias y el minimizar costos. En el contexto de las dietas, uno de los primeros precedentes para la minimización de costos fue planteado por Stigler [2]. La planificación de dietas mediante este método puede llegar a ser efectivo, sin embargo, se debe considerar un balance entre la reducción de costos y el enriquecimiento nutricional de la misma[3].

El trabajo realizado pretende plantear un modelo de programación lineal para optimizar el costo de elaboración de un alimento casero para perros, utilizando ingredientes disponibles en el mercado, siempre intentando mantener los requerimientos nutricionales del animal. Finalmente, se pretende comparar la receta obtenida con alimentos secos disponibles en el mercado hondureño.

II. METODOLOGÍA

A. Objetivo General

De acuerdo a las interrogantes planteadas en la búsqueda de la resolución del problema principal, se planteó el principal objetivo, el cual es formular la receta de una dieta canina casera nutricionalmente óptima y de costo mínimo utilizando programación lineal.

Para poder lograr el objetivo general, es necesario apoyarnos de los siguientes objetivos específicos:

B. *Objetivos Específicos*

1. Determinar la proporción de los ingredientes de la dieta que cumpla con los requerimientos nutricionales del perro mediante programación lineal.
2. Optimizar el costo de los ingredientes del alimento mediante la resolución del modelo de programación lineal con la herramienta de Microsoft Solver.
3. Formular las recetas que balancean mejor la satisfacción de las necesidades alimenticias del perro y el costo de producción mediante programación lineal.
4. Comparar la dieta formulada con las dietas disponibles en el mercado mediante sus composiciones nutricionales.

C. *Enfoque*

Para este estudio se realizó un enfoque cuantitativo. La recolección de datos está fundamentada en la medición, pues fue necesario recolectar precios de distintas fuentes disponibles en la realidad. Se sigue un patrón predecible, el cual es la elaboración y resolución de un modelo matemático para minimizar el costo del alimento. Los datos utilizados en la creación del modelo como restricciones están fundamentados en estudios previos y datos de National Research Council [4] y la Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica elaborada por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá y la Organización Panamericana de la Salud [5].

D. *Alcance*

El alcance del estudio se puede describir como exploratorio y correlacional. Se dice que es exploratorio pues el tema de formulación de dietas animales utilizando programación lineal no ha sido un enfoque de interés de investigación en el país, por lo cual el presente documento puede servir como precedente para investigaciones futuras. El estudio también es correlacional pues se desea comparar el valor nutricional de la dieta a formular con alimentos ya existentes y disponibles en el mercado.

E. *Población y Muestra*

Se determinó que la población del estudio son todos los supermercados y mercados del país en los cuales se pueden obtener los ingredientes para la dieta y alimentos secos para mascotas.

La muestra del estudio son cuatro cadenas de supermercados y tres principales mercados dentro del distrito central, en donde se pueden encontrar los ingredientes propuestos para la dieta, así como los seis supermercados y tiendas en donde se pueden encontrar alimentos secos para mascotas. Se decidió realizar un muestreo por conveniencia, dado que los datos de los supermercados y tiendas elegidas podían ser consultadas de forma electrónica en caso de ser requerido y al mismo tiempo se garantizaba que estos precios fuesen iguales en todas sus sucursales.

F. *Metodología de Estudio*

Debido a la naturaleza de la presente investigación fue preciso indagar en diversas fuentes sobre el concepto de la programación lineal y su utilización en importantes proyectos. Desde la perspectiva de diferentes autores entre ellos George Dantzig quien en ese entonces trabajaba para el gobierno de los Estados Unidos en el área de planeación en el Pentágono, la programación lineal es una herramienta de planeación desarrollada sistemática concluyendo su aporte con lo que hoy en día sería considerado como el método simplex. En el año de 1949, y con la ayuda de John von Neumann se pudo plantear un método de resolución del modelo de programación lineal propuesto por Dantzig [6].

Para que un modelo de programación sea considerado lineal, se deben utilizar únicamente expresiones lineales en su desarrollo. El significado de la palabra “programación” en este contexto no se refiere a una programación computacional, en cambio, más como un sinónimo de planeación. El principal objetivo de la técnica es la obtención de soluciones óptimas en donde existen escenarios con recursos limitados [7].

El uso de los modelos de programación lineal a lo largo de los años ha resultado ser muy variado y flexible, con aplicaciones desde la planeación de producción de acuerdo a la demanda de un periodo dado hasta su implementación en la creación de rutas complejas en compañías de entrega de paqueterías.

En el caso de las dietas, el problema fue puesto en cuestión por primera vez por Stigler, en donde se planteó la incógnita de cuanto sería el costo mínimo de subsistir de una persona promedio en los estados unidos durante los años de 1939 y 1944. Debido a que la programación lineal no se había definido como técnica para este tiempo ni se había ideado un método de resolución para esta clase de problemas, Stigler utilizó las restricciones planteadas como inecuaciones del modelo para encontrar una resolución de forma aproximada. [2]

El problema de Stigler evolucionó con el paso de los años, integrando distintas técnicas de resolución del algoritmo en conjunto con herramientas más avanzadas. Garille planteó el modelo de forma expandida, en donde para incorporar una mayor variedad de ingredientes en la dieta, se utilizaron modelos en donde solamente se cumplían los requerimientos mínimos nutricionales y otro en donde estos requerimientos se sobrepasaban para obtener un exceso de nutrientes [8].

La importancia de la programación lineal en la determinación de dietas humanas llevó a la aplicación de la técnica en la determinación de dietas para animales, más específicamente ganado. En dichas dietas se buscó minimizar el costo de producción del alimento de engorde. Dependiendo de la especie, el objetivo podía variar desde aumentar el peso del animal, hasta aumentar la producción de leche o huevo.

Villacrés determinó un modelo para determinar raciones de alimento para animales. En su estudio se tomó en consideración una serie de factores como ser: requerimientos nutricionales del animal, raza, peso y edad; ingredientes disponibles en el mercado para formular la dieta y el análisis de composición química para los alimentos seleccionados [9].

Singh [10] se enfocó más en la determinación de dietas para cerdos de engorde. Se utilizó la técnica de programación lineal y se comparó esta misma con la técnica de self-migrating genetic algorithm (SOMGA). La herramienta de resolución del sistema fue el software TORA.

En el caso específico de perros y gatos, National Research Council establece que la mayoría de compañías comerciales y nutricionistas utilizan la herramienta de programación lineal para desarrollar dietas para animales. En el mismo reporte, establece los requerimientos nutricionales para perros y gatos en distintas etapas de vida [4]. Estos requerimientos se utilizaron como restricciones del modelo de programación lineal.

Un caso más reciente de aplicación de programación lineal en dietas de perros es el de Joba, quien dividió la solución del problema en dietas para tres distintas razas de perro en distintas etapas de vida. Para estas dietas, se realizó el cálculo de porciones de ingredientes de forma manual y mediante el uso de software, seguidamente, se compararon los resultados. Se concluyó que, al realizar las dietas de forma manual, no se cumplían los requerimientos nutricionales del animal, de la misma forma, el costo de las dietas aumentaba. Al utilizar programación lineal, se cumplían todos los requerimientos para los tres casos, al mismo tiempo que el costo total de la dieta se reducía [11].

Se han formulado de la misma forma, modelos utilizando ingredientes basados en plantas [12], dentro de los cuales se han considerado ingredientes refinados y no refinados, resultando en recetas con alto contenido de proteína y recetas con altas cantidades de fibra, comparables a concentrados disponibles en el mercado.

G. Modelo de Programación Lineal

Para esta investigación, se planteó como objetivo la minimización del costo de los ingredientes para elaborar la dieta de un perro adulto en mantenimiento de peso. Expresado en términos matemáticos, la función objetivo se define mediante la ecuación (1)

$$F.O. = Z_{\min} = \sum_{i=1}^N C_i * W_i \quad (1)$$

Ecuación 1 Función objetivo del modelo matemático.

Fuente: Elaboración Propia

En dónde:

i = tipo de ingrediente

C_i = Costo del ingrediente en lempiras

W_i = Cantidad de ingrediente a incluir en gramos

Entre las restricciones del modelo, se plantearon tres de forma general: la ecuación (2), la cual define el límite inferior de consumo nutricional, la ecuación (3) define el límite superior de consumo nutricional y finalmente, la ecuación (4) define el requisito calórico de la dieta, el cual, dependiendo del caso, toma valores de 1,000 Kcal ó 4,000 Kcal.

$$\sum_{i=1}^N M_i * W_i > L_i \text{ (Límite inferior de consumo)} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N M_i * W_i \leq L_s \text{ (Límite superior de consumo)} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N E_i * W_i = R \text{ (Requisito calórico de la dieta)} \quad (4)$$

En donde:

M_i = Nutriente contenido en el ingrediente

L_i = Límite inferior nutricional

L_s = Límite superior nutricional

E_i = Energía que aporta el ingrediente en KCal

R = Requisito calórico de la dieta, donde,

$R1 = 1,000.00 \text{ Kcal}$

$R2 = 4,000.00 \text{ Kcal}$

Con el fin de comparar costos y diferencias de composición entre dietas, se utilizaron dos variantes. La primera variante siendo de “grasas reducidas”, en la cual se cumplen los parámetros de requerimientos nutricionales establecidos por National Research Council para perros adultos en mantenimiento de peso. La segunda variante es la de “grasas aumentadas”, en donde, debido a la capacidad del animal para metabolizar grasas en su dieta, se aumentó únicamente el contenido de grasas en los requerimientos nutricionales. Al mismo tiempo, para estas dos variantes se consideró formular modelos con densidades energéticas de 1,000 Kcal y 4,000 Kcal.

A continuación, en la Tabla I se muestran los requerimientos nutricionales para perros adultos en mantenimiento de peso, dichos datos reflejados se consideraron para formular las restricciones del modelo de programación lineal detallado anteriormente.

TABLA I
LÍMITES NUTRICIONALES UTILIZADOS PARA LOS MODELOS

| Nutriente (g) | 1000 Kcal | | 4000 Kcal | | 1000 Kcal | | 4000 Kcal | |
|-----------------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| | LI | LS | LI | LS | LI | LS | LI | LS |
| Energía (Kcal.) | | 1000 | | 4000 | | 1000 | | 4000 |
| Proteína Cruda | 20 | 25 | 80 | 100 | 20 | 25 | 80 | 100 |
| Grasa Total | 10 | 18 | 40 | 72 | 10 | 40 | 40 | 55 |
| Carbohidratos | 10 | 12 | 40 | 48 | 10 | 12 | 40 | 48 |
| Calcio | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 0.5 | 1 | 2 | 4 |
| Fósforo | 0.75 | 0.75 | 3 | 3 | 0.75 | 0.75 | 3 | 3 |
| Hierro | 0.0075 | 0.0075 | 0.03 | 0.03 | 0.0075 | 0.0075 | 0.03 | 0.03 |
| Tiamina | 0.0045 | 0.00056 | 0.0018 | 0.00225 | 0.0045 | 0.00056 | 0.0018 | 0.00225 |
| Riboflavina | 0.00105 | 0.00013 | 0.0042 | 0.00525 | 0.00105 | 0.00013 | 0.0042 | 0.00525 |
| Niacina | 0.0034 | 0.000425 | 0.0136 | 0.017 | 0.0034 | 0.000425 | 0.0136 | 0.017 |
| Vit. A | 0.000303 | 0.0000379 | 0.001212 | 0.001515 | 0.000303 | 0.0000379 | 0.001212 | 0.001515 |
| Potasio | 1 | 1 | 4 | 4 | 1 | 1 | 4 | 4 |
| Sodio | 0.075 | 0.2 | 0.3 | 0.8 | 0.075 | 0.2 | 0.3 | 0.8 |
| Zinc | 0.015 | 0.015 | 0.06 | 0.06 | 0.015 | 0.015 | 0.06 | 0.06 |
| Magnesio | 0.045 | 0.15 | 0.18 | 0.6 | 0.045 | 0.15 | 0.18 | 0.6 |
| B6 | 0.0003 | 0.0000375 | 0.0012 | 0.0015 | 0.0003 | 0.0000375 | 0.0012 | 0.0015 |
| B12 | 0.00007 | 0.00000875 | 0.00028 | 0.00035 | 0.00007 | 0.00000875 | 0.00028 | 0.00035 |

Fuente: National Research Council [4]

Debido a que no existía un límite establecido para los carbohidratos contenidos en la dieta, se consideró apropiado tomar un valor similar al límite de las grasas dado que, a pesar de que el perro sea un animal omnívoro por naturaleza, este necesita una fuente de proteína animal bastante consistente dentro de su dieta. [13]

Se seleccionó una variedad de ingredientes disponibles en el mercado nacional como potenciales ingredientes de las dietas a formular como se muestra en la Tabla II, se excluyeron ingredientes que pudiesen resultar nocivos para la salud del animal, por ejemplo: ajo, cebolla, condimentos, uvas, trigo, harinas y azúcares. De la misma forma, se incluyó una selección de suplementos para evitar deficiencias nutricionales en las dietas formuladas.

TABLA II
INGREDIENTES CONSIDERADOS PARA REALIZAR EL MODELO

| Carne de Pollo: | Carne de Cerdo | Carne de Res |
|--|--|--|
| Alas Piernas Pechuga Pollo Entero Menudos Huevo | Chicharrón Carne con Tocino Chuleta Costilla Lomo Tajo | Molida Especial Molida Super Costilla Tajo Carne semiamarga de toro Carne semiamarga de vaca Hígado |
| Pescados y Mariscos | Granos y Cereales | Verduras y Hortalizas |
| Tilapia Corvina Macarela Bagre Robalo Jaiba | Arroz blanco Arroz en miga Arroz precocido Avena Sorgo Soya | Brócoli Camote naranja Camote rojo Coliflor Elote blanco Habichuela Jilote Maíz blanco Maíz amarillo Papa Patate Pepino Yuca Zanahoria Zapallo |
| Suplementos | | |
| Calcio Suplemento de hierro con complejo B Complejo B Sal potásica Aceite de soya Manteca de Cerdo Riboflavina | Suplemento de hierro elemental Tiamina Huevo en polvo Sal sódica | |

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de composición nutricional de los alimentos seleccionados se encontraron en la Tabla de Composición de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá & Organización Panamericana de la Salud [5]. Los datos luego fueron divididos entre 100 pues estos se muestran en el material original de acuerdo a 100 gramos de porción del alimento, en tanto que las restricciones presentadas por National Resarch Council se encuentran en gramos. [4]

Como se mencionó previamente, se eligieron como base de cálculo las densidades calóricas de 1,000 Kcal y 4,000 Kcal. Estas densidades se utilizan en la industria de alimento para mascotas y de acuerdo a estas se calcula la ración de alimento que debe consumir el animal.

La ración de alimento a consumir se calcula en base al expendimiento energético del animal. Este expendimiento depende del peso del perro y de su nivel de actividad física.

Los costos de los potenciales ingredientes se obtuvieron de mercados y supermercados de la ciudad de Tegucigalpa. Dichos costos se promediaron y se convirtieron a un valor de costo por cada gramo de ingrediente para poder obtener una equivalencia unitaria adecuada en el sistema. Cabe mencionar que los costos utilizados

El modelo fue resuelto mediante la herramienta de Solver como se presenta en la Figura 1, seguidamente, sus resultados fueron interpretados mediante comparación de composición nutricional según las tablas nutricionales presentadas en el empaque de los concentrados.

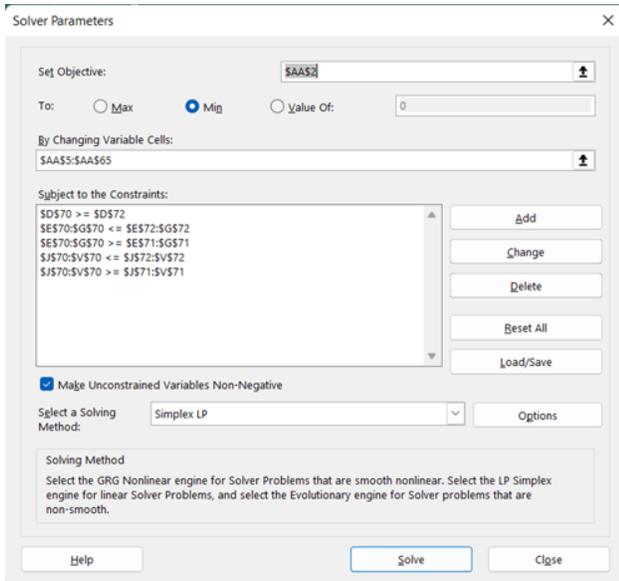


Fig. 1 Datos del modelo en la ventanilla de parámetros de Solver previo a la resolución del modelo.

Fuente: Elaboración Propia

III. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Se obtuvo un resultado óptimo para ambas variaciones de la dieta en ambas densidades energéticas, dando como resultado los ingredientes para la receta presentados en la Tabla III:

TABLA III
CANTIDAD DE INGREDIENTES OBTENIDOS POR CADA RECETA

| Dieta/Alimento (g) | 1,000 Kcal | | 4,000 Kcal | |
|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| | Dieta Grasas Reducidas | Dieta Grasas Añadidas | Dieta Grasas Reducidas | Dieta Grasas Añadidas |
| Alas | 0.332404916 | 0.334065646 | 1.318766019 | 1.336258804 |
| Pollo entero | 18.86670545 | 19.10077623 | 75.12923847 | 76.40324675 |
| Pollo, menudos | 0.051494307 | 0.060160028 | 0.155928071 | 0.240690229 |
| Pollo, pechuga | 8.314673895 | 0 | 28.87045143 | 0 |
| Chicharrón | 1.680279351 | 0 | 4.696215859 | 0 |
| Cerdo sin tocino | 5.470440035 | 0 | 30.73581016 | 0 |
| Res, Hígado | 3.897826898 | 3.842837701 | 15.59849636 | 15.3606301 |
| Macarela | 0 | 11.08518789 | 0 | 44.36099778 |
| Huevo blanco | 0.321275522 | 0.254085213 | 1.280627849 | 1.016790324 |
| Soya clasificada | 38.8601398 | 39.1274529 | 155.748471 | 156.5116234 |
| NOW Calcio | 0.385395584 | 0.387360892 | 1.541044951 | 1.549436509 |
| Sal potásica | 0.42460733 | 0.416372478 | 1.642659654 | 1.665375561 |
| Aceite Soya | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Manteca Cerdo | 1.68309473 | 4.251469932 | 5.747391542 | 17.2331326 |
| Riboflavina Suplemento | 0.000641851 | 0.000641207 | 0.002544756 | 0.002565184 |
| Hierro Suplemento | 0.000676999 | 0.000693957 | 0.002730157 | 0.002775905 |
| Tiamina Suplemento | 4.8721E-05 | 7.24204E-05 | 0.000126599 | 0.000289649 |
| Sal | 0.126868182 | 0.123314379 | 0.501102405 | 0.493230327 |
| Total peso (g) | 80.41657358 | 78.98449087 | 322.9716053 | 316.1770432 |

Fuente: Elaboración Propia

En donde los valores para la función objetivo planteada toman los valores de la fila F.O. de la Tabla IV:

TABLA IV
VALOR DE FUNCIÓN OBJETIVO DE LOS MODELOS Y COSTO DEL ALIMENTO POR PESO

| | Utilizando 1,000 Kcal | | Utilizando 4,000 Kcal | |
|-------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| | Dieta Grasas Reducidas | Dieta grasas añadidas | Dieta Grasas Reducidas | Dieta grasas añadidas |
| F.O. | 4.95 | 4.57 | 20.05 | 18.28 |
| L./g | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| L./lb | 27.94 | 26.25 | 28.18 | 26.24 |

Fuente: Elaboración Propia..

Se utilizó como unidad monetaria el lempira hondureño (1 dólar estadounidense = 24.64 lempiras para inicios de septiembre del año 2022), así mismo, se planteó el resultado de acuerdo a unidades del sistema internacional de medición y de acuerdo al sistema inglés pues este último es el más comúnmente usado en el país.

La función objetivo (F.O) es el costo del alimento por cada porción de alimento equivalente a R calorías. De igual forma, se calculó el costo por cada gramo de alimento en cada una de las dietas y para comparación con las dietas en el mercado, se consideró la conversión de este valor a cada libra de alimento.

Se obtuvo que las dietas con menor costo de ingredientes fueron aquellas que contenían una mayor cantidad de grasa, esto a pequeñas escalas puede resultar poco significativo, sin embargo, la diferencia al llevar la receta a mayor escala puede impactar en la factibilidad de producción del alimento.

Para las cuatro recetas obtenidas, se presentó un cumplimiento de los requerimientos nutricionales establecidos en las restricciones como se muestra en la Tabla IV y la Tabla V:

TABLA V
VALORES NUTRICIONALES OBTENIDOS EN DIETAS DE 1,000 KCAL CON RESPECTO A RESTRICCIONES DEFINIDAS

| Alimento/Nutriente (g) | Grasas Aumentadas | | | Grasas Reducidas | | |
|------------------------|-------------------|--------|---------|------------------|--------|---------|
| | Valor Obtenido | LI | LS | Valor Obtenido | LI | LS |
| Energía (Kcal.) | 1000 | | 1000 | 1000 | | 1000 |
| Proteína Cruda | 22.29456 | 20 | 25 | 25 | 20 | 25 |
| Grasa Total | 16.27295 | 10 | 18 | 13.8 | 10 | 40 |
| Carbohidratos | 12 | 10 | 12 | 12 | 10 | 12 |
| Fibra Dietaria | 3.638853 | | | 3.613993 | | |
| Ceniza | 2.392928 | | | 2.397831 | | |
| Calcio | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 1 |
| Fósforo | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| Hierro | 0.0075 | 0.0075 | 0.0075 | 0.0075 | 0.0075 | 0.0075 |
| Tiamina | 4.5E-4 | 4.5E-4 | 5.6E-4 | 4.5E-4 | 4.5E-4 | 5.6E-4 |
| Riboflavina | 0.001 | 0.001 | 0.0013 | 0.001 | 0.001 | 0.0013 |
| Niacina | 3.4E-3 | 3.4E-3 | 4.25E-3 | 3.4E-3 | 3.4E-3 | 4.25E-3 |
| Vit. A | 3.79E-4 | 3.0E-4 | 3.79E-4 | 3.79E-4 | 3.0E-4 | 3.79E-4 |
| Potasio | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sodio | 0.075 | 0.075 | 0.2 | 0.075 | 0.075 | 0.2 |
| Zinc | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| Magnesio | 0.122515 | 0.045 | 0.15 | 0.116623 | 0.045 | 0.15 |
| B6 | 3.0E-4 | 3.0E-4 | 3.75E-4 | 0.0003 | 0.0003 | 3.75E-4 |
| B12 | 7.0E-6 | 7.0E-6 | 8.75E-6 | 7.0E-6 | 7.0E-6 | 8.75E-6 |

Fuente: Elaboración Propia

TABLA VI
VALORES NUTRICIONALES OBTENIDOS EN DIETAS DE 4,000 KCAL CON
RESPECTO A RESTRICCIONES DEFINIDAS

| Alimento/Nutriente (g) | Grasas Aumentadas | | | Grasas Reducidas | | |
|------------------------|-------------------|--------|---------|------------------|--------|---------|
| | Valor Obtenido | LI | LS | Valor Obtenido | LI | LS |
| Energía (Kcal.) | 4000 | | 4000 | 4000 | | 4000 |
| Proteína Cruda | 89.18 | 80 | 100 | 100 | 80 | 100 |
| Grasa Total | 65.32 | 40 | 72 | 55 | 40 | 55 |
| Carbohidratos | 48 | 40 | 48 | 48 | 40 | 48 |
| Fibra Dietaria | 14.55 | | | 14.48 | | |
| Ceniza | 9.57 | | | 9.62 | | |
| Calcio | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 |
| Fósforo | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Hierro | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| Tiamina | 0.0018 | 0.0018 | 0.00225 | 0.0018 | 0.0018 | 0.00225 |
| Riboflavina | 0.0042 | 0.0042 | 0.00525 | 0.0042 | 0.0042 | 0.00525 |
| Niacina | 0.0136 | 0.0136 | 0.017 | 0.0136 | 0.0136 | 0.017 |
| Vit. A | 0.0015 | 0.0012 | 0.0015 | 0.0015 | 0.0012 | 0.0015 |
| Potasio | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Sodio | 0.3 | 0.3 | 0.8 | 0.3 | 0.3 | 0.8 |
| Zinc | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Magnesio | 0.49 | 0.18 | 0.6 | 0.47 | 0.18 | 0.6 |
| B6 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0015 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0015 |
| B12 | 2.8E-5 | 2.8E-5 | 3.5E-5 | 2.8E-5 | 2.8E-5 | 3.5E-5 |

Fuente: Elaboración Propia

Se tomó para comparación aquellas dietas que mostraban un rendimiento nutricional mayor, por lo cual se seleccionaron las dietas con grasas reducidas de 4,000 Kcal y la dieta con grasas añadidas de 1,000 Kcal.

Seguidamente, se tomó el contenido nutricional porcentual reflejado en las tablas de Información Nutricional de seis marcas de alimento seco para perros disponibles en el mercado hondureño (ver Tabla VII).

TABLA VII
COMPARACIÓN PORCENTUAL ENTRE DIETAS SECAS Y DIETAS OBTENIDAS
MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL

| Alimento Nutriente | Pet Master | Dogui | Dog Chow | Alpo | Member's Selection | Kirkland | Dieta Propuesta Grasas añadidas 1,000 Kcal | Dieta Propuesta Grasas reducidas 4,000 Kcal |
|---------------------------------|------------|---------|----------|------|--------------------|----------|--|---|
| Proteína Cruda | 18% | 21% | 21% | 19% | 26% | 26% | 28.23% | 30.96% |
| Grasa Cruda | 8.5% | 9.5% | 10% | 7.5% | 14% | 16% | 20.60% | 17.03% |
| Fibra Cruda | 5% | 4% | 4.5% | 5.0% | 5% | 4% | 4.61% | 4.49% |
| Ceniza | 8% | 8.5% | - | 9.5% | 8% | - | 3.03% | 2.98% |
| Calcio | 1-2% | 1-2% | - | 1-2% | 1.2% | 1% | 0.63% | 0.62% |
| Fósforo | 0.8% | 0.5% | - | 0.8% | 1.6% | 0.8% | 0.535% | 0.93% |
| Energía Metabolizable (Kcal/kg) | 3,050 | 3,100 | - | - | - | 3,754 | 1,000 | 4,000 |
| Sodio | - | 0.01-1% | - | - | 0.3-0.7% | - | 0.095% | 0.093% |

Fuente: Elaboración Propia.

Aparte del hecho que las dietas realizadas cumplen con los requerimientos nutricionales establecidos, estas se comparan porcentualmente con las dietas secas disponibles en el mercado. Cabe resaltar que no todos los concentrados o dietas disponibles en el mercado especifican a detalle su contenido nutricional, omitiendo información necesaria en caso de desear agregar suplementos a la dieta diaria para mejorar la nutrición y salud del animal. Es necesario incluir esta composición para evitar consumo de nutrientes que sobrepase el límite seguro de ingesta.

TABLA VIII
PRECIOS DE ALIMENTOS SECOS PARA PERROS ADULTOS

| Alimento | Precio por gramo (L./g) | Precio por libra (L./lb) |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Petmaster | 0.04 | 16.35 |
| Dogui | 0.07 | 32.67 |
| Dogchow | 0.07 | 32.72 |
| Alpo | 0.07 | 30.52 |
| Member's Selection | 0.06 | 26.99 |
| Kirkland | 0.07 | 34.10 |
| Grasas añadidas 1,000 Kcal | 0.06 | 26.25 |
| Grasas reducidas 4,000 Kcal | 0.06 | 28.18 |

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla VIII, en comparación a las dietas secas, la dieta de grasas añadidas resultó obtener un costo más elevado a alimentos secos de la marca Petmaster. De la misma forma, se encontró que estas dietas se acercaban al precio del alimento de la marca Member's Selection, y se encontraban en un rango menor de precio que alimentos de las marcas Dogui, Dogchow, Alpo, y Kirkland.

Ambas dietas muestran entrar dentro de los parámetros normales de composición nutricional encontrados en dietas secas (croquetas) y al mismo tiempo, cumple con los requerimientos nutricionales establecidos para perros adultos en estado de mantenimiento de peso, por lo cual se pueden considerar ideales para consumo del animal.

A diferencia de las dietas elaboradas por Joba [11], las dietas formuladas no especifican requerimiento de acuerdo a raza de perro, sin embargo, solamente considera la etapa de vida adulta y como requerimiento energético, el mantenimiento de peso del animal. Con distintos parámetros encontrados en la literatura referenciada [4], se podrían formular dietas para perros cachorros, en estado de lactancia o en estado de gestación.

TABLA IX
RESULTADOS DE DIETAS FORMULADAS POR JOBA

| | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 |
|----------------|---------|--------|---------|
| Energía Kcal | 9674.5 | 749.36 | 1602.39 |
| Proteína Cruda | 403.1 | 21.32 | 92.618 |
| Calcio | 18.536 | 0.75 | 5.23 |
| Fosforo | 12.09 | 0.588 | 4.01 |
| Magnesio | 1209.31 | 200.86 | 480.72 |
| Sodio | 4031.04 | 149.87 | 881.31 |
| Grasa | 171.32 | 10.3 | 68.26 |

Fuente: Cost Optimization of Homemade Diet for Dogs[11].

En la Tabla IX, se presentan los resultados obtenidos por Joba, en donde la columna “Tipo 1” representa los resultados para un perro de raza Alaskan Malamute en estado de lactancia, la columna “Tipo 2” representan valores obtenidos para un perro de raza Beagle adulto, y finalmente, el “Tipo 3” representa el resultado para un cachorro de la raza Border Collie.

TABLA IX
COMPARACIÓN DIETAS OBTENIDAS DE 1,000 KCAL Y DIETA PARA PERRO TIPO 2

| | Joba Tipo 2 | Grasas aumentadas | Grasas reducidas | LI | LS |
|----------------|-------------|-------------------|------------------|------|-------|
| Energía Kcal | 1000 | 1000 | 1000 | | 1,000 |
| Proteína Cruda | 28.450945 | 22.29456 | 25 | 20 | 25 |
| Calcio | 1.0008541 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 |
| Fósforo | 0.7846696 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| Magnesio | 268.04206 | 122.5 | 116.6 | 45 | 150 |
| Sodio | 199.99733 | 75 | 75 | 75 | 200 |
| Grasa | 13.745062 | 16.27 | 13.8 | 10 | 18 |

Fuente: Elaboración propia

Para comparación, se realizó una interpolación lineal para poder obtener el equivalente en masa de la dieta para el perro “Tipo 2” en 1,000 Kcal, seguidamente, se comparó con las dietas de grasas aumentadas y grasas reducidas para los resultados nutricionales en común como se muestra en la Tabla X. Los indicadores nutricionales obtenidos para las dietas de 1,000 Kcal son comparables a la dieta para un perro Beagle adulto, aproximándose a su vez a los límites inferiores y superiores tomados como referencia para los modelos resueltos.

Para motivos de certeza, se sugiere utilizar la dieta de grasas reducidas pues garantiza el mantenimiento del peso y estado físico del animal al cumplir los requerimientos tanto de ingesta mínima como de ingesta recomendada a pesar de tener un costo similar a alimentos secos disponibles en el mercado.

Se debe estudiar a futuro la factibilidad de producir estas dietas a escala industrial, considerando costos directos e indirectos de fabricación para poder evaluar la competitividad de las dietas con respecto a los demás productos disponibles para compra en el mercado.

Este estudio posee limitaciones. El muestreo de los precios de los ingredientes y los alimentos secos utilizados para la comparación, se realizó a conveniencia debido al tiempo limitado y a las restricciones de movilización. De la misma forma, los resultados obtenidos solamente son aplicables para el período de tiempo en que se realizó el estudio debido a las fluctuaciones de precios de ingredientes presentadas en el mercado nacional hasta la fecha. Otra de las limitaciones identificadas fue la falta de estudios explorando la aplicación de programación lineal para formulación de dietas de perro específicamente, de igual forma, el acceso a literatura relacionada a requerimientos nutricionales para animales es escasa y en algunos casos, lleva años sin ser actualizada.

IV. CONCLUSIONES

1. Se realizó un modelo de programación lineal para obtener la dieta casera de un perro adulto físicamente activo. Se utilizaron dos variaciones en densidad energética y en cantidad de grasa para el cálculo de la receta, de las cuales se obtuvo para la dieta de grasas añadidas una composición nutricional de 28.23% de proteína cruda, 20.60% de grasa cruda, 4.61% de fibra, 3.03% de ceniza, 0.63% de calcio, 0.535% de fósforo, y 0.095% de sodio. Para la dieta de grasas reducidas se obtuvo una composición nutricional de 30.96% de proteína cruda, 17.03% de grasa, 4.49% de fibra, 2.98% de ceniza, 0.62% de calcio, 0.93% de fósforo, y 0.093% sodio. El costo obtenido para cada dieta fue de L.4.57 por 78.98 gramos (L.26.25/lb) y L.20.05 por 322.97 gramos (L.28.18/lb) respectivamente lo mostró también que la dieta propuesta podría aplicarse a presupuestos bastante accesibles.
2. Se optimizó el costo de la dieta, resultando en un total de L. 4.57 por cada porción de 78.98 gramos (L. 26.25/lb) para la receta con el costo de ingredientes más económico. En comparación con alimentos secos disponibles en el mercado del país, se encontró que supera el costo de una de las marcas analizadas, sin embargo, resulta ser una alternativa de menor costo en comparación a las otras cinco marcas mencionadas.
3. Se formularon cuatro recetas que satisfacen las necesidades nutricionales del perro, así como el costo de los ingredientes. Para las dietas de grasas reducidas, se obtuvo aproximadamente una composición de 0.4% de alas de pollo, 23.5% de pollo entero, 0.06% de menudos de pollo, 10.3% de pechuga de pollo, 2% de chicharrón de cerdo, 6.8% de carne de cerdo sin grasa, 4.8% de hígado de res, 0.4% de huevo blanco, 48.3% de soya, 0.5% de calcio, 0.5% de sal potásica, 2% de manteca de cerdo, 0.001 de hierro y tiamina, y 0.16% de sal. Para las dietas de grasas reducidas se encontró que la proporción de ingredientes consistiría en un 0.4% de alas de pollo, 24.2% de pollo entero, 0.08% de menudos de pollo, 4.9% de hígado de res, 14% de macarela, 0.3% de huevo blanco, 49.5% de soya, 0.5% de calcio, 0.5% de sal potásica, 5.4% de manteca de cerdo, 0.001% de riboflavina, 0.001% de hierro y tiamina, y 0.16% de sal.
4. Se compararon dos de las dietas formuladas con alimentos secos disponibles en el mercado, se encontró que proporcionalmente, las dietas formuladas se encontraban en un rango más elevado de proteínas y grasas, un rango similar de fibra y fósforo, en cuanto al costo.

V. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda, para trabajos futuros y de acuerdo a cada región geográfica, incluir otras variedades de ingredientes para poder obtener un mayor rendimiento costo/beneficio nutricional.

2. Se recomienda buscar alternativas de suplementos de bajo costo con buen rendimiento para complementar la dieta propuesta y lograr reducir el costo de los ingredientes.
3. Se recomienda para estudios futuros, evaluar el rendimiento nutricional del alimento luego de haber pasado por un proceso de conservación, al mismo tiempo, se recomienda evaluar su duración una vez conservado.
4. Se recomienda incluir proveedores mayoristas a la hora de realizar estudios de factibilidad para producir el alimento a gran escala.

VI. EVOLUCIÓN Y TRABAJO FUTURO

El campo de investigación futura para el presente trabajo es bastante amplio, teniendo posibilidad de expandir temas como:

1. La factibilidad de escalar a nivel industrial el proceso de elaboración del alimento, teniendo en consideración costos de producción, descuentos por volumen de compra, costos de equipo, costos de empaque y distribución.
2. La efectividad de la dieta en relación al estado físico del animal que la consume, tomando como referencia otras dietas disponibles en el mercado.
3. El comprobar el contenido proteico de la dieta tomando muestras para aplicar el método Kjeldahl de determinación de nitrógeno (comúnmente utilizado para la determinación de concentración de proteínas en alimentos).
4. Investigar la composición de alimentos de mascotas en el mercado y la razón por la cual algunos se encuentran disponibles en precios tan bajos.

REFERENCIAS

- [1] H. A. Taha, *Investigación de Operaciones*, 9a ed. Pearson, 2011.
- [2] G. J. Stigler, "The Cost of Subsistence", *J. Farm Econ.*, vol. 27, núm. 2, pp. 303–314, 1945, doi: 10.2307/1231810.
- [3] A. M. Anderson y M. D. Earle, "Diet Planning in the Third World by Linear and Goal Programming", *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 34, núm. 1, pp. 9–16, ene. 1983, doi: 10.1057/jors.1983.2.
- [4] N. R. Council, *Nutrient Requirements of Dogs and Cats*. 2003. doi: 10.17226/10668.
- [5] Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá y Organización Panamericana de la Salud, "Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica". Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, febrero de 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCALimentos.pdf>
- [6] G. B. Dantzig, "Linear Programming", *Oper. Res.*, vol. 50, núm. 1, pp. 42–47, feb. 2002, doi: 10.1287/opre.50.1.42.17798.
- [7] F. S. Hillier y G. Lieberman, *Introducción a la Investigación de Operaciones*, 9a ed. McGraw-Hill, 2010.
- [8] S. G. Garille y S. I. Gass, "Stigler's Diet Problem Revisited", 1999. <https://pubsonline.informs.org/doi/epdf/10.1287/opre.49.1.1.11187> (consultado el 16 de septiembre de 2022).
- [9] F. Villacrés G., "La programación lineal y la formulación de raciones para animales", dic. 1975, Consultado: el 19 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2677>
- [10] D. Singh y P. Saxena, "Optimization of Livestock Feed by Blend of Linear Programming and SOMGA", en *Proceedings of Fourth International Conference on Soft Computing for Problem Solving*, K. N.

- Das, K. Deep, M. Pant, J. C. Bansal, y A. Nagar, Eds., en *Advances in Intelligent Systems and Computing*. New Delhi: Springer India, 2015, pp. 345–356. doi: 10.1007/978-81-322-2220-0_27.
- [11] H. A. O. Joba, M. A. Şahman, y F. İnal, "Cost Optimization of Homemade Diet for Dogs", *Int. J. Appl. Math. Electron. Comput.*, vol. 8, núm. 4, Art. núm. 4, dic. 2020, doi: 10.18100/ijamec.828440.
- [12] A. M. Wehrmaker, N. Draijer, G. Bosch, y A. J. van der Goot, "Evaluation of plant-based recipes meeting nutritional requirements for dog food: The effect of fractionation and ingredient constraints", *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 290, p. 115345, ago. 2022, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2022.115345.
- [13] R. L. Remillard, "Homemade Diets: Attributes, Pitfalls, and a Call for Action", *Top. Companion Anim. Med.*, vol. 23, núm. 3, pp. 137–142, ago. 2008, doi: 10.1053/j.tcam.2008.04.006.