

Optimización del Costo de un Suplemento Alimenticio Nutricional para Ganado Bovino Mediante Programación Lineal

Optimizing the Cost of Dietary Supplement Nutritional for Cattle Using Linear Programming

Miguel Escamilla-López ^a
Tecnológico Nacional de México, México
miguel.escamilla@colima.tecnm.mx

Recibido: 29 abril 2024
Aceptado: 07 febrero 2025

Jesús Francisco Tejeda-Castrejón
Tecnológico Nacional de México, México

Manuel Jossué Flores-Castañeda
Tecnológico Nacional de México, México

José de Jesús Amezcua-Vivas
Tecnológico Nacional de México, México

Johann Mejías-Brito
Tecnológico Nacional de México, México

Cinthia Valladarez-Ayala
Tecnológico Nacional de México, México

Resumen:

Los altos costos de los suplementos minerales en la ganadería bovina, requiere de estrategias de reducción que mantengan la efectividad nutricional y el consumo adecuado del ganado; en el presente trabajo se diseñó y aplicó un modelo de programación lineal (PL), para la preparación de un suplemento alimenticio nutricional compuesto por diversos minerales, que debe ser suministrado al ganado bovino diariamente además de su dieta, con el objetivo de minimizar su costo sin reducir su consumo.

Los resultados obtenidos preparando el suplemento utilizando PL, sin mermar la cantidad diaria por cabeza suministrada al ganado y sin afectar su nutrición de minerales, muestran que es posible reducir el costo por kilogramo del suplemento en un 14.31%, con respecto a la forma tradicional de preparación.

Palabras clave: Suplemento, nutrición, minerales, costo, restricción.

Abstract:

The high cost of mineral supplements in cattle farming requires reduction strategies that maintain nutritional effectiveness and adequate cattle consumption. In the present work, a linear programming (LP) model was designed and applied for the preparation of a nutritional food supplement composed of various minerals, which must be supplied to cattle daily in addition to their diet, with the objective of minimizing its cost, without reducing its consumption. The results obtained by preparing the supplement using PL, without reducing the daily amount per head supplied to the cattle and without affecting their mineral nutrition, show that it is possible to reduce the cost per kilogram of the supplement by 14.31%, with respect to the traditional way of preparation.

Keywords: Supplement, nutrition, minerals, cost, constraint.

Introducción

La industria ganadera funciona básicamente como cualquier otra industria manufacturera o de servicios del mundo; busca siempre maximizar los beneficios económicos por la venta de sus productos y derivados. Existen muchas estrategias para mejorar el beneficio económico de sus actividades, como la adopción de buena raza

Notas de autor

Autor de contacto: miguel.escamilla@colima.tecnm.mx

de ganado o la que mejor se adapte a las condiciones de la región, llevar un efectivo control sobre los insumos básicos o contar con buenos sementales, entre otras [1].

Una adecuada nutrición del ganado requiere que este reciba una dieta balanceada en cuanto a proteínas, energía, agua, vitaminas, minerales y nutrientes, imprescindibles para su reproducción y crecimiento; la mayor demanda de alimentos a nivel mundial, hacen que el ganado deba soportar elevadas presiones de producción aumentando sus requerimientos. En condiciones de pastoreo, las deficiencias de proteína y energía son las causas más frecuentes del bajo desempeño productivo y reproductivo en rumiantes; en estos casos se ha demostrado que alguna deficiencia mineral puede ser la causa de las mismas [2].

Los minerales se consideran uno de los principales grupos de nutrientes en la producción ganadera; su importancia radica en que son necesarios para la transformación de los alimentos en componentes del organismo o en productos animales como leche, carne, crías, piel, etc. Las funciones más importantes de los minerales en la producción de los rumiantes, son [3]:

- Conformación de la estructura ósea y dental.
- Equilibrio y regulación de la presión.
- Sistema enzimático.
- Reproducción.
- Sistema inmunológico.

Administrar suplementos alimenticios nutricionales al ganado para compensar las deficiencias de minerales en las pasturas, es la alternativa más viable y más utilizada; sin embargo, los altos costos de estos suplementos ocasionan que el ganado no los reciba en las cantidades adecuadas, lo cual afecta su desarrollo y merma las utilidades de los ganaderos. Aquí, las técnicas y herramientas de la Ingeniería Industrial tienen un gran campo de aplicación para ayudar a los ganaderos a maximizar los beneficios. En el presente trabajo se describe el uso de la PL en la preparación de un suplemento alimenticio nutricional para el ganado bovino, con el fin de minimizar su costo; fue aplicado en un rancho ganadero de la comunidad “Los Tepames”, municipio y estado de Colima, durante el periodo de septiembre a diciembre de 2023. El suplemento analizado contiene siete componentes minerales principales, el cual debe ser suministrado al ganado bovino diariamente como complemento de su dieta; este suplemento ya ha sido utilizado durante varios años por los ganaderos de la región, con buenos resultados desde el punto de vista nutricional del ganado.

Fundamentos Teóricos

Los inicios de la Investigación de Operaciones (IO), se remontan al año 1759 cuando el economista Quesnay empieza a utilizar modelos primitivos de programación matemática, en 1874 Walras hace uso de técnicas similares. Los modelos lineales de la IO tienen como precursores a Jordan en 1873, Minkowsky en 1896 y a Farkas en 1903. Los primeros modelos matemáticos de la IO estaban basados en el cálculo diferencial e integral (Newton, Lagrange, Laplace, Lebesgue, Leibnitz, Reimman y Stieltjes), así como en la probabilidad y la estadística (Bernoulli, Poisson, Gauss, Bayes, Gosset y Snedecor) [4].

La IO ofrece a los directivos herramientas cuantitativas para la toma de decisiones que resuelven los problemas diarios de una empresa o sirven para tomar decisiones en la planeación a corto o largo plazo; sea la empresa gubernamental, de producción, de servicios, gremial o cooperativo. En la IO se aplican los siguientes seis pasos metodológicos científicos a saber [5]:

1. Análisis y definición del problema.
2. Desarrollo del modelo.
3. Selección de datos de entrada.
4. Obtención de una solución.

5. Limitaciones del modelo y la solución.
6. Utilización del modelo.

Entre las técnicas de IO más utilizadas se encuentra la PL; su popularidad se debe a que la formulación de sus modelos matemáticos es en cierta forma sencilla. La PL utiliza un modelo matemático para describir el problema; el adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales y la palabra programación no se refiere aquí a términos computacionales. En esencia, es sinónimo de planeación y por lo tanto, la PL involucra la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada (de acuerdo con el modelo matemático), entre todas las alternativas factibles [6].

Mediante la PL se representan matemáticamente problemas de planeación y control que surgen de sistemas organizados a través de funciones lineales, con el fin de encontrar una solución óptima de asignación de recursos; problemas en los cuales:

- Es posible definir un objetivo como una función lineal.
- Existen restricciones para las variables de decisión.
- La relación entre las variables de cada restricción es una función lineal.

Si se cumplen estas tres condiciones, la PL es una herramienta muy útil y valiosa para resolver todo tipo de problemas [7].

La PL se aplica a modelos de optimización donde la función objetivo y las restricciones son estrictamente lineales; la linealidad implica que la PL deba satisfacer dos propiedades: proporcionalidad y aditividad. La proporcionalidad requiere que la contribución de cada variable de decisión en la función objetivo y sus requerimientos en las restricciones, sea directamente proporcional al valor de la variable. La aditividad estipula que la contribución total de todas las variables en la función objetivo y sus requerimientos en las restricciones, sean la suma de las contribuciones o requerimientos individuales de cada variable [8].

Un modelo matemático de PL en su forma más simple, está constituido por un conjunto de constantes y variables asociadas o agrupadas por operadores algebraicos, de tal forma que a través de una expresión algebraica se representa un fenómeno empírico; los tres elementos básicos de un modelo son [9]:

Variables de decisión y parámetros. Las primeras se consideran las incógnitas que deben ser determinadas en la solución del modelo; los segundos son los datos conocidos.

Función objetivo. Establece el criterio básico en función del cual debe obtenerse la solución del modelo, que es simplemente de Maximización o Minimización.

Restricciones. Limitaciones bajo las que se deducirá la solución del modelo, que están asociadas a los recursos disponibles.

La forma estándar para representar matemáticamente un problema de PL, es con las ecuaciones 1 a 5 que se muestran a continuación [10]:

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = 19.64X_1 + 9.88X_2 + 7.40X_3 + 50.00X_4 + 3.00X_5 + 46.00X_6 + 3.20X_7 \quad (1)$$

Sujeta a las restricciones:

$$A_{1,1}X_1 + A_{1,2}X_2 + \dots + A_{1,n}X_n \leq 0 \quad (2)$$

$$A_{2,1}X_1 + A_{2,2}X_2 + \dots + A_{2,n}X_n \leq 0 \tag{3}$$

$$A_{m,1}X_1 + A_{m,2}X_2 + \dots + A_{m,n}X_n \leq 0 \tag{4}$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_n \geq 0 \tag{5}$$

El primero y más popular método matemático para encontrar la solución a problemas planteados mediante la PL, es el método Simplex, que fue desarrollado en 1947 por el Dr. George Bernard Dantzig para la fácil y rápida solución a problemas de PL; el Dr. Dantzig desarrolló el método Simplex resumiendo trabajos de muchos de sus precursores. Con el avance de las computadoras digitales, la PL se extendió en varias ramas como la programación dinámica, programación entera y programación por metas, entre otras. Aquí es importante señalar, que la PL es una herramienta particularmente efectiva en problemas de mezclas de diferentes tipos de componentes, como el caso de suplementos o dietas nutricionales.

En Uruguay, Soto, Reinoso y Oribe, utilizaron PL en la formulación de raciones al mínimo costo para la suplementación de rumiantes a pastoreo [11]. Por su parte, Rosero y Posada, desarrollaron su propio modelo de PL para formular raciones con nutrientes balanceados para rumiantes a mínimo costo en Colombia [12]. En Chile, Galindo utilizó PL para desarrollar y producir alimentos que cumplieran con todos los requisitos nutricionales propios de cada especie, mediante el aprovechamiento de recursos cada vez más limitados [13]. También en Chile, Morales utilizó PL para modelos de dietas en producciones industriales de alimento animal con datos precisos e imprecisos en sus componentes, obteniéndose ventajas económicas significativas, respecto a la vía clásica empleada tradicionalmente a nivel mundial [14]. Vargas y Gutiérrez, utilizaron PL para optimizar el costo de la dieta a base de un alimento balanceado para pollos en una empresa avícola en Chimbote, Perú [15]. A su vez, Romero y Abarca en Honduras, plantearon un modelo de PL para optimizar el costo de elaboración de un alimento casero para perros, utilizando ingredientes disponibles en el mercado [16]. Tabi, Formuló una dieta de costo mínimo para alimentación de cerdos incluyendo los insumos no convencionales suero y ariche a costo mínimo, utilizando PL también en Honduras [17].

Materiales y métodos

La elaboración tradicional del suplemento alimenticio sin utilizar PL considera dos etapas; en la primera se elabora a prueba y error un concentrado de minerales con los componentes y cantidades mostrados en la Tabla 1 [18], topando al mínimo los componentes más caros y al máximo los más baratos.

TABLA 1
Cantidades para elaborar el concentrado de minerales.

CONCENTRADO DE MINERALES.		
COMPONENTE	KILOGRAMOS	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Superfosfato	2.45	3.15
Sulfato de amonio	0.10	0.20
Sulfato de magnesio	0.05	0.15
Minerales	0.40	0.50
TOTAL	3.00	4.00

Fuente: A. Ganadera Colima.

En la segunda etapa se elabora el suplemento alimenticio con los componentes y porcentajes mostrados en la Tabla 2 obsérvese que el concentrado de minerales elaborado en la etapa 1, ahora es un componente más del suplemento alimenticio. Todos los componentes mostrados en las Tablas 1 y 2, se pueden adquirir sin problema en los almacenes agrícolas de la localidad [18].

TABLA 2
Preparación del suplemento alimenticio nutricional.

SUPLEMENTO ALIMENTICIO NUTRICIONAL		
COMPONENTE	MÍNIMO	MÁXIMO
	(%)	(%)
Sal común	65.0	75.0
Concentrado de minerales	3.0	4.0
Azufre	8.0	15.0
Cal	8.0	15.0

Fuente: A. Ganadera Colima.

Ya que el objetivo es reducir al mínimo el costo del suplemento alimenticio, entonces la Función Objetivo del modelo es del tipo minimización y queda:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_i X_j \tag{6}$$

Donde:

C_i = Costo de cada componente del suplemento.

X_j = % de cada componente en el suplemento.

$i = 1, 2, \dots, n ; j = 1, 2, \dots, m$

Esta función estará sujeta a las cantidades y porcentajes de los componentes mostrados en Las Tablas 1 y 2; la elaboración del suplemento alimenticio utilizando PL se hará en una sola etapa, por lo que todas las variables de decisión se expresarán en porcentaje. Ya que la cantidad de cada componente del suplemento está sujeta a un rango permitido, esto se soluciona fácilmente en el modelo de PL, considerando una restricción del tipo

\geq (mayor o igual que) y otra \leq (menor o igual que) para cada componente. De esta forma, las restricciones para los siete componentes del suplemento alimenticio quedan:

$$X_i \geq \% \text{ mínimo permitido} \quad (7)$$

$$X_i \leq \% \text{ máximo permitido} \quad (8)$$

Así mismo, son necesarias dos restricciones para controlar el porcentaje del concentrado de minerales en el suplemento, el cual está compuesto por los primeros cuatro componentes (tabla 1), quedando:

$$\sum_i^4 X_i \geq \% \text{ mínimo permitido} \quad (9)$$

$$\sum_i^4 X_i \leq \% \text{ máximo permitido} \quad (10)$$

También es necesaria una restricción para indicar que la suma de todos los porcentajes de los siete componentes del suplemento, debe ser igual al 100% del suplemento; esta queda:

$$\sum_i^n X_i = 100 \% \quad (11)$$

Es de notar que las restricciones de no negatividad para las variables de decisión no son necesarias, ya que esto queda implícito en las restricciones del tipo \geq (mayor o igual que) de cada una de estas.

Resultados y discusión

Para aplicar el modelo de PL propuesto, las variables de decisión para los componentes del suplemento alimenticio y sus costos asociados, son:

- X_1 = % de superfosfato en el suplemento.
- X_2 = % de sulfato de amonio en el suplemento.
- X_3 = % de sulfato de magnesio en el suplemento.
- X_4 = % de minerales en el suplemento.
- X_5 = % de sal común en el suplemento.
- X_6 = % de azufre en el suplemento.
- X_7 = % de cal en el suplemento.

- C_1 = Costo por kg de superfosfato.
- C_2 = Costo por kg de sulfato de amonio.
- C_3 = Costo por kg de sulfato de magnesio.
- C_4 = Costo por kg de minerales.
- C_5 = Costo por kg de sal común.
- C_6 = Costo por kg de azufre.
- C_7 = Costo por kg de cal.

Así mismo, los costos por kilogramo de cada componente del suplemento alimenticio se muestran en la Tabla 3 [19].

TABLA 3
Costos corrientes al mayoreo en los almacenes de la localidad.

COMPONENTES DEL SUPLEMENTO	
COMPONENTE	COSTO (\$ / kg)
Superfosfato	19.64
Sulfato de amonio	9.88
Sulfato de magnesio	7.40
Minerales	50.00
Sal común	3.00
Azufre	46.00
Cal	3.20

Fuente: Municipio de Colima.

Con base a la información anterior, el modelo de PL queda:

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = 19.64X_1 + 9.88X_2 + 7.40X_3 + 50.00X_4 + 3.00X_5 + 46.00X_6 + 3.20X_7 \tag{12}$$

Sujeta a:

$$X_1 \geq 2.45 \tag{13}$$

$$X_1 \leq 3.15 \tag{14}$$

$$X_2 \geq 0.10 \tag{15}$$

$$X_2 \leq 0.20 \tag{16}$$

$$X_3 \geq 0.05 \tag{17}$$

$$X_3 \leq 0.15 \tag{18}$$

$$X_4 \geq 0.40 \tag{19}$$

$$X_4 \leq 0.50 \tag{20}$$

$$X_5 \geq 65.00 \tag{21}$$

$$X_5 \leq 75.00 \tag{22}$$

$$X_6 \geq 8.00 \tag{23}$$

$$X_6 \leq 15.00 \tag{24}$$

$$X_7 \geq 8.00 \quad (25)$$

$$X_7 \leq 15.00 \quad (26)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq 3.0 \quad (27)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 4.0 \quad (28)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 = 100 \quad (29)$$

Se utilizó el software AB:POM (Production and Operation Management) versión 3.1 para la solución de este ejercicio. Como se observa en la Tabla 4, la solución óptima se logra con un costo mínimo de \$707.28/kg del suplemento, donde la sal común constituye el 75% de la mezcla, representando el componente más económico; también se observa que los porcentajes óptimos de cada componente para lograr este costo, son:

- Superfosfato 2.45 %
- Sulfato de amonio 0.10 %
- Sulfato de magnesio 0.05 %
- Minerales 0.40 %
- Sal común 75.00 %
- Azufre 8.00 %
- Cal 14.00 %

Ya que el consumo promedio diario para mantener el nivel de nutrición requerido por el ganado, es de 0.10 kilogramos por cabeza [20], la cantidad de suplemento a preparar variará con base al número de cabezas, entonces la cantidad de suplemento a preparar para 250 cabezas por ejemplo, es: $(0.10) \times (250) = 25\text{kg}$ y la cantidad de cada componente es:

- Superfosfato $(0.0245) \times (25) = 0.6125 \text{ kg}$
- Sulfato de amonio $(0.010) \times (25) = 0.0250 \text{ kg}$
- Sulfato de magnesio $(0.005) \times (25) = 0.0125 \text{ kg}$
- Minerales $(0.040) \times (25) = 0.1000 \text{ kg}$
- Sal común $(0.75) \times (25) = 18.7500 \text{ kg}$
- Azufre $(0.08) \times (25) = 2.0000 \text{ kg}$
- Cal $(0.14) \times (25) = 3.5000 \text{ kg}$

La Tabla 4 muestra también la contribución de cada componente al costo óptimo total y su intervalo de optimidad dentro del cual la solución sigue siendo mínima u óptima expresados en pesos; aquí se observa que este intervalo se encuentra acotado en ambos límites para el sulfato de magnesio y la cal, mientras que para el resto de los componentes se encuentra acotado en uno solo de sus límites. Por otra parte, el costo reducido significa en cuanto se debería reducir el costo de cada componente para que este sea incluido en la solución óptima; ya que los siete componentes se encuentran en esta, el costo reducido es cero para todos los componentes.

TABLA 4
 Porcentaje óptimo, costo de contribución e intervalo de optimidad expresados en pesos.

VALORES DE LAS VARIABLES BÁSICAS				
Componente	Óptimo (%)	Costo (\$)	Intervalo de optimidad (\$)	
			Desde	Hasta
Superfosfato	2.45	48.118	7.40	Inf.
Sulfato de amonio	0.10	0.988	7.40	Inf.
Sulfato de magnesio	0.05	0.370	3.20	9.88
Minerales	0.40	20.00	7.40	Inf.
Sal común	75.00	225.00	-Inf.	3.2
Azufre	8.00	368.00	3.20	Inf.
Cal	14.00	44.80	3.00	7.4
TOTALES	100.00	707.28	---	---

Fuente: propia

La Tabla 5 muestra los valores duales para los recursos o lados derechos de las restricciones, que indican el costo en pesos por kg adicional de cada componente y su intervalo de optimidad. Tomando como ejemplo el superfosfato, se observa que en la restricción del tipo “#” que es de exceso, costaría \$12.24 cada kg adicional y que su porcentaje en el suplemento alimenticio puede estar de 2.35% a 2.45% para que la solución siga siendo óptima. En la restricción del tipo “#” no hay un costo asociado por cada kg adicional, ya que esta es de holgura y se tiene un margen para aumentarlo 0.70%; en este caso el intervalo en el suplemento alimenticio es a partir de 2.45% y sin límite, para que la solución siga siendo óptima.

TABLA 5
Valores duales e intervalos de optimidad expresados en porcentaje.

RESTRICCIONES DEL MODELO				
Restricción	Valor dual (\$)	Holgura o exceso (%)	Intervalo de optimidad (%)	
			Desde	Hasta
Superfosfato \geq	-12.24	0	2.35	2.45
Superfosfato \leq	0	0.70	2.45	Inf.
Sulfato de amonio \geq	-2.48	0	0	0.10
Sulfato de amonio \leq	0	0.10	0.10	Inf.
Sulfato de magnesio \geq	0	0	-Inf.	0.05
Sulfato de magnesio \leq	0	0.10	0.05	Inf.
Minerales \geq	-42.60	0	0.30	0.40
Minerales \leq	0	0.10	0.40	Inf.
Sal común \geq	0	10.00	-Inf.	75.00
Sal común \leq	0.20	0	74.00	81.00
Azufre \geq	-42.80	0	7.00	14.00
Azufre \leq	0	7.0	8.00	Inf.
Cal \geq	0	6.0	-Inf.	14.00
Cal \leq	0	1.0	14.00	Inf.
% de minerales \geq	-4.20	0	3.00	3.10
% de minerales \leq	0	1.0	3.00	Inf.
% total	-3.20	0	4.00	101.00

Fuente: propia

La Figura 1 muestra el beneficio económico obtenido en la elaboración del suplemento, donde se observa que utilizando PL se ha logrado reducir su costo en \$118.10 por kilogramo, respecto a su elaboración sin utilizar PL, lo cual representa un ahorro del 14.31% a los precios actuales. Este ahorro se ha logrado sin mermar el consumo promedio por cabeza (0.10 kg), con lo cual es posible decir que el nivel nutricional del ganado no ha sido afectado.

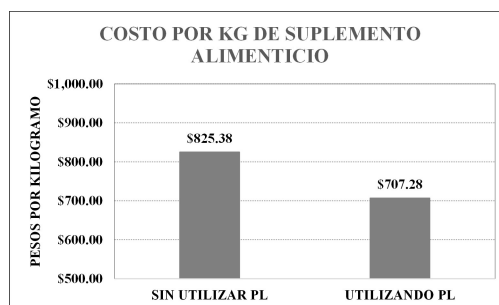


FIGURA 1
Costo por kilogramo del suplemento Alimenticio.

Fuente: propia

Conclusiones

La solución obtenida en el presente ejercicio es válida y será óptima siempre y cuando los precios de los componentes del suplemento no varíen en el mercado; la variación en el precio de un solo componente, puede cambiar la solución encontrada y los porcentajes de cada componente podrán variar. Sin embargo, si el nuevo o nuevos precios de los componentes se encuentran dentro de su intervalo de optimidad dado en la Tabla 4, la solución obtenida seguirá siendo la óptima.

Ya que la cantidad de cabezas de ganado varía constantemente debido a su continua compra-venta, la cantidad de suplemento a preparar dependerá de esto y también variará; para saber la cantidad del suplemento a preparar, solo es necesario conocer el número de cabezas que se encuentran en los corrales y realizar los cálculos correspondientes como ya se mostró.

Un cambio en la fórmula del suplemento; es decir, cambios en las cantidades mínimas o máximas de algún componente, así como el retiro, la sustitución o la adición un nuevo componente en la fórmula del suplemento, podrían generar una solución no factible; en estos casos, es necesario rediseñar a fondo el modelo de PL, con la modificación de los lados derechos de las restricciones o el retiro, modificación o adición de las restricciones necesarias.

El impacto económico de esta investigación será tangible en el corto plazo, ya que su aplicación debe ser diariamente y será más significativo conforme se tengan más cabezas de ganado que alimentar. Finalmente, el modelo de PL diseñado y utilizado en el presente trabajo, puede ser aplicado en cualquier lugar donde se tenga ganado bovino para compra-venta del mismo y sus derivados y se puedan adquirir los componentes del suplemento sin problemas.

Referencias

- [1]. Contexto Ganadero, (2016), "*Ganadería Sostenible*", Colombia. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/5-estrategias-para-tener-un-buen-pie-de-cria>
- [2]. Coria M., (2020), "*Nutrición Mineral en Ganadería*", INTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Argentina.
- [3]. Revista Electrónica de Veterinaria, (2010), "*Suplementación de minerales en la producción bovina*", vol. 11, núm. 09, pp. 1-10, Málaga, España.
- [4]. Prawda, J., (2004), *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones: Modelos Determinísticos*, Editorial Limusa, México, página 23.
- [5]. Chediak, F., (2013), *Investigación de Operaciones Volumen I*, Facultad de Ingeniería, Universidad de Ibagué, Tercera Edición, Ibagué-Colombia, página 11.
- [6]. Hillier S. y Lieberman J., (2010), *Fundamentos de Investigación de Operaciones*, Editorial McGraw Hill, México, página 14.
- [7]. Arreola, J., (1997), *Curso de Investigación de Operaciones*, C.M.B.J. "Peña Colorada", S.A. de C.V., México, página 16.
- [8]. Taha, Hamdy A., (2004), "*Investigación de Operaciones*", Editorial Pearson-Prentice Hall, 7ma. Edición, México, Páginas 13 y 14.
- [9]. Sánchez, W., (1978), *Investigación de Operaciones Aplicada a la Industria Minero-Metalúrgica (Curso Intensivo de Programación Lineal)*, Universidad de Guanajuato, México.
- [10]. Hillier S. y Lieberman J., (2010), *Fundamentos de Investigación de Operaciones*, Editorial McGraw Hill, México, página 19.
- [11]. Soto C., Reinoso V. y Oribe M., (2004), *La Programación Lineal en la Formulación de Raciones al Mínimo Costo para la Suplementación de Rumiantes a Pastoreo*, https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/64-formulacion_raciones.pdf

- [12]. Rosero R. y Posada S., (2011), *Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes*, Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, vol. 6, núm. 2, julio-diciembre, pp. 53-60, Universidad CES Medellín, Colombia.
- [13]. Galindo M., (2012), *Producción de Alimentos Apoyada con Programación Lineal*, Boletín electrónico 02, Universidad Rafael Landívar, Chile. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin02/URL_02_IND01.pdf
- [14]. Morales D., (2012), *Modelos de Programación Lineal Fuzzy en la Formulación de Alimentos para Animales*, Revista Avances en Ciencias e Ingeniería, vol. 3, núm. 4, octubre-diciembre, pp. 11-24, La Serena, Chile.
- [15]. Vargas R. y Gutiérrez J., (2018), *Aplicación de la Programación Lineal para Optimizar el Costo de una Dieta Balanceada*, Revista INGNosis, vol. 4, pp. 48-63, Universidad César Vallejo, Chimbote, Perú.
- [16]. Romero F. y Abarca I., (2023), *Elaboración de Dieta Canina Casera Nutricionalmente Balanceada de Costo Óptimo Mediante Programación Lineal*, 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development", Hybrid Event, Buenos Aires-ARGENTINA, July 17-21.
- [17]. Tabi S., (2017), *Formulación de una dieta de costo mínimo para alimentación de cerdos incluyendo los insumos no convencionales suero y ariche*, Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras, <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/048ee1f3-c982-46a0-ba91-cf5a367f4efa/content>
- [18]. Asociación Ganadera del Estado de Colima (2023). Entrevista de campo, septiembre de 2023, Colima, Colima.
- [19]. Municipio de Colima (2024). Precios corrientes al mayoreo en los almacenes agrícolas del municipio de Colima.
- [20]. Información recaudada del Rancho ganadero de la comunidad "Los Tepames" (2024), Colima.



Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94482151006>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Miguel Escamilla-López, Jesús Francisco Tejeda-Castrejón,
Manuel Jossué Flores-Castañeda,
José de Jesús Amezcua-Vivas, Johann Mejías-Brito,
Cinthia Valladarez-Ayala

**Optimización del Costo de un Suplemento Alimenticio
Nutricional para Ganado Bovino Mediante Programación
Lineal**

**Optimizing the Cost of Dietary Supplement Nutritional
for Cattle Using Linear Programming**

Conciencia Tecnológica

núm. 68, p. 62 - 73, 2024

Instituto Tecnológico de Aguascalientes,

ISSN: 1405-5597