



MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL  
UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN  
DE UNA MEZCLA DE ALIMENTO PARA  
**GANADO BOVINO**

Rosa Verónica Aburto Ruíz<sup>1</sup>, Adriana Arrellano Montes<sup>2</sup>, Enrique Torres Chávez<sup>3</sup> y Sandra Guadalupe García Aburto<sup>4</sup>.

<sup>1,2,3,4</sup>Tecnológico de Estudios  
Superiores de Jocotitlan  
Carretera Toluca-Atlaquemulco Km.  
44.8 Ejido de San Juan y San Agustín  
Jocotitlan Estado de Mexico,  
C.P. 50700.



fjadiaz@hotmail.com

Recibido: Noviembre 11, 2016

Recibido en forma revisada: Enero 12, 2017

Aceptado: Enero 30, 2017

**Resumen:** En este artículo se atiende el problema del nivel de composición de ingredientes para un alimento balanceado para ganado bovino. Se utiliza la programación lineal para determinar el nivel óptimo de componentes con el objetivo de minimizar los costos en una fórmula de alimento que mejore la proteína en la dieta alimentaria del ganado según los expertos ganaderos. Los resultados demuestran que la programación lineal permitió balancear el uso de los componentes de dicha dieta racionalizando los recursos disponibles de DDG, maíz, melaza, palmiste, pollinaza, salvado, sorgo y soya.

+ **Palabras clave:** Programación lineal, mezcla de alimento, ganado bovino.

**Abstract:** The article describes the level of composition of ingredients for a balanced feed for cattle being served. linear programming is used to determine the optimal level of components in order to minimize costs in a food formula that improves protein in the diet of cattle ranchers experts. The results show that linear programming allowed balance the use of the components of the diet rationalizing resources DDG, corn, molasses, palmiste, chicken manure, salvado, sorghum and soybean available.

+ **Keywords:** Linear programming, mixed feed, cattle.

## Introducción

El balanceo de raciones en la alimentación de rumiantes determina el aumento o disminución de la producción ya sea de carne o de leche. Se debe de entender que la formulación de raciones es el “ajuste de las cantidades de los ingredientes que, según se desee, conformar en la ración, para que los nutrientes que contenga por unidad de peso o como porcentaje de la materia seca correspondan a los que requiere el animal por alimentar” (Church, Pond, y Pond, 1990).

Para el balanceo de raciones existen diferentes métodos los cuales van desde los sencillos, hasta los que profundos, los cuales se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Métodos para el balanceo de raciones.

En este caso de estudio, se decidió usar el método de programación lineal para determinar las cantidades de ingredientes a utilizar en el balanceo de raciones para ganado bovino productor de carne.

La programación lineal (PL) es un algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales buscando siempre optimizar la función objetivo (Silva y Perin, 1996). Se desarrolló durante la segunda guerra mundial como estrategia para planificar los ingresos y egresos, reduciendo los costos de la guerra y maximizando el daño en el enemigo (Megiddo, 1991). En 1947 George Dantzig, desarrolló un método efectivo, el algoritmo simplex para resolver problemas de programación lineal, desde que surgió dicho algoritmo, la PL se utiliza para resolver problemas de optimización en industrias diversas como los bancos, la educación, silvicultura, petróleo y transporte de carga (Winston, 2011).

Este, es uno de los avances científicos más importantes del siglo pasado tomando en cuenta su impacto y campo de aplicación en las ciencias, tales como la ingeniería, economía, sociología, biología entre otras (Colo y Patrilli, 2003).

Los modelos de programación lineal generalmente se construyen a partir de los siguientes pasos:

1) Definir la función objetivo: hace referencia a la optimización que se desea alcanzar; En este caso, la función objetivo es formular una tonelada de alimento para ganado bovino al mínimo costo.

2) Definir las restricciones y criterios de decisión: Se refieren a las restricciones que se toman en cuenta para la elaboración del modelo matemático, aquí serán en cuanto a la utilización de las materias primas exclusivamente para este caso de estudio.

3) Tanto la función objetivo como las restricciones deben ser ecuaciones lineales o desigualdades lineales.

La programación lineal es una técnica que ha permitido resolver problemas sobre marketing, logística, control de inventarios, finanzas, pronósticos de ventas, transporte de materiales, planes de producción, optimización de recursos y balance de materiales localizando la cantidad adecuada.

Este artículo atiende un problema de balanceo de ingredientes en atención a una solicitud por el administrador de la empresa “Productores de carne de Misantla S.C. de R.S. de C.V.” la cual es una sociedad cooperativa de consumo dedicada a la maquila de alimentos para ganado bovino y porcino, se encuentra ubicada en el municipio de Misantla, Veracruz.

Se describe la metodología utilizada y se contextualiza, posteriormente se presenta el marco de resultados obteniendo un modelo de programación lineal mono-objetivo que determinó la proporción necesaria por tonelada de cada socio para llegar a definir una mezcla óptima al menor costo, igualmente se presentan los beneficios por haber utilizado la técnica de programación lineal mediante las conclusiones y/o recomendaciones a las que se llega al haber ya desarrollado la investigación.

## Desarrollo

Se realizó una investigación de tipo descriptiva-observatoria debido a que se detallan las mezclas utilizadas y además se hizo énfasis en la literatura de investigación de operaciones. A continuación, se describe el método utilizado para el desarrollo de este caso de estudio.

### Método

El método consiste en desarrollar los siguientes 4 puntos:

#### 1. Definir las variables

$X_i$  = Kilogramos a utilizar de la mezcla  $i$  para una tonelada de la nueva mezcla.

$n$  = Mezcla de socio  $n$ , (donde  $n=1, 2, \dots, 5$ ).

$C_i$  = Costo por kilogramo de la mezcla.

$D$  = Cantidad total de kilogramos de la nueva mezcla.

$F_i$  = Participación de utilización de cada ingrediente en la mezcla  $i$ .

$G_i$  = Cantidad de kilogramos máxima o mínima (según sea el caso) descrita en las restricciones planteadas en el caso de estudio.

#### 2. Establecer la función objetivo

$$\text{Minimizar } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_5X_5 \quad (\text{Ecuación 1})$$

#### 3. Establecer restricciones:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = D \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\frac{\sum F_i \cdot X_i}{\sum X_i} \geq G_i \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$\frac{\sum F_i \cdot X_i}{\sum X_i} \leq G_i \quad \text{(Ecuación 4)}$$

#### 4) Restricción de no negatividad:

$$X_i \geq 0 \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Es muy importante la definición de variables debido a que de ahí parte el modelo, en la ecuación 1 se describe la función objetivo que para éste caso es minimizar, haciendo referencia a los costos, la ecuación 2 hace referencia a la cantidad total de kilogramos que se requieren, en este caso serán 1000 kg debido a que se requiere conocer la cantidad para cada tonelada de la nueva mezcla, posteriormente, pueden elaborar las toneladas que sean requeridas conservando las proporciones en kilogramos por tonelada obtenidos al finalizar el modelo; las ecuaciones 3 y 4 son para determinar la cantidad máxima y mínima respectivamente de los ingredientes necesarios para la mezcla; por último, la ecuación 5 es para restringir todas las variables a que tomen valores mayores o iguales que cero, es decir, evitar que el modelo busque una solución negativa.

#### Caso de estudio

La empresa comercializadora de granos “Productores de carne de Misantla S.C. de R.S. de C.V.” es una empresa dedicada a la venta de granos enteros, molidos y además presta el servicio de maquila de alimentos para ganado bovino y porcino. Tiene la ventaja competitiva de que los clientes solicitan el alimento para proporcionarle a su ganado con las necesidades específicas de cada uno de ellos, debido a la experiencia han desarrollado la habilidad para obtener mayores ganancias a la venta de su ganado solo con la alimentación que les proporcionan.

Sin embargo, cada socio lo solicita de manera diferente, a como mejor le ha convenido respecto al presupuesto disponible de cada uno de ellos, esta es una buena estrategia para quienes cuentan con experiencia en el ramo ganadero, no obstante, la empresa se encuentra al servicio de todo público en general y como ofrecen precios bajos cada vez son más las personas que desean ser clientes frecuentes de la misma, pero al no contar con la experiencia sobre la cantidad de materias primas los nuevos clientes solicitan al administrador las recomendaciones sobre la cantidad de materias primas necesarias para elaborar su alimento, es por ello que el administrador desea conocer la cantidad en kilogramos de los ingredientes que se necesitan por tonelada de alimento maquilado al mínimo costo basada en la experiencia de cinco socios reconocidos como “clientes frecuentes”. En la tabla 1 se muestra la relación de kilogramos empleados de materia prima por tonelada que utiliza cada socio, el precio por kilogramo de materia prima y el costo por kilogramo de cada mezcla elaborada.

Materia Prima	Precio por kilogramo	Kilogramos de materia prima utilizada por cada socio para una tonelada de alimento				
		Daniel	Félix	José	Reynaldo	Ricardo
INDG	\$6.00	0	0	0	76	58
Maíz	\$4.40	100	168	0	0	168
Melaza	\$2.90	140	91	80	128	110
Palmiste	\$2.70	375	67	0	80	200
Pollinaza	\$1.55	385	0	410	250	380
Salvado	\$3.70	0	135	120	78	84
Sorgo	\$4.00	0	337	390	388	0
Soya	\$8.90	0	202	0	0	0
Costo por kilogramo	\$ 2.46	\$ 4.83	\$ 2.87	\$ 3.27	\$ 2.85	

Tabla 1. Contenido de materia prima por tonelada respecto a cada socio.

Con los datos obtenidos, se procede a plantear las restricciones, mismas que fueron asignadas respecto a la decisión de los socios reconocidos como clientes frecuentes y el administrador de la empresa, acordaron que la tonelada de alimento deberá contener:





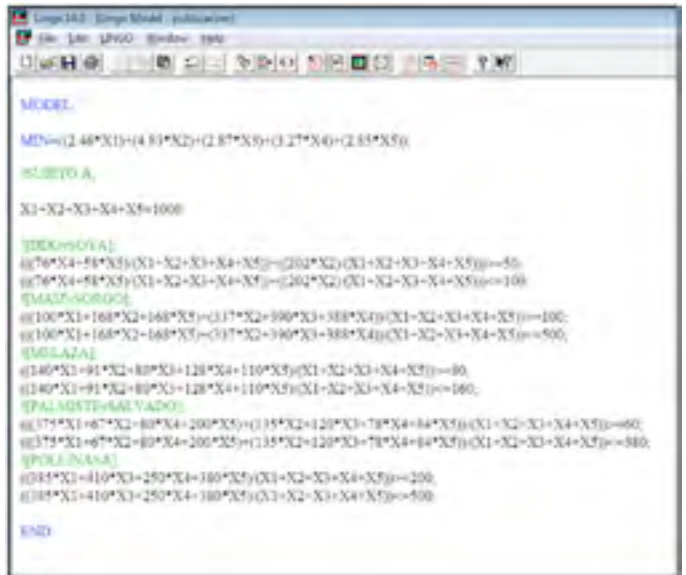
- + Más de 100 pero menos de 500 kilogramos de Maíz y Sorgo.
- + Más de 50 pero menos de 100 kilogramos de DDG (Destilado de Maíz) y Soya.
- + Más de 80 pero menos de 160 kilogramos de Melaza.
- + Más de 60 pero menos de 380 kilogramos de Palmiste y Salvado.
- + Más de 200 pero menos de 500 kilogramos de Pollinasa.

Estas decisiones las tomaron de acuerdo a experiencias y recomendaciones anteriores proporcionadas por médicos veterinarios de la localidad quienes afirman con base en sus estudios profesionales que al ganado bovino no se debe darles maíz o sorgo en exceso porque existe riesgo de causar enfermedades mortales por acumulación de aire, también afirman que para el caso de DDG y Soya son productos que hacen engordar más rápidamente al animal sin embargo no se les puede dosificar demasiado debido a que en exceso provocan evacuaciones constantes y eses blandas lo que trae como consecuencia la deshidratación del animal. La melaza simplemente es un energizante que añade consistencia y buen sabor al alimento, es necesaria para contrarrestar el mal aroma de la pollinasa.

Con la información recopilada se procedió a formular y resolver un modelo de programación lineal que permite determinar el porcentaje de cada una de las mezclas que debe contener la mezcla nueva, de forma que resulte a un mínimo costo.

## Resultados

La forma en que se introdujeron estas restricciones a lingo se muestra en la Figura 1; una vez especificados correctamente se solicita ser resuelto y la solución que arroja se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Información requerida por lingo para resolver el modelo.**

Variable	Value	Reduced Cost
X1	137.9303	0.000000
X2	0.000000	1.000000
X3	0.000000	0.000000
X4	0.000000	0.000000
X5	862.0697	0.000000
Total (costo)	2796.200	0.000000

**Figura 3. Solución ofrecida por LINGO 14.0 al problema planteado.**

La solución óptima consiste en  $X1=137.93$ ,  $X2=0$ ,  $X3=0$ ,  $X4=0$  y  $X5=862.0690$ , lo que quiere decir que para una tonelada de alimento a un costo mínimo y que cumpla con los requerimientos indicados se necesitan 137.93 kilogramos de la mezcla 1 del socio Daniel y 862.07 kilogramos de la mezcla 2 del socio Ricardo y tendrá un costo de \$2,796.20.

Los kilogramos de materia prima empleada por tonelada se obtienen por regla de 3 y se muestran en la Tabla 2.

Materia Prima	Socio		Total
	Daniel	Ricardo	
DDG	0	50.000002	50.000002
Maíz	13.7931	144.827592	158.620692
Melaza	19.31034	94.82759	114.13793
Palmiste	51.724125	172.4138	224.137925
Pollinaza	53.103435	327.58622	380.689655
Salvado	0	72.413796	72.413796
Sorgo	0	0	0
Soya	0	0	0
$\Sigma$	137.931	862.069	1000

**Tabla 2. Kilogramos de materia prima requeridos para elaborar la nueva mezcla a un costo óptimo.**

## Conclusión

Las bondades de esta propuesta de formulación por tonelada ayudan al administrador de la empresa a ofrecer una mezcla económica de alimento para ganado bovino, cabe mencionar que la desventaja que se tiene es que se hace en base a la experiencia de los clientes frecuentes que son considerados expertos en el ramo ganadero por su larga y exitosa trayectoria, sin embargo, es recomendable hacer un estudio mayormente enfocado en la obtención de nutrientes, proteínas, vitaminas y minerales necesarias por el ganado bovino, en el cual se pueden incluir diseño de experimentos para su mayor credibilidad. O como en otros artículos, incluir la composición química del alimento base y de las materias primas disponibles (Rosero, 2011).

La solución obtenida mostró las proporciones de mezcla a utilizar como parte de la mezcla óptima, y a su vez los kilogramos exactos de materia prima a emplear por tonelada de la nueva mezcla. Cabe mencionar que el costo por tonelada de formula sugerida variará de acuerdo con el precio de los materiales al momento de su elaboración, sin embargo, los kilogramos permanecen constantes y esto permite calcular sin problema alguno el costo total por tonelada de alimento elaborado.

Como trabajo futuro se propone la especificación de otras restricciones dentro del modelo de optimización por ejemplo considerar detalladamente los requerimientos nutricionales de acuerdo a la etapa en la que se encuentre la especie animal a la cual se destinará la ración, se pretende elaborar más adelante como sustento para el desarrollo de una tesis.

El tema central del caso de estudio fue el balanceo para la mezcla de ganado bovino de carne abriendo la posibilidad de realizar el estudio para ganado lechero tomando en consideración como restricciones las proporciones de nutrientes necesarias para el aumento de su producción dependiendo de que razas se encuentren dentro del hato ganadero. Además de que el balanceo de raciones se pudiera realizar también en otro tipo de ganado como el porcino, equino, caprino, ovino o en la avicultura.

## Agradecimientos

Agradecemos la disponibilidad y atención de los socios fundadores de la empresa "Productores de carne de Misantla S.C. de R.S. de C.V." en especial a su administrador el C. Rafael Ruíz Fernández por su amplia colaboración al otorgarnos la información necesaria para el desarrollo de este caso de estudio. Asimismo, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su dedicación en la promoción y estímulo del desarrollo de la ciencia y la tecnología en este país.

## Bibliografía

†Rosero R y Posda S.L., Ortíz D.M. (2011). *Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes*. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, Vol 6 (2): 53-60 ISSN 1900-9607.

†Silva, F.A.; Perin, CF.(1996). *Programación Lineal por Partes: Revisión Teórica y aplicaciones*. Belo Horizonte.16 (2): 146-163.

†Megiddo, Nimrod (1991). *Linear Programming For the Encyclopedia of Microcomputers*. Stanford University.  
<http://theory.stanford.edu/~megiddo/pdf/lpencyc1.pdf>

†Winston, Wayne L. (Julio 2011). *Investigación de Operaciones, Aplicaciones y Algoritmos, 4ª Edición*. Ixtapaluca Edo. De México: CENGAGE Learning. ISBN 13:#978-970-686-362-1 ISBN 10:#970-686-362-1.

†Colo, A; Patriitti, H. (2003). *Introducción a la producción lineal*. Uruguay.  
<https://www.utu.edu.uy/utu/inicio.html>

†Taha, Hamdy A. (1995). *Investigación de Operaciones, 5ª Edición*. México, D.F.: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A. de C.V. ISBN #970-15-0115-2

†Church, D., Pond, W. y Pond, K. (1990). *Fundamentos de nutrición y alimentación animal*. México: Limusa.

†Rivas, D. L. (2014). *Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora de en el Cantón Cevallos*. Quito, Ecuador:

## Notas Biográficas

†La II. Rosa Verónica Aburto Ruíz es Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, actualmente se encuentra realizando estudios de posgrado en el ITSM como aspirante a Maestra en Ingeniería Industrial.

†La II. Adriana Arellano Montes es Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, actualmente se encuentra realizando estudios de posgrado en el ITSM como aspirante a Maestra en Ingeniería Industrial.

†El II. Enrique Torres Chávez es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, actualmente se encuentra realizando estudios de posgrado en el ITSM como aspirante a Maestro en Ingeniería Industrial.

†La M.C. Sandra Guadalupe García Aburto es Maestra en Ciencias por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz. Actualmente se desempeña como profesora de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz.

