Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Matemáticas
Escuela Profesional de Investigación Operativa

Modelo de Programación Lineal para obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa

AUTOR

Michel James VILLALOBOS VALENCIA

ASESOR

Dr. Paulo César OLIVARES TAIPE

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Villalobos, M. (2024). *Modelo de Programación Lineal para obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Michel James Villalobos Valencia
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47571940
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Dr. Paulo César Olivares Taipe
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10288397
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9989-0709
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Mg. Lucy Haydeé De la Cruz Cuadros
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06554824
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mg. Mónica Ivonne Zavala Soto
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41607378
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.3.5. Aplicaciones de herramientas de IO a la producción de bienes y servicios

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	abril 2024
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

DECANATO

Anexo 6

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
PARA OBTENER EI TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

En la Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 15:20... horas del día viernes 12 de abril de 2024, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador de Tesis:

Mg. Lucy Haydeé De la Cruz Cuadros	(Presidenta)
Mg. Mónica Ivonne Zavala Soto	(Miembro)
Dr. Paulo César Olivares Taipe	(Miembro-Asesor)

Para la sustentación de la Tesis intitulada: MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA OBTENER LA MEZCLA ÓPTIMA DE INSUMOS USADA COMO ALIMENTO PARA EL ENGORDE DEL GANADO VACUNO EN EL CENTRO DE ENGORDE VILLA S.R.L., presentado por el señor Bachiller Michel James Villalobos Valencia, para obtener el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Luego de la exposición de la tesis, la presidenta invitó a la expositora a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del jurado, el expositor mereció la aprobación ***Aprobado con mención*** .....BUENO..... con un calificativo promedio de: DIECISEIS.... (16).

A continuación, los miembros del jurado dan manifiesto que el participante señor Michel James Villalobos Valencia, en virtud de haber aprobado la sustentación de su Tesis, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Siendo las 16:00 horas, se levantó la Sesión, firmando para constancia la presente Acta en tres (3) copias originales o archivo PDF.

PRESIDENTA
Mg. Lucy Haydeé De la Cruz Cuadros

MIEMBRO
Mg. Mónica Ivonne Zavala Soto

MIEMBRO-ASESOR
Dr. Paulo César Olivares Taipe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Vicerrectorado de Investigación y Posgrado

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **PAULO CESAR OLIVARES TAIPE**. en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°000010-2024-D-FCM/UNMSM de la tesis, cuyo título es **"Modelo de Programación Lineal para obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L"** presentado por el bachiller **Villalobos Valencia, Michel James** para optar el título de LICENCIADO EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **14%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación e n el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor _____



DNI: 10288397

Nombres y apellidos del asesor: Paulo Cesar Olivares Taipe

UNMSM

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y a mis profesores que motivaron e impulsaron alcanzar este logro tan ansiado para mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar, a mis padres por su apoyo incondicional, a mi asesor Paulo Olivares por brindarme parte de su tiempo durante la elaboración de la tesis y a Don Ricardo Pebe gerente general de la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L. quien me brindó la oportunidad de realizar la siguiente investigación para su empresa.

INDICE

Dedicatoria……i

Agradecimiento……ii

Índice……iii

Lista de tablas……v

Lista de figuras……vi

Resumen……vii

Abstract……viii

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1
   1.1. Introducción 1
   1.2. Situación Problemática 2
   1.3. Formulación del Problema 3
      1.3.1. Problema General 3
      1.3.2. Problemas Específicos 3
   1.4. Justificación 3
      1.4.1. Justificación Teórica 3
      1.4.2. Justificación Práctica 3
      1.4.3. Justificación Metodológica 3
   1.5. Objetivo 4
      1.5.1. Objetivo General 4
      1.5.2. Objetivo Específico 4
   1.6. Limitaciones 4
      1.6.1. Limitaciones de Espacio: 4
      1.6.2. Limitaciones de Tiempo: 4
      1.6.3. Limitaciones de Recursos: 4
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 5
   2.1. Antecedentes 5
      2.1.1. Internacionales 5
      2.1.2. Nacionales 6
   2.2. Bases Teóricas 7
      2.2.1. Programación Lineal 7
         2.2.1.1 Historia 7
         2.2.1.2 Definición 8
         2.2.1.3 Componentes 8
         2.2.1.4 Métodos de Solución 9
      2.2.2. Mezcla de Insumos 12
         2.2.2.1 Definición de Mezcla 12

2.2.2.2 Tipos de Mezclas 12
2.2.2.3 Tipos de Mezcladoras 12
2.2.2.4 Definición de Insumos 13
2.2.2.5 Requerimiento Nutricional 13
2.2.2.6 Métodos para la formulación de raciones 14
2.2.2.7 Software de Optimización 15
2.2.2.8 Definición de Términos 15
3. CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES 17
3.1. Hipótesis 17
3.1.1. Hipótesis Nula 17
3.1.2. Hipótesis Alternativa 17
3.2. Variable 17
3.2.1. Variable Independiente 17
3.2.2. Variable Dependiente 17
3.2.3. Operacionalización de las Variables 18
4. CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 19
4.1. Tipo de investigación 19
4.2. Nivel de investigación 19
4.3. Diseño de investigación 19
4.4. Enfoque de la investigación 19
4.5. Población y Muestra 19
4.5.1. Población 19
4.5.2. Muestra 19
4.6. Técnica e instrumento de recolección de datos 19
4.7. Procedimiento de recolección de datos 20
4.8. Técnica para el procesamiento y análisis de datos 20
5. CAPÍTULO V: RESULTADOS 21
5.1. Presentación y Análisis de resultados 21
5.2. Resultados 31
5.3. Contrastación de la Hipótesis 31
6. CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN 32
7. CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 33
7.1. Conclusiones 33
7.2. Recomendaciones 33
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Coeficientes de las variables de holgura y artificiales……11

Tabla 2: Precio de los insumos…….22

Tabla 3: Aporte nutricional de ingredientes para ganado vacuno…….23

Tabla 4: Rango de exigencias nutricionales para vacuno en edad adulta…….....24

Tabla 5: Cantidades máximas y mínimas permisibles de cada insumo por tonelada de mezcla…….24

Tabla 6: Matriz de consistencia…….…….....37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: PPL resuelto mediante el Método Gráfico……10

Figura 2: Modelo de Programación Lineal para formulación de una ración en corrales de engorde……..14

Figura 3: Interfaz software Lingo…….15

Figura 4: Interfaz Centro de Engorde Villa S.R.L…….26

Figura 5: Llenado y etiquetado de datos……26

Figura 6: Calculo de valor nutricional……...27

Figura 7: Cantidad total a preparar……27

Figura 8: Modelo en el software Lingo……...……..28

Figura 9: Solución óptima…….28

Figura 10: Cuadro informativo mes de agosto 2022……...…..29

Figura 11: Rangos de variación de los precios de insumos…….…..30

Figura 12: Depósito de materias primas……38

Figura 13: Tonelada insumo pepa de algodón……...……38

Figura 14: Molino……..39

Figura 15: Mezcladora de insumos……39

Figura 16: Llenado de costales……..40

Figura 17: Distribución del producto final hacia los puntos de venta…….…..40

Figura 18: Alimentación del ganado bovino…….…..…41

Figura 19: Separación de los bovinos para su venta…….…….41

Figura 20: Informe de laboratorio…….…….42

RESUMEN

"Modelo de Programación Lineal para obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L"

Villalobos Valencia, Michel James
abril 2024

Asesor: Dr. Paulo César Olivares Taipe
Título obtenido: Licenciado en Investigación Operativa

La presente investigación es de tipo aplicada, no experimental con un enfoque cuantitativo, la cual tuvo por finalidad obtener una mezcla óptima a partir de la combinación de diferentes insumos usados como alimento para el engorde del ganado vacuno en periodo de confinamiento en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L. usando un modelo de programación lineal.

La investigación duró aproximadamente tres meses, durante este tiempo se realizó la visita a la empresa para recopilar información y comprender su proceso de producción. Se trabajó con una muestra de alimentos que contenía 11 insumos y para el tratamiento de los datos se usó una plantilla de Excel el cual fue conectado al software Lingo para su posterior análisis.

Los resultados obtenidos al aplicar el modelo matemático de Programación Lineal para elaborar una mezcla de 1000 kg al mínimo costo indican que se deberían usar 300 kg de afrecho, 4 kg de bicarbonato de sodio, 80 kg de broza de espárrago, 74.97 kg de coronta de maíz, 1 kg de custom pack, 152.74 kg de maíz molido, 220 kg de panca de maíz, 80 kg de palmiste, 6 kg de sal, 73.29 kg de torta de soya y 8 kg de carbonato de calcio obteniendo un aporte nutricional del 87.66% de materia seca, 12% de proteínas totales, 56% de nutrientes digestivos totales, 17.13% de fibra cruda, 0.55% de calcio, 0.45% de fósforo y 0.42% de sodio incurriendo en un costo total de S/922.49.

Finalmente se concluye que el modelo de programación lineal ayudó a reducir los costos asociados en la elaboración final de la mezcla en un 13.59% respecto del costo generado en el último año, obteniendo una mayor utilidad para la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.

PALABRAS CLAVES: Mezcla óptima, insumos, ganado vacuno, confinamiento, Programación lineal

ABSTRACT

"Linear Programming Model to obtain the optimal mix of inputs used as feed for the fattening of cattle at the Villa S.R.L Fattening Center"

Villalobos Valencia, Michel James

april 2024

Adviser: Paulo César Olivares Taipe
Degree Obtained: Graduate in Operations Research

The present research is of an applied, non-experimental type with a quantitative approach, the purpose of which was to obtain an optimal mixture from the combination of different inputs used as feed for the fattening of cattle during the confinement period at the Centro de Engorde Villa S.R.L. using a linear programming model.

The investigation lasted approximately three months, during this time a visit was made to the company to gather information and understand your production process. We worked with a food sample that contained 11 inputs and an Excel template was used to process the data, which was connected to the Lingo software for subsequent analysis.

The results obtained by applying the mathematical model of Linear Programming to prepare a mixture of 1000 kg at the minimum cost indicate that 300 kg of bran, 4 kg of sodium bicarbonate, 80 kg of asparagus brush, 74.97 kg of asparagus crown should be used. corn, 1 kg of custom pack, 152.74 kg of ground corn, 220 kg of corn kernels, 80 kg of palm kernel, 6 kg of salt, 73.29 kg of soy cake and 8 kg of calcium carbonate obtaining a nutritional contribution of 87.66 % dry matter, 12% total proteins, 56% total digestive nutrients, 17.13% crude fiber, 0.55% calcium, 0.45% phosphorus and 0.42% sodium incurring a total cost of S/922.49.

Finally, it is concluded that the linear programming model helped reduce the costs associated with the final preparation of the mixture by 13.59% compared to the cost generated in the last month, obtaining a greater profit for the company Centro de Engorde Villa S.R.L.

KEYWORDS: Optimal mix, inputs, cattle, confinement, Linear programming

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Con el pasar de los años surgen nuevas exigencias y nuevos retos en las industrias y las organizaciones ya que buscan ser cada vez más eficientes en cuanto al uso de sus recursos, es por ello que surge la necesidad de implementar métodos, herramientas y modelos que permitan alcanzar el logro de sus objetivos.

La empresa CENTRO DE ENGORDE VILLA S.R.L es una empresa privada cuya principal actividad está relacionada con la producción y venta de alimentos preparados para el engorde de ganado vacuno en etapa adulta para las razas criollas, cruzadas y Brown Swiss, lo que hace que le sea necesario el uso de una herramienta avanzada que le permita realizar una producción eficiente, minimizando sus costos y evitando los desperdicios. Para tal fin se propuso conveniente el uso de un modelo de Programación Lineal, ya que el problema a resolver presenta una similitud con lo que se denomina el problema de la dieta. Así este trabajo se estructuró en siete capítulos:

En el primer capítulo se explica acerca de la importancia de elaborar raciones balanceadas en la crianza de los animales y se describe el proceso que realiza la empresa para elaborar dichas raciones. Además, se detalla la problemática que viene atravesando la empresa durante los últimos años, así como los objetivos de la investigación.

En el segundo capítulo se muestran las investigaciones realizadas por los diferentes autores nacionales e internacionales, las bases teóricas y la definición de términos.

En el tercer capítulo se explica la hipótesis, la variable y se muestra la matriz de operacionalización de las variables

En el cuarto capítulo se describe cual fue la metodología empleada, la población en estudio y la muestra que se tomó para la investigación; así como las técnicas e instrumentos y el procedimiento de recolección de datos.

En el quinto capítulo se muestran los resultados obtenidos durante la investigación y la prueba de hipótesis.

En el sexto capítulo se detalla la comparación de los resultados con los otros autores.

En el último capítulo las conclusiones y recomendaciones emitidas por el autor.

1.2. Situación Problemática

Producir raciones balanceadas en la crianza de los animales es importante para obtener un buen rendimiento productivo y reproductivo del animal. No es posible alcanzar estos niveles si no existe un balance exacto entre las necesidades del animal y el aporte que pueden proporcionar los alimentos. (Rosero Noguera; 2011; Colombia).

Recordemos que la precisión durante la formulación de raciones es fundamental si lo que se quiere es lograr una mezcla adecuada de alimentos concentrados al menor costo posible.

La empresa CENTRO DE ENGORDE VILLA S.R.L es una empresa privada cuya principal actividad está relacionada con la venta de insumos y alimentos preparados para el engorde de ganado vacuno en etapa adulta para las razas criollas, cruzadas y Brown Swiss, así como también se dedica a la compra de ganado vacuno, para su crianza y posterior venta al mercado.

Actualmente se encuentra en proceso de crecimiento y no cuenta con un departamento de nutrición que esté al cuidado de la alimentación, evolución, crecimiento y desarrollo del ganado. Por otro lado, no cuenta con información o un estudio detallado que le permita obtener un balance adecuado entre las necesidades del animal y el aporte nutricional de los insumos.

Sin embargo, la empresa contrata los servicios de un ingeniero zootecnista el cual se encarga de la formulación y de proporcionar una lista de insumos y sus respectivas cantidades en Kg. El problema está en que debido a la variación fluctuante en los precios de los insumos con el paso de los meses, el productor ganadero se ve en la necesidad de cambiar constantemente los insumos fijados por insumos alternativos que presenten componentes nutricionales similares pero que generen un menor costo para la empresa; trayendo como consecuencia trastornos metabólicos, alteraciones gastrointestinales en el rumiante tales como diarrea la cual provoca la pérdida de la producción, retraso en el crecimiento y en algunos casos empiezan aparecer síntomas de toxicidad provocando la muerte del animal generando cuantiosas pérdidas para la empresa. Es por ello que se propone usar un método más avanzado como la programación lineal el cual permitirá obtener las cantidades adecuadas de cada insumo que se debería usar en la mezcla al menor costo posible; así como realizar un análisis de sensibilidad ante las variaciones en los precios obteniendo la producción óptima requerida por el ganadero y generando así una mayor rentabilidad para la empresa.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Cómo obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L. mediante un modelo de programación Lineal?

1.3.2. Problemas Específicos

¿Cuál es la función objetivo que permita optimizar la mezcla de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.?

¿Cuáles son las restricciones para la obtención de la mezcla final usada como alimento de engorde para ganado vacuno en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.?

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Teórica

Para la presente investigación se utilizó la Programación Lineal debido a las múltiples aplicaciones que esta tiene y a su similitud con el problema de la dieta. Obtener una ración o una mezcla óptima no solo implica cubrir ciertos requerimientos nutricionales en los que existen rangos de variación; sino que también, encontrar aquella que genere el menor costo lo cual fue posible a través del uso de esta herramienta.

1.4.2. Justificación Práctica

El modelo de programación lineal permitió a la empresa encontrar las cantidades adecuadas que se deben suministrar en la mezcla generando el menor costo posible, además de optimizar sus recursos evitando los desperdicios y trayendo consigo una mayor rentabilidad para la misma.

1.4.3. Justificación Metodológica

La presente investigación demostró que la Programación Lineal fue la herramienta más adecuada para obtener la mezcla final de los insumos al menor costo posible ya que la redujo en un 13.59%. Además, las fuentes que se usaron durante la investigación tales como guías y manuales de nutrición, así como los análisis de laboratorio fueron bastante confiables y ayudaron en la obtención de los resultados.

1.5. Objetivo

1.5.1. Objetivo General

Elaborar un modelo de Programación Lineal que permita obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.

1.5.2. Objetivo Específico

Determinar la función objetivo que permita optimizar la mezcla de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.

Determinar las restricciones para la obtención de la mezcla final usada como alimento de engorde para ganado vacuno en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.

1.6. Limitaciones

1.6.1. Limitaciones de Espacio:

El lugar donde se llevó a cabo la investigación era muy distante de mi domicilio, es por ello que no se podía acudir con frecuencia generando más demora en la investigación.

1.6.2. Limitaciones de Tiempo:

Por motivos de trabajo solo acudía los sábados para hacer el levantamiento de información y en ocasiones no coincidía con la disponibilidad del encargado de producción ya que se encontraba muy ocupado en sus labores, esto retraso más la investigación.

1.6.3. Limitaciones de Recursos:

Debido a que no se encontró suficiente información nutricional gran parte de esta se recopiló en trabajo de campo, es decir, fue brindada por los especialistas. Otra limitante fue el desconocimiento en la crianza y nutrición animal teniendo que asesorarme con ingenieros zootecnistas de la UNALM.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Nuñez, Barcenas, Mejias y Marrero (2020) en la publicación para la Revista Científica de Técnicas Agropecuarias con el tema "Sistema informático para la formulación de raciones alimenticias en la raza bufalina empleando modelos matemáticos" elaborado por docentes de la universidad agraria de la Habana diseñan un software que permita al usuario realizar una adecuada formulación de raciones para el ganado bufalino usando el Lenguaje de Programación Java, para esto se emplearon dos modelos matemáticos: Doble Cuadrado de Pearson y Simplex Dual. Finalmente, el software facilitó a los especialistas a formular raciones de una manera práctica y sencilla.

Alcívar y Yagual (2019) en la publicación del proyecto previo a la obtención del título profesional de Ingeniero de alimentos en la Escuela Superior Politécnica del Litoral del Ecuador propuso la utilización del gandul como insumo alternativo en la formulación de alimentos balanceados para cerdos y pollos de engorde debido a su alto contenido en proteínas. Para ello el autor hizo uso del método de Programación Lineal, en el que consideró los requerimientos nutricionales y el costo de los insumos obteniéndose como resultado utilizar en la mezcla 64.39% de maíz, 9.60% de soya y 21.01% de gandul para cerdos y 61.54% de maíz, 23.46% de soya y 10% de gandul para pollos; con los datos obtenidos se estimó para los 3 primeros meses una rentabilidad del 24% y un retorno de la inversión al cabo de 3 años lo cual resulta económico realizar dicho proyecto.

Santa Cruz (2018) en la publicación de su artículo para la revista UPIICSA del instituto Politécnico Nacional de México propuso un modelo de Programación Lineal para obtener la combinación óptima de la mezcla de productos cárnicos que genere el menor costo total. Para su estudio el autor consideró un total de 21 ingredientes y 15 nutrientes, además de ello diseñó una plantilla usando la programación en visual Basic con la finalidad de hacer más eficiente la obtención de los resultados, obteniendo un costo total mínimo de S/1627.18 por la mezcla; al final de su trabajo llega a la conclusión de que la Programación Lineal es la herramienta indicada para la formulación de alimentos de un producto cárnico.

De Gaetano (2018) en la publicación de su tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Nacional Rio Negro en Argentina utilizó la Programación Lineal para analizar las diferentes alternativas o escenarios frente a los cambios repentinos en los precios de los insumos y de esta manera ayudar al productor a tomar mejores decisiones. El autor consideró la categoría novillo y propuso para su alimentación el uso de la avena como sustituto del maíz debido al incremento de su precio que presento en los últimos años, obteniendo como resultado una ración diaria de avena de 2.273 kg, 6.94 kg de pastura y 170 g de mineral a un costo total mínimo de $40.21 por día, resultando ser la más apropiada económicamente.

Noguera, Posada, Ortiz (2011) en la publicación para la revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia con el tema Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes tiene por objetivo presentar el desarrollo de un modelo de programación lineal para formular raciones a un mínimo costo usando el complemento SOLVER de Excel. En dicho trabajo se concluye que la formulación de dietas usando la programación lineal permite crear diferentes escenarios productivos, lo que permite al profesional tener un mayor número de herramientas y criterios para la toma de decisiones.

2.1.2. Nacionales

Luque (2019) en la publicación de su tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos elaboró el diseño de una máquina mezcladora que permita a los pequeños ganaderos elaborar sus propios alimentos balanceados, con la finalidad de mejorar la calidad del producto y reducir su costo. Para la construcción de dicha máquina se emplearon cálculos de resistencia de materiales, estática y potencia los cuales ayudaron a la obtención de resultados. Finalmente, después de realizar algunas pruebas se concluye que el diseño propuesto por el autor ayudó a mejorar la calidad de los alimentos, para ello realizó una prueba de homogeneidad y comprobó que la mezcla resultó ser más uniforme; además en cuanto a la reducción de costos el uso de la máquina resultó ser más económica que tener que comprar el alimento ya elaborado, siempre y cuando se tenga que mezclar como mínimo 6554.2 kg de alimento balanceado por cada bimestre durante 4 años.

Valdivia (2018) en la publicación de su tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa desarrolló un modelo de Programación Lineal cuyo objetivo fue determinar un alimento balanceado para porcinos y solucionar los problemas referente a los costos que se generan durante su crianza, para ello propuso diferentes escenarios en los que el ganadero se podría encontrar según la edad, sexo y estado fisiológico del animal, además para realizar el análisis y obtener los resultados hizo uso del software Win QSB; finalmente demostró que el modelo de Programación Lineal permitió obtener un ahorro del 70 % en cuanto al costo de producción frente al costo del mercado los costos mínimos en la producción de alimentos balanceados.

Vargas y Gutierrez (2018) en la publicación de un artículo para el repositorio de la Universidad Cesar Vallejo diseñaron un modelo matemático de Programación lineal con el fin de optimizar el costo de la dieta balanceada para pollos en una empresa avícola, para dicho estudio trabajaron con una muestra de alimento usada para un total de 1 344 000 pollos. Los resultados obtenidos luego de la investigación demostraron que con el uso de la Programación Lineal se logró reducir el costo de la dieta de s/ 9 569 491.34 a s/ 6 007 657.34 alcanzando un ahorro significativo para la empresa del 36.49% lo que hizo que la propuesta sea muy rentable.

Del Águila (2016) en la publicación de su tesis para optar el grado de maestro en Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional de Trujillo diseñó un modelo de Programación Lineal para optimizar la mezcla durante la elaboración de alimentos balanceados en aves de engorde, en la que resalta tres aspectos importantes a considerar para la obtención de los resultados que son los requerimientos nutricionales, los costos y la disponibilidad de los insumos. Para dicho modelo se consideraron trece variables de decisión y una mezcla total de 100 kg; para la corrida se usó el software Lingo permitiendo obtener las cantidades adecuadas, finalmente se realizó una simulación en los precios y cantidades para analizar la variabilidad del costo total. Para concluir el autor menciona que la Programación Lineal es una herramienta muy valiosa usada en la formulación de alimentos.

López (2013) en la publicación de su tesis para optar el título profesional de ingeniero zootecnista en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, diseñó una plantilla en EXCEL usada para formular alimentos con la finalidad de proveer a los ganaderos, técnicos y profesionales interesados una herramienta informática de fácil uso, acceso y de bajo costo. Dicha plantilla permitió al usuario ingresar un máximo de 13 insumos, 7 nutrientes y un número ilimitado de restricciones; para la solución del modelo se usó el complemento SOLVER, el cual permitió obtener resultados similares al ser comparados con otros programas de formulación ya existentes.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Programación Lineal

2.2.1.1 Historia

Noguera, Posada, Ortiz (2011) resaltan que la Programación Lineal es considerada como uno de los avances científicos más importantes surgido a mediados del siglo XX durante la segunda guerra mundial.

Por su parte Fedosova, Buitrago & Britto (2011) realizaron una investigación más detallada en la que sostienen que el matemático y economista soviético Leonid Kantoróvich fue considerado como uno de los pioneros ya que inició los estudios en el área de la Programación Lineal como método de solución de problemas

físico-matemáticos, así en el año 1939 logró plantear y solucionar el primer problema con estructura de Programación Lineal.

Mas tarde en el año 1947 durante la segunda Guerra Mundial George Dantzig estructuró un Problema de Programación Lineal (PPL) para el entrenamiento, planeamiento y suministro de la fuerza aérea de los estados unidos; además fue el creador del algoritmo más famoso de la época, el Método Simplex, motivo por el cual llegó a ser reconocido como el máximo exponente de la Programación Lineal.

En 1980 el matemático ruso khachiyan propuso un algoritmo de solución elipsoidal y en 1984 tomando como base dicho algoritmo, Karmakar propuso un algoritmo elipsoidal de punto interior resultando ser muy eficiente computacionalmente.

Después del algoritmo de karmakar han surgido otros métodos de solución como el corrector primal dual de Zhao entre otros.

2.2.1.2 Definición

Fedosova, Buitrago & Britto (2011) definen a la programación lineal como una rama de la Investigación Operativa que estudia la optimización de una función lineal sujeta a un conjunto de restricciones también lineales.

Del Aguila (2016) afirma lo siguiente: "Es una técnica de optimización destinada a la asignación eficiente de recursos limitados para maximizar beneficios o minimizar costos".

Diferentes autores (Soto & Reinoso, 2014; Mendoza & Ricalde, 1993) coinciden en que esta, hace referencia a una técnica de la matemática aplicada que aborda problemas de optimización en la asignación de recursos escasos.

Por su parte Noguera, Posada, Ortiz (2011) la definen como un algoritmo matemático compuesto por ecuaciones lineales cuyo fin es optimizar la función objetivo.

2.2.1.3 Componentes

Autores como (Soto & Reinoso, 2014; Puente & Gavilánez, 2018) sostienen que todo modelo de Programación Lineal consta de tres componentes básicas los cuales son:

Variables de decisión: representan aquellos factores controlables del modelo los cuales contribuyen en la consecución de la función objetivo.

Función Objetivo: denotada por F.O. y representa lo que se busca optimizar en el modelo.

Restricciones: representan las condiciones que debe cumplir el problema que se va a resolver usando Programación Lineal.

Por su parte De Gaetano (2018) manera particular aplicó el modelo de Programación lineal para el cálculo de raciones. Dicho modelo queda estructurado de la siguiente manera:

Variables: está dada por los distintos insumos y sus cantidades en kg que puede contener la mezcla.

Función objetivo: consiste en minimizar el costo total de la ración.

Restricciones: son las condiciones que debe cumplir la ración que se desea elaborar. Adicionalmente se deben considerar las restricciones de no negatividad para garantizar que los valores que tomen las variables sean positivas o iguales a cero.

2.2.1.4 Métodos de Solución

Según Garrido (1993) existen varios métodos para resolver un PPL, entre los más sencillos se encuentran:

Método Gráfico: es aquella donde la solución es obtenida geométricamente. (Véase figura 1). Cabe destacar que este método es útil cuando el número de variables de decisión es igual a 2 (Céspedes, 2021); caso contrario se recomienda hacer uso de la programación de computadora o usar software de optimización como lo son el Lindo, Lingo, Solver, Win QSB, PHP Simplex, entre otros (Soto & Reinoso, 2014).

Los pasos a seguir para resolver un PPL usando el método gráfico son:

a. Convertir todas las inecuaciones en ecuaciones y graficarlas en el plano R^2.

b. Delimitar la región factible en el plano.

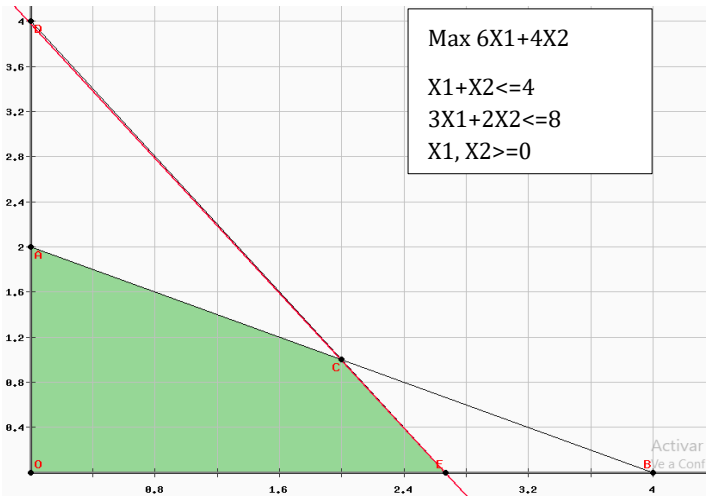
c. Calcular los puntos de intersección con los ejes coordenados y entre las rectas.

d. Evaluar dichos puntos en la función objetivo.

e. Seleccionar aquel punto cuyo valor de la función objetivo sea óptimo, es decir, el mayor valor si se trata de un problema de maximización o el menor valor si se trata de un problema de minimización.

Figura 1

PPL resuelto mediante el Método Gráfico



Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que no en todos los casos la región factible es un polígono cerrado, existen casos en los cuales la solución de un PPL presenta región infactible, esto debido a que no existen valores de las variables que satisfagan las restricciones por ende no es posible encontrar una solución óptima.

Además de esto se podrían presentar casos en los que un PPL resulte ser no acotada esto se debe a que existen valores factibles los cuales hacen la F.O. tan grande o tan pequeña.

Otro de los casos se da cuando el PPL tienen más de una solución óptima, esto ocurre cuando dos o más valores de las variables generan el mismo valor óptimo en la función objetivo (Céspedes, 2021).

Método Algebraico: es aquella cuya solución se obtiene desarrollando ecuaciones algebraicas y es de gran utilidad cuando se desea resolver PPL con más de dos variables.

Los pasos usados para resolver un PPL con el método algebraico se detallan a continuación:

a**.** Plantear el PPL en su forma estándar

b**.** Hallar una solucione básica y factible

c**.** Escoger la variable que entra y la variable que sale

d. Repetir el paso anterior hasta encontrar la solución óptima.

Método simplex: fue desarrollada por George Dantzing en el año de 1997 y es aquella cuya solución se caracteriza por su forma iterativa.

Según (Puente & Gavilánez, 2018) definen el método Simplex como un procedimiento matricial iterativo que consiste en encontrar una mejor solución al PPL partiendo de cualquier punto evaluada en la F.O. a lo que se denomina solución factible básica inicial, ya sea que se trate de un PPL de maximización o de minimización.

Etapas del método Simplex

Según (Álvarez, 2005) existen tres fases o etapas que comprenden dicha metodología. La fase inicial consiste en tomar el vértice del origen como primera solución factible, mientras que en la fase iterativa el método va buscando una solución que sea mejor que la anterior y finalmente en la etapa prueba de la optimalidad es donde se obtiene la mejor solución.

Según (Puente y Gavilánez, 2018), los pasos a seguir para resolver un PPL usando el método Simplex son:

a. Convertir el PPL a su forma estándar, cambiando las desigualdades en igualdades agregando variables de holgura o artificiales según sea el caso. Véase tabla 1.

Tabla 1

Coeficientes de las variables de holgura y artificiales

Tipo de restricción	Coeficiente de la variable holgura	Coeficiente de la variable artificial
Menor o igual que (<=)	+1	0
Mayor o igual que (>=)	-1	+1
Igual que (=)	0	+1

Nota. Datos tomados del libro de Programación Lineal para la toma de decisiones (Puente y Gavilánez, 2018)

b. Añadir variables de holgura y artificiales en la F.O. con coeficientes 0 y M respectivamente.

c. Haciendo uso de los coeficientes crear la tabla simplex.

d. Encontrar una solución que sea mejor que la anterior.

e. El problema finaliza cuando ya no se pueden obtener mejoras.

2.2.2. Mezcla de Insumos

2.2.2.1 Definición de Mezcla

Según el manual de nutrición animal (2016) el mezclado consiste en la distribución uniforme de los ingredientes de una mezcla con la finalidad de obtener un producto homogéneo.

Por su parte Del Aguila (2016) afirma que la mezcla de insumos consiste en la obtención de un alimento balanceado totalmente homogéneo.

De forma similar (Cordero, Valdez, Paneque & Gómez; 2020) afirman que la mezcla de alimentos consiste en homogenizar al conjunto de materias primas que integran una ración.

2.2.2.2 Tipos de Mezclas

Según Chachapoya (2014) en la industria de alimentos existen tres tipos de mezclas:

Seco o polvo: consiste en la agregación de sustancias sin interacción entre ellas.

Paletización: consiste en agregar vapor de agua al material molido.

Extrusión: proceso por el cual las sustancias pasan a través de una boquilla creando distintas formas de sección uniformes.

2.2.2.3 Tipos de Mezcladoras

Mezcladora horizontal:

Según Luque (2019) es utilizada para mezclar u homogenizar, presenta un movimiento lateral y radial que garantiza una mezcla completa en menor tiempo.

De forma similar Pérez (2019) sostiene que es la más usada en la industria de alimentos balanceados debido a que ofrece el menor tiempo de mezclado.

Mezcladora vertical:

Según Luque (2019) este tipo de máquinas están diseñadas para elaborar alimentos balanceados a base de harinas, pastas y concentrados.

Por otro lado, Pérez (2019) sostiene que son usadas principalmente en operaciones de plantas de alimentos pequeños. Tiene un bajo costo y no requiere mucho espacio.

2.2.2.4 Definición de Insumos

Según la RAE (2023) se entiende como el conjunto de elementos que toman parte en la producción de otros bienes.

Por su parte el manual de nutrición animal (2016) denomina a los insumos como ingredientes.

Hidalgo (2013) menciona que los insumos utilizados en la alimentación para ganado vacuno de engorde se clasifican en:

Insumos energéticos tales como el polvillo de arroz, melaza de caña, afrecho de trigo y granos de cereales como el maíz y la cebada.

Insumos proteicos tales como harina de pescado, pasta de algodón, torta de soya y la soya integral.

Insumos fibrosos tales como la coronta de maíz, panca de maíz, cáscara de algodón, broza, cáscara de cacao y orujo.

Insumos no tradicionales tales como gluten de maíz, harina de plumas, tara molida, urea, entre otras.

Los insumos mencionados anteriormente por Hidalgo (2013), en su mayoría son utilizados por la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L. para la elaboración de la mezcla final la cual fue usada como alimento para el engorde de ganado vacuno en etapa adulta para las razas criollas, cruzadas y Brown Swiss. Cabe señalar que la cantidad mínima de mezcla que produce diariamente la empresa para la venta y alimentación del ganado de alguno de sus clientes es de 20 toneladas.

2.2.2.5 Requerimiento Nutricional

Según (INATEC, 2016) la define como la concentración que necesita la mezcla para que el animal pueda cumplir con las actividades deseadas.

Por su parte según el manual de nutrición animal (2016) para la elaboración de mezclas que puedan satisfacer las necesidades de los animales, resulta imprescindible conocer tanto el contenido nutricional de los ingredientes como los requerimientos nutricionales de los animales.

Por otro lado, Hidalgo (2013) establece que los requerimientos nutricionales de mayor importancia para una óptima producción de carne son: la energía, las vitaminas, las proteínas y los minerales.

2.2.2.6 Métodos para la formulación de raciones

Según Nuñez, Barcenas, Mejias y Marrero (2020) existen diversos métodos para formular raciones que ayudan a la obtención de mezclas y van desde los más sencillos como son el método de tanteo, el método del cuadrado de Pearson y el método algebraico, hasta los más modernos como la Programación Lineal.

Prueba y Error o Tanteo: Es uno de los métodos más empleados para balancear raciones debido a su facilidad en el planteamiento y operación. Manualmente está sujeto a la utilización de pocos alimentos y nutrientes.

Cuadrado de Pearson: Permite mezclar dos alimentos que tienen concentraciones nutricionales diferentes para obtener como resultado una mezcla que tiene la concentración deseada.

Ecuaciones Simultáneas: Este método emplea el álgebra para el cálculo de raciones, planteándose sistemas de ecuaciones lineales donde se representan mediante variables a los alimentos, cuya solución matemática representa la ración balanceada.

Programación lineal: es una técnica de optimización destinada al uso eficiente de recursos para maximizar beneficios o minimizar costos.

Para el caso de la formulación de raciones, el objetivo consiste en determinar las proporciones en las cuales los insumos deben ser mezcladas para satisfacer los requerimientos del animal al mínimo costo posible. Tal como se muestra en el siguiente ejemplo de la figura 2.

Figura 2

Modelo de Programación Lineal para formulación de una ración en corrales de engorde

Variables

X1= kg de afrecho de trigo
X2= Kg de harina de soja
X3= Kg de pepa de girasol
X4= Kg de Urea

Min= 0.145X1 + 0.51X2 + 0.245X3 + 0.46X4

[R_MS] X1 + X2 + X3 + X4 = 1
[R_PT] 14X1 + 44X2 + 28X3 + 287X4>=38
[R_Úrea] X4<=0.03
[R_H. soja] X2 >=0.1

Nota. Elaboración propia

2.2.2.7 Software de Optimización

Dentro de los paquetes más potentes y populares podemos encontrar al LINGO, MPL/CPLEX y Solver de Microsoft Excel (Reinoso & Soto, 2014), de los cuales para el presente estudio se hará uso del LINGO en su versión 19.0.

LINGO

Linear, INteractive, and General Optimizer es un lenguaje de modelación matemática que a diferencia del Solver permite construir, manipular y resolver modelos lineales y no lineales de gran tamaño.

Este software además de ser de fácil uso, se puede descargar de forma gratuita en su versión Demo para estudiantes o en su versión comercial para empresas cuya última versión es LINGO 20. Véase la figura 3

Figura 3

Interfaz software Lingo



Nota. Imagen tomada de la página Lindo.com

2.2.2.8 Definición de Términos

Rumiantes: aquellos animales que tienen un estómago compuesto por 4 compartimientos o cavidades.

Bovinos: mamífero del grupo de los rumiantes perteneciente al toro o la vaca.

Vacuno: perteneciente al ganado bovino.

Novillo: bovino macho destetado que tiene entre dos o tres años.

Ración: cantidad total de alimentos que consume un animal diariamente.

Ración balanceada: constituida por distintos insumos que mezclados en proporciones adecuadas satisfacen los requerimientos exigidos por el animal.

Formulación de raciones: consiste en determinar una combinación de alimentos y sus cantidades de manera que cubran la totalidad de los requerimientos nutricionales.

Nutrición: proceso mediante los cuales un animal ingiere y utiliza todas las sustancias requeridas para su mantenimiento, crecimiento, producción o reproducción (Lassitiers y Edwards,1983)

Nutriente: son los constituyentes que conforman un alimento como las grasas, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales las cuales son usadas por el animal para su crecimiento, mantenimiento, producción y reproducción.

Materia Seca: es la parte exenta de humedad en los alimentos.

Proteína Cruda: cantidad total de proteína que contiene un alimento

Energía: expresada como nutrientes digestivas totales (NDT), energía neta de mantenimiento (ENm) y energía neta de ganancia de peso (ENg).

Energía Neta: se refiere al calor que necesita el animal diariamente expresado en mega calorías (Mcal).

Nutrientes Digestivos totales: constituidos por la sumatoria de los carbohidratos, las proteínas y los lípidos digestibles por el animal.

Minerales: son importantes en la producción de la carne.

Calcio: ayuda a la producción de leche, formación de los huesos y dientes.

Fósforo: permite obtener un buen metabolismo rumial, reproducción y crecimiento óseo.

Sodio: elemento esencial en la dieta de animales de toda edad.

Gandul: leguminosa cosechada en los ríos del Ecuador.

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis Nula

El modelo de Programación Lineal ayudó a obtener la mezcla óptima usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.

3.1.2. Hipótesis Alternativa

El modelo de Programación Lineal no ayudó a obtener la mezcla óptima usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.

Argumento

Se considerará como mezcla óptima aquella que genere el menor costo y satisfaga los requerimientos exigidos por el animal según edad, raza, tipo y origen.

3.2. Variable

3.2.1. Variable Independiente

Programación Lineal

Es una técnica de optimización destinada a la asignación eficiente de recursos limitados.

3.2.2. Variable Dependiente

Mezcla de insumos

Consiste en la obtención de un alimento balanceado totalmente homogéneo.

3.2.3. Operacionalización de las Variables

Titulo	VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
"Modelo de Programación Lineal para obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L."	Variable dependiente: MEZCLA DE INSUMOS	consiste en la obtención de un alimento balanceado totalmente homogéneo.	Insumos	Disponibilidad
				Precio
			Requerimiento	Tablas nutricionales
	Variable independiente: PROGRAMACION LINEAL	Es una técnica de optimización destinada a la asignación eficiente de recursos limitados	Variables	Cantidad de variables
			Restricciones	Número de restricciones
			Función Objetivo	Tipo de función

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo de investigación

Según Murillo (2008) el presente trabajo de investigación fue de tipo aplicado ya que se buscó poner en práctica los conocimientos adquiridos a través de la obtención de la mezcla óptima haciendo uso del modelo de Programación Lineal.

4.2. Nivel de investigación

Según Arias (2012) el nivel de investigación fue de tipo explicativo ya que con los resultados obtenidos usando el modelo de Programación Lineal se contrasta la hipótesis planteada inicialmente en la investigación.

4.3. Diseño de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010) la investigación fue de tipo no experimental u observacional ya que para su posterior análisis se realizaron constantes visitas a la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L. para observar de manera minuciosa el procedimiento que se realiza durante la elaboración de la mezcla final.

4.4. Enfoque de la investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010) la investigación tuvo un enfoque cuantitativo debido a que el procedimiento realizado para su desarrollo fue de manera secuencial y además tuvo un sustento matemático basada en un modelo de Programación Lineal.

4.5. Población y Muestra

4.5.1. Población

Insumos usados para elaborar la mezcla usada como alimento de engorde del ganado vacuno en periodo de confinamiento durante el año 2023.

4.5.2. Muestra

Insumos usados para elaborar la mezcla usada como alimento de engorde del ganado vacuno en periodo de confinamiento durante los meses de mayo a julio del año 2023.

4.6. Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica utilizada para la recolección de datos fue el análisis documental.

Así mismo los instrumentos usados para recopilar la información fueron manuales, tablas de aportes y requerimientos nutricionales, análisis de laboratorio, entre otros.

4.7. Procedimiento de recolección de datos

1) Solicitar la lista de insumos que se utilizan en la preparación de la mezcla final
2) Solicitar al área de compras los precios de los diferentes insumos que se necesitan para la preparación de la mezcla final.
3) Solicitar al ingeniero zootecnista o al nutricionista el cuadro o tabla de aporte nutricional de los ingredientes empleados para la alimentación del ganado vacuno.
4) Solicitar al ingeniero zootecnista o al nutricionista las exigencias nutricionales mínimas y máximas permitidas por el animal, así como las cantidades mínimas y máximas por tonelada de cada insumo contenidas en la mezcla para ganado vacuno en edad adulta.
5) Con la información antes consignada se procede a la elaboración del modelo.
6) Se crea una interface en Excel, en el cual ingresamos los datos a una hoja de cálculo y el modelo elaborado en el paso anterior en el software Lingo.
7) Corremos el programa y obtenemos el resultado de la mezcla.
8) Finalmente realizamos la comparación de los resultados obtenidos previos a la aplicación del modelo.

4.8. Técnica para el procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se usó una plantilla de Microsoft Excel y el Software Lingo versión 19.0

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. Presentación y Análisis de resultados

PASO 1

Los insumos utilizados para la alimentación del ganado vacuno de engorde en el Centro de Villa S.R.L. se describen a continuación:

AFRECHO DE TRIGO: o subproducto de trigo se obtiene de la molienda del trigo en el proceso de producción de harina de trigo, se caracteriza por tener bajo contenido de fibra y de grasa, además son adecuadas para acelerar el tránsito digestivo en rumiantes y para prevenir problemas de estreñimiento en cerdas.

BICARBONATO DE SODIO: es un aditivo alimentario, se obtiene mediante un proceso químico industrial a partir de cloruro sódico y carbonato cálcico. Además de ser fuente de sodio, este producto se utiliza en vacuno de alta producción para reducir la incidencia de acidosis por su capacidad tampón en rumen, y en monogástricos cuando se precisa suministrar extra sodio sin aumentar el nivel de Cl.

BROZA DE ESPÁRRAGO: es cultivado mayormente en la costa peruana y es utilizada en forma limitada en la alimentación de rumiantes debido a su bajo valor nutricional y palatabilidad.

CARBONATO DE CALCIO: es un aditivo alimentario de origen orgánico considerado como la principal fuente de calcio (Ca) utilizada en alimentación animal. En la Alimentación de Bovinos el Carbonato de Calcio es el componente esencial de los huesos, músculos, cartílagos y tendones; así mismo aumenta la producción y la calidad de la leche.

CORONTA DE MAÍZ: este insumo contiene 33% de fibra en base fresca

CUSTOM-PAK son premezclas personalizadas, desarrolladas de acuerdo a las necesidades del ganadero y bajo los siguientes criterios técnicos: Tipo de ganado (raza lechera o cárnica)

MAÍZ MOLIDO: es el grano de cereal de mayor valor energético, debido a su alto contenido en almidón y grasa, y su bajo nivel de fibra.

PANCA SECA: contiene abundante fibra, almidón y proteína puede usarse en niveles de 15 a 25%

PALMISTE: es uno de los subproductos de la extracción del aceite del fruto de la palma africana. Es considerada como un ingrediente de regular valor proteico y energético, y muy alto en fibra usada en la alimentación de bovinos en la fase de ceba en ganado de engorde.

SAL: es la principal fuente de sodio con una riqueza en cloruro sódico superior al 95%

TORTA DE SOYA: este subproducto se obtiene por la extracción del aceite del grano de soya y es considerado como un excelente suplemento proteico para ganados de engorde, su uso es limitado debido al precio y su disponibilidad en el mercado.

PASO 2

El precio de los insumos usados para la elaboración de la mezcla no permanece estable, sino que varían de acuerdo a su disponibilidad en el mercado. La información acerca del precio por Kg al cual la empresa compra los insumos se detalla a continuación. Véase tabla 2

Tabla 2

Precio de los Insumos

INSUMO	PRECIO
Afrecho	0.95
Bicarbonato	3.8
Broza de espárrago	0.48
Carbonato de calcio	0.25
Coronta de maíz	0.4
Custom pack	13
Maíz molido	1.4
Panca seca	0.45
Palmiste	0.7
Sal	0.25
Torta de soya	2.3

Nota. Precio adquirido en el mercado en el año 2022

PASO 3

El aporte nutricional de los insumos usados para vacunos fue brindado por el ingeniero Zootecnista. Dicha información fue recopilada de los estudios realizados en el laboratorio de la facultad de Zootecnia de la Universidad de la Agraria y la Molina. Véase tabla 3

Tabla 3

Aporte Nutricional empleado para Vacunos (Base Fresca)

	NUTRIENTES								
INSUMOS	%MS	%PT	%NDT	ENm	ENg	%FC	%Ca	%P	%Na
Afrecho trigo	88	14.9	58	1.35	0.82	11	0.11	1	0.04
Algodón semilla	90	20.7	86	2.17	1.40	19	0.11	0.48	0.01
Bicarbonato sodio	99	0	0	0	0	0	0	0	27
Broza espárrago	85.25	7.95	43	0.84	0.37	35	0.56	0.28	0.34
Carbonato calcio	99	0	0	0	0	0	38	0	0
Coronta maíz	90	2.5	44	0.91	0.15	31.5	0.1	0.04	0.03
Custom pack	99	0	0	0	0	0	0	0	0
Chala fresca	30	2.7	19	0.42	0.25	8.0	0.13	0.07	0.01
Gallinaza	88	24	53.6	1.14	0.59	13	5.8	0.79	0
Maíz molido	86	8	75.85	1.97	1.37	2.6	0.02	0.26	0.01
Panca seca	85.8	4.8	47.17	0.98	0.5	30	0.5	0.09	0.03
Palmiste	90	12.3	52	1.23	0.67	16	0.36	0.35	0.3
Pancamel	80	4	52.5	1.2	0.68	18	0.69	0.08	0.02
Pescado harina	90	65	72	1.75	1.16	0	3.75	2.48	1.55
Polvillo arroz	89	12.5	66	1.52	0.99	12.0	0.12	1.4	0.02
Sal	99	0	0	0	0	0	0	0	39
Torta soya	90	47	78.3	1.9	1.26	5.4	0.26	0.54	0.09

MS= Materia Seca, PT= Proteínas Totales, NDT= Nutrientes Digestivos Totales, ENm= Energía Neta de Mantenimiento (Mcal/Kg), ENg= Energía Neta Ganancia (Mcal/Kg), PC= Proteína Cruda, P= Fósforo, Ca= Calcio, Na= Sodio

Nota. Valores referenciales obtenidos de la Guía Práctica de Alimentación Animal, Palacios, 2015, Facultad de Zootecnia UNALM

Paso 4

Las exigencias nutricionales permitidas por el animal, así como las cantidades mínimas y máximas de cada insumo por tonelada para ganado vacuno en edad adulta para las razas criollas, cruzadas y Brown Swiss fueron brindadas por el ingeniero zootecnista, las cuales se muestran a continuación. Véase tabla 4 y 5

Tabla 4

Rango de Exigencias Nutricionales para vacuno en edad adulta

	REQUERIMIENTO	
NUTRIENTES	(%)min	(%)max
Materia seca	0	100
Proteínas totales	12	15
Nutriente digestivos totales	56	60
ENm Mcal/kg	1.25	1.32
ENg Mcal/kg	0.75	0.83
Fibra cruda	16	20
Calcio	0.4	0.75
Fósforo	0.3	0.6
Sodio	0	0.8

Nota. Valores obtenidos de la guía Formulación de alimentos balanceados para engorde de ganado vacuno, Agrobanco, 2013

Tabla 5

Cantidades Máximas y Mínimas permisibles de cada insumo por tonelada

	CAPACIDAD (KG/T)	
INSUMOS	MINIMA	MAXIMA
Afrecho trigo	0	300
Bicarbonato sodio	4	5
Broza espárrago	0	80
Carbonato calcio	8	10
Coronta maíz	20	100
Custom pack	1	2
Maíz molido	0	300
Panca seca	0	220
Palmiste	0	80
Sal	6	10
Torta de soya	0	100

Nota. Estos valores fueron brindados por el ingeniero zootecnista

Paso 5

Expresamos el modelo de Programación Lineal en su forma compacta

I**NDICES**

Insumo $\mathrm{i} = 1,2,3,\ldots,11$

Nutriente $\mathrm{j} = 1,2,3,\ldots,9$

DATA:
$costo_i, aporte_{ij}, requerimiento\ min_j, requerimiento\ max_j, insumo\ max_i, insumo\ min_i$

VARIABLE DE DECISIÓN

x_i : cantidad en kg del insumo i que se debe usar en la mezcla final

FUNCIÓN OBJETIVO

Para el caso de formulación de raciones corresponde minimizar el costo total de la mezcla final. (Véase la tabla 2)

$$MINIMIZAR\ \sum_{i=1}^{11} \mathrm{xi.\ ci}$$

RESTRICCIONES

Cantidad total de la mezcla a preparar debe ser igual 1 tonelada

$$\sum_{i=1}^{11} xi = 1000$$

La sumatoria del aporte proporcionado por cada kg de insumo debe ser mayor o igual al requerimiento nutricional mínimo que necesita el vacuno diariamente. (véase la tabla 3 y 4)

$$\sum_{i=1}^{11} xi\,.\,aporte_{ij} \geq requerimiento\ min_j \qquad \forall j = 1,2,\ldots,9$$

La sumatoria del aporte proporcionado por cada kg de insumo no debe sobrepasar al requerimiento nutricional máximo que necesita el vacuno diariamente. (Véase la tabla 3 y 4)

$$\sum_{i=1}^{11} xi\,.\,aporte_{ij} \leq requerimiento\ max_j \qquad \forall j = 1,2,\ldots,9$$

La cantidad en Kg de cada insumo en la mezcla debe ser mayor o igual al mínimo requerido por el animal (véase la tabla 5)

$$x_i \geq insumo\ min_i \qquad \forall i = 1,2,\ldots,11$$

La cantidad en Kg de cada insumo en la mezcla no debe sobrepasar a la cantidad máxima permitida por el animal (véase la tabla 5)

$$x_i \leq insumo\ max_i \qquad \forall i = 1,2,\ldots,11$$

Las cantidades de cada insumo en Kg no deben ser negativas

$$x_i \geq 0 \qquad \forall i = 1,2,\ldots,11$$

Paso 6

Se creó una interface de bienvenida para ingresar a la ingresar a la data y de ser el caso modificarla. Véase figura 4

Figura 4

Interfaz Centro de Engorde Villa S.R.L.



Fuente: Elaboración propia

Los datos fueron llenados en una tabla de Excel y fueron etiquetados con un nombre específico con el cual serán llamados en el software lingo usando el comando @OLE. véase la figura 5

Figura 5

Llenado y etiquetado de datos

FORMULACIÓN DE ALIMENTO CENTRO DE ENGORDE VILLA S.R.L.

INSUMO	NUTRIENTE									MINIMO (KG)	MAXIMO (KG)	COSTO (KG)
	%MS	%PT	%NDT	ENm/Kg	ENg/Kg	%FC	%Ca	%P	% Na			
AFRECHO	88	14.9	58	1.35	0.82	11	0.11	1	0.04	0	300	0.95
BICARBONATO SODIO	99	0	0	0	0	0	0	0	27	4	5	3.8
BROZA ESPARRAGO	85.25	7.95	43	0.84	0.37	35	0.56	0.28	0.34	0	80	0.48
CARBONATO CALCIO	99	0	0	0	0	0	38	0	0	8	10	0.25
CORONTA MAIZ	90	2.5	44	0.91	0.15	31.5	0.1	0.04	0.03	20	100	0.4
CUSTOM PACK	99	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	13
MAIZ MOLIDO	86	8	75.85	1.97	1.37	2.6	0.02	0.26	0.01	0	300	1.4
PANCA SECA	85.8	4.8	47.17	0.98	0.5	30	0.5	0.09	0.03	0	220	0.45
PALMISTE	90	12.3	52	1.23	0.67	16	0.36	0.35	0.3	0	80	0.7
SAL	99	0	0	0	0	0	0	0	39	6	10	0.25
TORTA DE SOYA	90	47	78.3	1.9	1.26	5.4	0.26	0.54	0.09	0	100	2.3

COSTO

APORTE

INSUMO_MIN INSUMO_MAX

EXIGENCIAS	%MS	%PT	%NDT	ENm/Kg	ENg/Kg	%FC	%Ca	%P	% Na
REQ_MIN	0	12	56	1.25	0.75	16	0.4	0.3	0
REQ_MAX	100	15	60	1.32	0.83	20	0.75	0.6	0.8

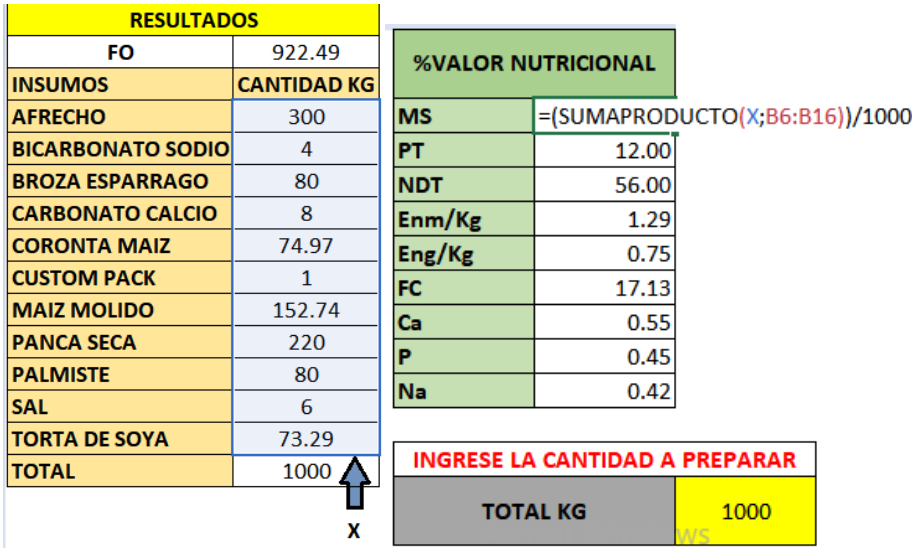
REQ_MIN
REQ_MAX

Nota: En el contenido de esta tabla se encuentran los datos brindados por el ingeniero zootecnista

Para calcular el valor nutricional obtenido se usó la función suma producto entre el vector cantidad (X) y la columna de su respectivo aporte nutricional véase la figura 6

Figura 6

Cálculo del valor nutricional



RESULTADOS	
FO	922.49
INSUMOS	CANTIDAD KG
AFRECHO	300
BICARBONATO SODIO	4
BROZA ESPARRAGO	80
CARBONATO CALCIO	8
CORONTA MAIZ	74.97
CUSTOM PACK	1
MAIZ MOLIDO	152.74
PANCA SECA	220
PALMISTE	80
SAL	6
TORTA DE SOYA	73.29
TOTAL	1000

X

%VALOR NUTRICIONAL	
MS	=(SUMAPRODUCTO(X;B6:B16))/1000
PT	12.00
NDT	56.00
Enm/Kg	1.29
Eng/Kg	0.75
FC	17.13
Ca	0.55
P	0.45
Na	0.42

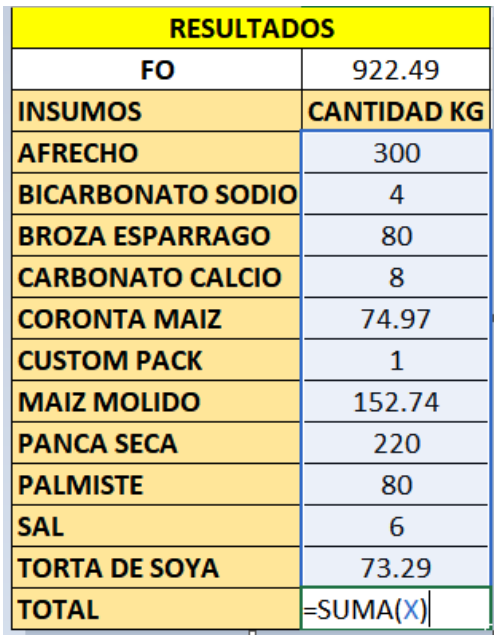
INGRESE LA CANTIDAD A PREPARAR	
TOTAL KG	1000

Fuente: Elaboración propia

Luego para obtener la cantidad total de la mezcla se usó una sumatoria del vector cantidad (X) véase la figura 7

Figura 7

Cantidad total a preparar



RESULTADOS	
FO	922.49
INSUMOS	CANTIDAD KG
AFRECHO	300
BICARBONATO SODIO	4
BROZA ESPARRAGO	80
CARBONATO CALCIO	8
CORONTA MAIZ	74.97
CUSTOM PACK	1
MAIZ MOLIDO	152.74
PANCA SECA	220
PALMISTE	80
SAL	6
TORTA DE SOYA	73.29
TOTAL	=SUMA(X)

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el modelo fue ingresado al software Lingo, en el cual se usó el comando @OLE para llamar a los datos que fueron etiquetados y guardados en el Excel. Véase la figura 8

Figura 8

Modelo en el software Lingo

```
SETS:
INSUMO/AFRECHO,BICARBONATO_SODIO,BROZA,CARBONATO_CALCIO,CORONTA_MAIZ,
CUSTOM_PACK,MAIZ_MOLIDO,PANCA_SECA,PALMISTE,SAL,TORTA_SOYA/:COSTO,INSUMO_MAX,INSUMO_MIN,X;
NUTRIENTE/MS,PT,NDT,ENm,ENg,FC,CA,P,NA/:REQ_MIN,REQ_MAX;
IXN(INSUMO,NUTRIENTE):APORTE;
AUXILIAR/1/:AUX;
ENDSETS

DATA:
COSTO,APORTE,REQ_MIN,REQ_MAX,INSUMO_MAX,INSUMO_MIN=@OLE(MEZCLA.XLSX);
@OLE(MEZCLA.XLSX,X)=X;
@OLE(MEZCLA.XLSX,AUX)=AUX;
ENDDATA

MIN=@SUM(INSUMO(I):X(I)*COSTO(I));
@SUM(INSUMO(I):X)=1000;
@FOR(NUTRIENTE(J):@SUM(INSUMO(I):X(I)*APORTE(I,J))>=REQ_MIN(J));
@FOR(NUTRIENTE(J):@SUM(INSUMO(I):X(I)*APORTE(I,J))<=REQ_MAX(J));
@FOR(INSUMO(I):@SUM(INSUMO(I):X(I))<=INSUMO_MAX(I));
@FOR(INSUMO(I):@SUM(INSUMO(I):X(I))>=INSUMO_MIN(I));

AUX(1)=@SUM(INSUMO(I):X(I)*COSTO(I));
END
```

Nota: El modelo fue expresado en su forma compacta

Paso 7

Se presiona el botón Solver, se espera que corra el programa y arroje la solución óptima. Véase la figura 9

Figura 9

Solución óptima

```
Global optimal solution found.
  Objective value:                              922.4911
  Infeasibilities:                              0.000000
  Total solver iterations:                             8
  Elapsed runtime seconds:                          0.41

 Variable                   Value          Reduced Cost
 X( AFRECHO)                300.0000          0.000000
 X( BICARBONATO_SODIO)      4.000000          0.000000
 X( BROZA)                  80.00000          0.000000
 X( CARBONATO_CALCIO)       8.000000          0.000000
 X( CORONTA_MAIZ)           74.97056          0.000000
 X( CUSTOM_PACK)            1.000000          0.000000
 X( MAIZ_MOLIDO)            152.7387          0.000000
 X( PANCA_SECA)             220.0000          0.000000
 X( PALMISTE)               80.00000          0.000000
 X( SAL)                    6.000000          0.000000
 X( TORTA_SOYA)             73.29072          0.000000
```

Fuente: Software Lingo 19.0

Paso 8

En la figura se muestra la información obtenida en la última producción correspondientes al mes de agosto del año 2022 por parte de la empresa Centro de engorde Villa S.R.L. Véase figura 10

Figura 10

Cuadro informativo mes agosto del 2022

LISTA PRECIO DE FORMULA Nº 1				
Nº	ALIMENTO ESPECIAL	12-Ago	PRECIO	TOTAL
1	AFRECHO	300	0.95	285
2	BICARBONATO DE SODIO	4	3.80	15
3	BROZA DE ESPARRAGO	76	0.48	36
4	CORONTA MAIZ	20	0.40	8
5	CUSTOM PACK	1	13.00	13
6	MAIZ MOLIDO	270	1.40	378
7	PANCA SECA	180	0.45	81
8	PALMISTE	40	0.70	28
9	SAL	6	0.25	2
10	TORTA DE SOYA	95	2.30	219
11	CARBONATO CALCIO	8	0.25	2
TOTAL		1000		1067

COSTO X KG	1.07
VENTA X KG	1.15

Nota. Datos brindados por la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.

Análisis de sensibilidad

Realizar el análisis de sensibilidad de los precios de los insumos durante la formulación de mezclas resulta ser de gran ayuda en la práctica, ya que permite conocer el rango en el que podría incrementarse o disminuir sin que se vea afectada la solución óptima; es decir, si el precio permanece dentro del rango permisible no es necesario volver a formular la mezcla siempre y cuando el precio de los otros ingredientes permanezca constante.

Durante la investigación se realizó dicho análisis para la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L. en el cual se pudo estudiar la variación de los precios de algunos insumos, los resultados arrojados por el software Lingo se muestran a continuación. Véase la figura 11

Figura 11

Rangos de variación de los precios de Insumos

Objective Coefficient Ranges:

Variable	Current Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
X(AFRECHO)	0.9500000	0.1025452	INFINITY
X(BICARBONATO_SODIO)	3.800000	INFINITY	4.672702
X(BROZA)	0.4800000	0.8568377E-02	INFINITY
X(CARBONATO_CALCIO)	0.2500000	INFINITY	1.122702
X(CORONTA_MAIZ)	0.4000000	0.4694275	0.8218208E-02
X(CUSTOM_PACK)	13.00000	INFINITY	13.87270
X(MAIZ_MOLIDO)	1.400000	0.4548901E-01	0.6373672
X(PANCA_SECA)	0.4500000	0.8692229E-01	INFINITY
X(PALMISTE)	0.7000000	0.1307950	INFINITY
X(SAL)	0.2500000	INFINITY	1.122702
X(TORTA_SOYA)	2.300000	6.190909	0.5878715E-01
AUX(1)	0.000000	INFINITY	1.000000

Nota. Información brindada por el software Lingo 19.0

Por ejemplo el precio en el mercado del afrecho de trigo se podría incrementar en s/102.55 por tonelada y llegar a costar hasta s/1052.55 por tonelada (950+102.55= 1052.55) o podría disminuir en cualquier magnitud y continuar siendo óptima.

En cuanto al precio en el mercado del maíz molido se podría incrementar en s/45.49 por tonelada y llegar a costar hasta s/1445.49 por tonelada (1400+45.49= 1445.49) o podría disminuir hasta (1400-637.37=s/762.63) por tonelada y continuar siendo óptima.

De igual forma podríamos hacerlo para los demás insumos, nótese que para los aditivos y la premezcla que son el bicarbonato de sodio, el carbonato de calcio, la sal y el custom pack respectivamente, encontramos una particularidad que el incremento permisible es infinito, esto se debe a la composición que presentan ya que son los que aportan en mayor porcentaje los minerales que requiere el animal para su mantenimiento y producción.

5.2. Resultados

Para obtener una mezcla final de 1000 kg al mínimo costo se deben utilizar 300 kg de afrecho, 4 kg de bicarbonato de sodio, 80 kg de broza de espárrago, 74.97 kg de coronta de maíz, 1 kg de custom pack, 152.74 kg de maíz molido, 220 kg de panca de maíz, 80 kg de palmiste, 6 kg de sal, 73.29 kg de torta de soya y 8 kg de carbonato de calcio obteniendo un costo total mínimo por la mezcla de S/922.49 y un aporte nutricional del 87.66% en materia seca, 12% en proteínas totales, 56% en nutrientes digestivos totales, 17.13% en fibra cruda, 0.55% en calcio, 0.45% en fósforo y 0.42% en sodio.

Cabe destacar que el costo total obtenido con la implementación del modelo fue menor en comparación al año 2022 que alcanzó un monto de S/1067 por cada 1000 kg de mezcla, esto generó una reducción en los costos del 13.59% para la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.

En el reporte de solución generado por el Lingo se observa que todos los valores del costo reducido son iguales a cero, esto quiere decir, que todas las variables se encuentran en la solución (variables básicas). Esto debido a que se quiso elaborar una mezcla que contenga todos los ingredientes usados por la empresa.

5.3. Contrastación de la Hipótesis

Los resultados obtenidos al usar el modelo de Programación Lineal demostraron que se logró reducir el costo total de la mezcla con relación al año 2022 en un 13.59%, es por esto que se aceptó la hipótesis nula, la cual establece que el modelo de Programación Lineal ayudó a obtener la mezcla óptima usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en la empresa Centro de engorde Villa S.R.L.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos en la investigación el modelo de Programación Lineal aplicado a la elaboración de mezclas se presenta como una herramienta de gran importancia y utilidad para el desarrollo de nuevas estrategias y técnicas de optimización, esto guarda relación con lo que sostienen Noguera, Posada, Ortiz (2011) en la publicación para la revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Además, en cuanto al costo total obtenido durante la investigación usando el modelo de Programación Lineal se logró una reducción en los costos del 13.59%. Estos resultados guardan relación con el artículo publicado por Vargas y gutierrez (2017) quienes señalan que el modelo de programación lineal ayudó a reducir los costos en la elaboración de una dieta balanceada para pollos en una empresa avícola.

Para la corrida del modelo se usó el software Lingo para facilitar el análisis del costo total en cuanto a una variación en los precios, esto guarda relación con lo desarrollado por Del Águila (2016) quien diseñó un modelo de Programación Lineal para optimizar la mezcla de alimentos balanceados en aves de engorde e hiso uso del software Lingo para determinar las cantidades adecuadas que deberían suministrarse a la mezcla, además de realizar una simulación en los precios y cantidades para analizar la variabilidad del costo total.

Se realizó el análisis de sensibilidad para conocer el rango permisible en el cual la solución siga siendo óptima si es que ocurriera un cambio o una variación en los precios ya sea por una sobreproducción o escases en el mercado, esto guarda relación con Valdivia (2018) quien realizó dicho análisis durante la elaboración de alimento balanceado en lechones según su edad y sexo.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

1. El modelo de programación lineal permitió obtener la mezcla óptima de insumos, la cual es usada como alimento para engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L. ya que permitió a la empresa obtener un ahorro de s/144.51 por tonelada de mezcla respecto a lo generado el año anterior.

2. Además, en la presente investigación se logró determinar la función objetivo que optimizó la mezcla de insumos la cual es usada como alimento para engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.

3. De la misma manera se logró determinar las restricciones necesarias para la obtención de la mezcla final la cual es usada como alimento para engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.

7.2. Recomendaciones

Se recomienda a la empresa contratar los servicios de manera permanente de un nutricionista o de preferencia un ingeniero zootecnista para realizar el seguimiento diario de la evolución, crecimiento y desarrollo del animal; así como también capacitarlo en el manejo de nuevas herramientas de optimización como lo es la programación lineal para su implementación en la empresa.

Para aquellas empresas que suministran insumos provenientes de otro país se recomienda usar el valor de las tablas de composición nutricional de origen local, es decir, de acuerdo al lugar de donde se esté suministrando los insumos.

De realizarse una futura investigación con ingredientes nuevos cuya información nutricional no se encuentren en las tablas se recomienda realizar análisis de laboratorio e incluirlos en la tabla de valor nutricional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcívar Chiquito, A. G., Yagual Ormaza, D. Y., & Morán, C. (2019). *Aprovechamiento de gandul seco en una formulación base de balanceado destinado a cerdos y pollos de engorde* (Doctoral dissertation, ESPOL. FIMCP).

Álvarez, J. (2005). *Investigación de Operaciones*. 2a. Lima: Librería Distribuidora Beta

Alvarado Martínez, P. A. (2018). *Elaboración de raciones como suplemento alimenticio del ganado bovino, empleando residuos de cosecha de maíz, maní y arroz* (Bachelor's thesis, JIPIJAPA-UNESUM).

Céspedes Esteban, R. (2021). Métodos de solución y análisis de programación lineal. Céspedes Esteban, Roger.

Chachapoya Rivas, D. L. (2013). *Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos* (Bachelor's thesis, Quito, 2014.).

Cobeña Castañeda, O. R. (2023). *Formulación de dietas para la alimentación de ganado bovino de carne empleando la herramienta Solver de Microsoft Excel* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2023).

Cordero Hernández, L. D. L. C., Valdés Hernández, P. A., Paneque Rondón, P., & Gómez, T. F. (2020). Revisión sobre el mezclado de productos en la fabricación de piensos y conglomerados. *Revista Ingeniería Agrícola*, *10*(4), e08.

Del Aguila Arce, Tobías. "Optimización de la mezcla de dietas para la elaboración de alimento balanceados con requisitos predeterminados en aves de engorde." (2016).

Fedossova, A., Buitrago Suescún, O. Y., & Britto Agudelo, R. A. (2011). *Introducción a la programación lineal*. Editorial CESA.

Gaetano Fernández, C. (2018). *Estimación de raciones de costo mínimo utilizando programación lineal* (Doctoral dissertation).

Garrido, R. S. (1993). *Programación Lineal, Metodología Y Problemas*. Editorial Tebar.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.

Hidalgo, V. (2013). Formulación de alimentos balanceados para el engorde de ganado vacuno. *Guía Técnica, UNALM, Perú*, 6-19.

Luque Mendoza, E. Y. (2019). Diseño de una máquina mezcladora de alimento balanceado para pequeñas granjas ganaderas.

Melo, R. V., & Ascón, J. E. G. (2018). Aplicación de la Programación Lineal para optimizar el costo de una dieta balanceada. *INGnosis*, *4*(1), 48-63.

Mendoza, M. G. D., & Ricalde, V. R. (1993). Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano. *Libro de texto. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Distrito Federal*.

Núñez González, Adanay, et al. "Sistema informático para la formulación de raciones alimenticias en la raza bufalina empleando modelos matemáticos." *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 29.4 (2020).

Noguera, R. R., Posada, S. L., & Ortiz, D. M. (2011). Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, *6*(2), 53-60.

Pérez Pupo, L. E. (2019). *Propuesta de diseño de máquina mezcladora de pienso para el municipio San Luis, Santiago de Cuba* (Bachelor's thesis, Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica).

Puente, M., & Gavilánez, O. (2018). Programación Lineal para la toma de decisiones. Riobamba-Ecuador: Caracola Editores.

Reinoso, V., & Soto, C. (2014). Formulación de raciones para ganado de carne a pastoreo.

Valdivia Camargo, V. B. (2018). Modelo de optimización de alimentos balanceados para cerdos en la región Arequipa.

ANEXOS

CENTRO DE ENGORDE VILLA S.R.L.

CONSTANCIA

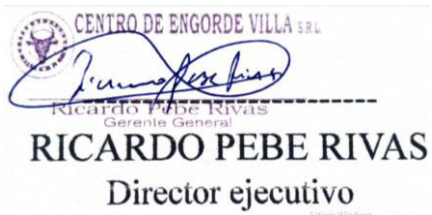
El que suscribe **RICARDO PEBE RIVAS** director ejecutivo de la empresa **Centro de Engorde Villa S.R.L.**

HACE COSNTAR:

Que el SR. **MICHEL JAMES VILLALOBOS VALENCIA,** identificado con DNI N°47571940 bachiller de la escuela profesional de Investigación Operativa, facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos ha ejecutado el proyecto de investigación titulado **"Modelo de Programación Lineal para obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L."** desde el 01 Mayo hasta el 30 Julio del presente año mostrando eficiencia, responsabilidad y buena formación académica.

Se expide el presente documento a petición del interesado para los fines que se estime por conveniente.

Lima 30 de Julio del 2023



TITULO: MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA OBTENER LA MEZCLA ÓPTIMA DE INSUMOS USADA COMO ALIMENTO PARA EL ENGORDE DEL GANADO VACUNO EN EL CENTRO DE ENGORDE VILLA S.R.L.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL	**OBJETIVO GENERAL**	El presente trabajo de investigación es importante ya que: a. Permitió encontrar las cantidades adecuadas que se deben suministrar a la mezcla. b. Permitió minimizar el costo total por la mezcla. c. Permitió optimizar los recursos utilizados evitando desperdicios. d. Permitió a la empresa generar una mayor rentabilidad.	**HIPÓTESIS NULA**	**VARIABLE INDEPENDIENTE**	Variable	Cantidad de variables
¿Cómo obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L. mediante un modelo de programación Lineal?	Elaborar un modelo de Programación Lineal que permita obtener la mezcla óptima de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.		El modelo de Programación Lineal ayudó a obtener la mezcla óptima usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.	**PROGRAMACIÓN LINEAL**	Restricciones	Número de restricciones
					Función Objetivo	Tipo de función
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**		**HIPÓTESIS ALTERNATIVA**	**VARIABLE DEPENDIENTE**		
1. ¿Cuál es la función objetivo que permita optimizar la mezcla de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L.? 2. ¿Cuáles son las restricciones para la obtención de la mezcla final usada como alimento de engorde para ganado vacuno en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.?	1. Determinar la función objetivo que permita optimizar la mezcla de insumos usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en el Centro de Engorde Villa S.R.L. 2. Determinar las restricciones para la obtención de la mezcla final usada como alimento de engorde para ganado vacuno en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.		El modelo de Programación Lineal no ayudó a obtener la mezcla óptima usada como alimento para el engorde del ganado vacuno en la empresa Centro de Engorde Villa S.R.L.	**MEZCLA DE INSUMOS**	Insumos	Disponibilidad
						Precio
					Requerimientos	Tablas Nutricionales

Tabla N°6: Matriz de consistencia



Figura N°12: Depósito de materias primas



Figura N°13: Tonelada insumo pepa de algodón



Figura N°14: Molino



Figura N°15: Mezcladora de insumos



Figura N°16: Llenado en costales



Figura N°17: Distribución del producto final hacia los puntos de venta



Figura N°18: Alimentación del ganado bovino



Figura N°19: Separación de los bovinos para su venta



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

DUPLICADO
INFORME DE ENSAYOS
N° 002835 - 2021

SOLICITANTE	: **CENTRO DE ENGORDE VILLA SRLTDA**
DIRECCIÓN LEGAL	: PARCELA 7 NRO. S/N FND. SANTA ROSA (ALT.DEL CRUCE PACHACAMAC) LIMA - LIMA - LURIN
	RUC: **20143436447** Teléfono: 295-7406
PRODUCTO	: **ORUJO DE ACEITUNA NEGRA**
NÚMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA.	: S.I
CANTIDAD RECIBIDA	: 2073,5 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M
FORMA DE PRESENTACIÓN	: Envasado, la muestra ingresa en bolsa pead sellada
SOLICITUD DE SERVICIO	: S/S N°EN-001602 -2021
REFERENCIA	: ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 02/06/2021
ENSAYOS SOLICITADOS	: **FÍSICO/QUÍMICO**
PERÍODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :
ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- Carbohidratos (g / 100 g de muestra original)	35,2
2.- Energía Total (Kcal / 100 g de muestra original)	207,6
3.- Humedad(g / 100 g de muestra original)	49,8
4.- Ceniza(g / 100 g de muestra original)	4,3
5.- Proteína Totales(g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	5,9
6.- Grasa(g / 100 g de muestra original)	4,8
7.- % Kcal. proveniente de Grasa	20,8
8.- % Kcal. proveniente de Proteínas	11,4
9.- % Kcal. proveniente de Carbohidratos	67,8
10.- Fibra Cruda(g / 100 g de muestra original)	20,8
11.- Digestibilidad por Pepsina(g / 100 g de muestra original)	76,6

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :
1.- Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
2.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
3.- AOAC 930.04 Cap. 3, Pág. 1, 21st Edition 2019
4.- AOAC 930.05 Cap. 3, Pág. 1, 21st Edition 2019
5.- AOAC 978.04(A) Cap. 3, Pág. 28, 21st Edition 2019
6.- AOAC 930.09 Cap. 3, Pág. 28, 21st Edition 2019
7.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
8.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
9.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
10.- NTP 205.003:1980 (Revisada al 2011)

CONTINÚA INFORME DE ENSAYOS N° 002835 - 2021 *Pág 1/2*

Figura N°20: Informe de laboratorio