

Aplicación de la Programación Lineal para optimizar el costo de una dieta balanceada.

Application of Linear Programming to optimize the cost of a balanced diet.

Aplicação da Programação Linear para otimizar o custo de uma dieta equilibrada.

Richard Vargas Melo¹, Jaime Eduardo Gutiérrez Ascón².

Resumen

Introducción: El objetivo fue determinar cómo la programación lineal optimizó el costo de la dieta del alimento balanceado para pollos en la empresa avícola. **Material y métodos:** El diseño de la investigación fue preexperimental de tipo descriptivo, la muestra fue por conveniencia, se trabajó con el alimento balanceado utilizado en campaña de 56 días para un total de 1 344 000 pollos BB. En el desarrollo de la investigación se recabó información de los insumos del alimento para determinar las variables de decisión, se midieron los componentes nutricionales para determinar las restricciones y se identificaron las variables de decisión sujeta a las restricciones para determinar la mezcla óptima a mejor precio. Los *softwares* utilizados fueron WinQSB, XLStat, Excel, IBM SPSSv20. **Resultados:** Los diagramas de Ishikawa y Pareto determinaron las causas del alto costo del alimento balanceado, se utilizó la información del costo de la segunda campaña 2017, la que representa los insumos de mayor abastecimiento: maíz 4 332 263,96 kg, afrecho 60 270,78 kg, torta de soya 755 599,39 kg, soya integral 1 387 355,63 kg, harina de pescado 111 539,89 kg, melaza 160 302,77 kg, carbonato de calcio 74 235,99 kg, fosfato dicalcio 128 352,16 kg, DL metionina 14 243,71 kg, lisina HCL 8 264,73 kg, Sal 30 892,57 kg, bicarbonato sódico 38 185, 97 kg, premix aves 8 402,45 kg, coccidios tato 3 543,52 kg, prom. de crecim 7 087,07 kg, CL colina 3 543,52 kg, como variables de decisión a un costo total de S/ 9 569 491,34; la solución básica factible resultó: 3,13 % energía metabolizada, 19,75 % proteínas, 6,02 % grasa, 3,00 % fibra, 1,15 % lisina, 0,90 % M+C, 0,96 % calcio, 0,46 % fosforo disponible, 0,21 % sodio, 250,00 % Na+K-Cl, teniendo una contribución de S/ 3 491 834,00, con un ahorro del 36,49% y asegurando el costo en S/ 6 077 657,34. **Discusión:** Los resultados concluyeron que la programación lineal asegura el suministro de nutrientes al mínimo costo en la avícola.

Palabras clave: Dieta, función objetivo, programación lineal restricciones, variables de decisión.

Abstract

Introduction: The objective was to determine how linear programming optimized the cost of the diet of balanced feed for chickens in the poultry company. **Material and methods:** The design of the research was preexperimental of descriptive type, the sample was for convenience, we worked with the balanced feed used in the 56-day campaign for a total of 1 344 000 BB chickens. In the development of the research information was collected from food inputs to determine the decision variables, the nutritional components were measured to determine the restrictions and the decision variables were identified subject to the restrictions to determine the optimal mix at the best price. The *softwares* used was WinQSB, XLStat, Excel, IBM SPSSv20. **Results:** The Ishikawa and Pareto diagrams determined the causes of the high cost of balanced feed, the cost information for the second campaign 2017 was used, which represents the supplies of greater supply: Corn 4 332 263,96 kg, 60 270,78 kg bran, cake soybean 755 599,39 kg, whole soybean 1 387 355,63 kg, fishmeal 111 539,89 kg, molasses 160 302,77 kg, calcium carbonate 74 235,99 kg, dicalcium phosphate 128 352,16 kg, DL methionine 14 243,71 kg, lysine HCL 8 264,73 kg, salt 30 892,57 kg, sodium bicarbonate 38 185,97 kg, premix 8 402,45 kg birds, coccidios tato 3 543,52 kg, av. of growth 7 087,07 kg, CL hill 3 543, 52kg, as decision variables at a total cost of S/ 9 569 491,34; the basic feasible solution was: 3,13 % metabolized energy, 19,75 % proteins, 6,02 % fat, 3,00 % fiber, 1,15 % lysine, 0,90 % M + C, 0,96 % calcium , 0,46 % available phosphorus, 0,21 % sodium, 250,00 % Na + K-Cl, having a contribution of S/ 3 491 834,00, with a saving of 36,49 % and ensuring

¹Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad César Vallejo, Chimbote. Perú. rstuangel20@hotmail.com

² Escuela de Ingeniería Industrial. Bachiller. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú. ing_jagu@hotmail.com.
<https://orcid.org/0000-0003-4065-3359>

Recibido: 31/10/2017 Aceptado: 03/05/2018

the cost in S/ 6 077 657,34. **Discussion:** The results conclude that linear programming ensures the supply of nutrients at the least cost in poultry.

Keywords: *Dieta, función objetivo, programación lineal restricciones, variables de decisión.*

Resumo

Introdução: o objetivo era determinar como a programação linear otimizava o custo da alimentação equilibrada para frangos na empresa avícola. **Material e métodos:** O projeto da pesquisa foi pré-experimental de tipo descritivo, a amostra foi por conveniência, trabalhamos com a alimentação equilibrada usada na campanha de 56 dias para um total de 1 344000 galinhas BB. No desenvolvimento da pesquisa, a informação foi coletada de insumos alimentares para determinar as variáveis de decisão, os componentes nutricionais foram medidos para determinar as restrições e as variáveis de decisão foram identificadas sujeitas às restrições para determinar a melhor combinação ao melhor preço. O *softwares* utilizado foi WinQSB, XLStat, Excel, IBM SPSSv20. **Resultados:** O Ishikawa e diagrama de Pareto Determinado as causas do elevado custo de alimentação equilibrada, utilizou-se a informação de custos para a segunda campanha de 2017, que representa o fornecimento de uma maior oferta: 4 332 263,96 kg de milho, farelo de 60 270,78 kg, bolo de soja 755 599,39 kg, inteiros de soja 1 387 355,63 kg, 111 539,89 kg de farinha de peixe, melão, 160 302,77 kg, 74 235,99 kg de carbonato de cálcio, fosfato dicálcico 128 352,16 kg, DL metionina 14 243,71 kg, lisina HCL 8 264,73 kg, 30 892,57 kg sal, 38 185,97 kg bicarbonato de sódio, pássaros pré-mistura 8 402,45 kg, Tato coccídios 3 543,52 kg, av. de crescimento 7 087,07 kg, CL hill 3 543,52 kg, como variáveis de decisão a um custo total de S/ 956 9491,34; a solução básica viável era: 3,13 % de energia metabolizada, proteínas de 19,75 %, 6,02 % de gordura, fibra de 3,00 %, 1,15 % de lisina, 0,90 % H + C, 0,96 % de cálcio, 0,46 % de fósforo disponível, 0,21 % de sódio, 250,00 % de Na + K-Cl, com uma contribuição de S/ 3 491 834,00, com uma economia de 36,49 % e garantindo o custo em S/ 6 077 657,34. **Discussão:** os resultados concluyen que a programação linear garante o fornecimento de nutrientes ao menor custo em aves de capoeira.

Palavras-chave: *Dieta, função objetiva, restrições de programação linear, variáveis de decisão.*

Introducción

En nuestro país las empresas del rubro avícola, han competido por el control del mercado, siguiendo estándares de calidad y bajando sus precios al cliente. Un factor clave es esta industria es la dieta balanceada que representa el 32.21 % del costo total del desarrollo en el crecimiento del pollo.

El problema más crítico que afectó la industria avícola nacional, y en este caso a Chimú Agropecuaria S.A., es la disponibilidad y alto costo de los ingredientes utilizados normalmente en la elaboración de las dietas y alimento balanceado, ya que creció muy por encima del crecimiento agrícola, viéndose expuesta a repetidas crisis por falta de ingredientes. El alto precio de los insumos para la elaboración de dietas, obliga a encontrar fórmulas que optimicen los costos respetando los márgenes nutricionales y proteicos del ave y su correcto crecimiento; pues dado esto, no habrá riesgo alguno con el consumidor.

La programación lineal se refiere a varias técnicas matemáticas para asignar en forma óptima los recursos limitados en distintas demandas que compiten por ello. La programación lineal es el enfoque más popular de los que caben dentro del título general de técnicas matemáticas para la optimización y se aplica en muchos problemas (Chase, 2014). Gamboa (2102), en su investigación en el mismo contexto, diseñó un modelo matemático de programación lineal, teniendo en cuenta las condiciones de operación actual de la compañía. Por medio de éste se logró presentar una propuesta de minimizar los costos asociados en la cadena de abastecimiento, incluyendo la producción, el almacenamiento y la distribución. Este modelo incluyó 3150 variables de decisión y 885 restricciones, con una función objetivo la cual consiste en minimizar los costos totales.

Beltrán (2012), elaboró un modelo de costo mínimo de una dieta balanceada para la población de Bogotá. Para esto consideró como restricciones los requerimientos nutricionales y el comportamiento de los precios de los productos según la época del año, esto con el fin de realizar un análisis de la accesibilidad del ciudadano para alimentarse de acuerdo a los requerimientos nutricionales necesarios. El autor concluyó que el costo mínimo de una dieta balanceada para la ciudad de Bogotá

no era accesible para gran parte de los hogares promedio. El primer factor era el gasto mensual promedio en alimentos que realizan los hogares de Bogotá, donde un 51% de los hogares generaban un gasto en alimentos inferior al necesario para la dieta balanceada a un costo mínimo. Es decir, el 51% de los hogares bogotanos estaban gastando menos dinero de lo que gastarían utilizando el modelo propuesto. Es muy posible que el costo sea mucho menor pero que no obtenga todos los requerimientos nutricionales necesarios. De esta manera, se dedujo que el gasto era menor ya que no tiene la capacidad económica para realizar un gasto de alimento adecuado, y dado lo anterior no tendrían la capacidad de utilizar la dieta del costo mínimo de una dieta balanceada”. Otras investigaciones como la de Toscano (2016) titulada “Los costos de producción y la rentabilidad de los fabricantes de alimentos balanceados para aves del cantón Cevallos” de la Universidad Técnica de Abanto, Ecuador; primaron el estudio de sistemas de costos para lograr la eficiencia. Como resultado logró constituir una herramienta para mejorar la información contable y así aportar a la toma de decisiones. Concluyó que la sistematización financiera es favorable para monitorear los costos de la empresa al permitir contar con un sistema de costos de producción que facilitan conocer con exactitud los insumos utilizados en el proceso productivo.

Pliego (2012) estudió acerca del análisis, técnicas y casos de aplicación de la programación lineal multiobjetivo. El estudio de diferentes casos de aplicación a problemas con más de un objetivo dio como resultado soluciones de reducción y maximización. De tal manera que, el autor concluyó que la programación lineal multiobjetivo, aun cuando era una técnica reciente en investigación de operaciones, podía verse como una solución multicriterio a un problema donde los diversos objetivos están en conflicto o no es imposible reducirlos a uno solo; buscando una solución de compromiso para satisfacer todos los objetivos del problema. También, la investigación de Ruiz (1998) titulada “Optimización del problema de la dieta alimenticia: DIETEX.” de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, con la utilización de la Programación lineal, encontró la combinación más barata de alimentos que satisficieron los requerimientos nutricionales diarios de una persona.

En la tesis de Castrillón (2014) titulada “Análisis socioeconómico de la efectividad del plan anual de nutrición en los niños y niñas de la comuna río Otún en la Ciudad de Pereira 2008 - 2011 mediante un modelo de optimización” (Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia); el objetivo principal fue elaborar un modelo matemático de optimización que permita medir la efectividad del Plan Anual de Nutrición en los niños y niñas de la comuna; de tal manera que, se asignen (aprovechen) de manera óptima los recursos financieros, humanos y tecnológicos garantizando el cumplimiento de los parámetros establecidos por la administración para el desarrollo normal y armonioso de los infantes. Como resultado se logró optimizar mediante un modelo matemático la efectividad del plan anual de nutrición. El autor concluyó que los modelos de optimización aplicados a fenómenos sociales son de gran importancia para la sociedad. En el caso de los modelos de optimización aplicados al Plan Anual de Nutrición de la comuna del Río Otún permitió encontrar escenarios donde se permitió obtener valores de dicho plan optimizado que permitan ser reinvertidos en otras necesidades de la comunidad, ampliar el plan a un número más grande de niños y niñas u ofrecer más de una ración alimenticia.

En la misma dirección la investigación de Gamboa (2012) aplicó la programación lineal. El autor buscó diseñar un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y distribución de la Supply Chain de una empresa de consumo masivo con el objetivo principal de minimizar los costos asociados en la cadena de abastecimiento, incluyendo producción, almacenamiento y distribución. El autor concluyó que el diseño un modelo matemático de programación lineal teniendo en cuenta las condiciones de operación de la compañía logra presentar una propuesta de minimización de los costos asociados en la cadena de abastecimiento, incluyendo la producción, almacenamiento y distribución. Este modelo incluyó 3150 variables de decisión y 885 restricciones. La validación del modelo se determinó mediante un coeficiente de variación de un 0.66 y que el modelo cumplía con las restricciones de capacidad, demanda, inventarios, balance de plantas, despachos y vida útil de producto. Convirtiéndose de esta forma en una herramienta rápida y económica para la toma de decisiones alrededor de la supply chain.

Materiales y métodos

Se aplicó el diseño preexperimental descriptivo. La población fue la producción de alimento balanceado en una jornada diaria de ocho horas por los trabajadores responsables del área (dueños del problema). La muestra estuvo conformada, convenientemente, por una tonelada de dieta de alimento balanceado para el mejor desarrollo del estudio.

En el desarrollo del procedimiento se evaluaron tres dimensiones de la variable independiente que son las variables de decisión, las restricciones y la función objetivo. Para determinar la variable de decisión se utilizó la información de los insumos de mayor abastecimiento en el almacén como fueron el arroz, el maíz, la harina de pescado, la soya y la cebada; cada uno en proporciones de diferentes cantidades en peso y costo. Para determinar las restricciones se tomó como base los porcentajes mínimos de los componentes nutricionales que permitieron garantizar un adecuado crecimiento de las aves. Y para determinar la función objetivo se identificaron las variables de decisión sujeta a las restricciones para la formulación de las ecuaciones con la función objetivo por medio de un modelo matemático. Para la solución del modelo en el desarrollo de esta parte del estudio, la corrida de los datos se realizó en el módulo Newword Modeling del programa WinQSB. Para la validación cualitativa se comparó los resultados del cuestionario, instrumento utilizado en la aplicación de las técnicas de recolección de datos, con una validez y confiabilidad del 66.8 % (20 elementos).

De acuerdo al grado de importancia, los programas utilizados fueron, WinQSB, XLStat, IBM SPSS V 20, Microsoft Office (Excel, Word), se obtuvieron y analizaron datos históricos de la elaboración de la dieta del alimento balanceado de la empresa. Las herramientas que se utilizaron para llegar de manera óptima al resultado fue el uso de la matriz de antecedentes, la matriz de operacionalización, la matriz de consistencia y la matriz de desenlace.

Se tomó la información del análisis de cuatro expertos para las variables de causa efecto en diferentes frecuencias, se procedió a tabular y luego se evaluó la información con el diagrama de Pareto y se obtuvo el diagnóstico de la situación actual de la empresa en relación a los costos de los insumos del alimento balanceado como el principal problema. Con ello, se realizó el análisis de las variables de decisión, las restricciones y la función objetivo con el cual se logró el objetivo principal de la investigación. La programación lineal consideró todos los requerimientos nutricionales que se deseaban cubrir con el alimento diseñado. Esta dieta contenía 21 % de proteína y un 30 % de grasas, 13 % de humedad, 5 % de fibra, 8 % vitaminas y minerales; estas cantidades fueron las mínimas que permitieron garantizar un adecuado crecimiento de las aves. Además, se tomaron en cuenta los costos de cada ingrediente como el arroz, el maíz, la harina de pescado, la harina de soya y la cebada, así como la disponibilidad para el uso de cada uno de ellos. Luego se siguió con los pasos del método científico, se colocaron todas las variables sujetas a restricciones en un modelo matemático. Con el planteamiento del problema en la matriz, se corrió la información en el programa WinQSB, con el cual se obtuvo un resultado que optimizó el costo en la elaboración de la dieta del alimento balanceado.

Resultados

Los alimentos balanceados para pollos de carne deben cumplir con requerimientos mínimos de principios nutritivos. Las operaciones del proceso de elaboración de un alimento balanceado se mencionan a continuación: recepción y almacenamiento, limpieza y transporte a la molienda, molienda, mezclado, paletizado, enfriado y empaque.

Con el diagrama causal, de la Figura 1, se logró la representación gráfica de las relaciones múltiples de causa efecto entre las diversas variables que intervinieron en el proceso.

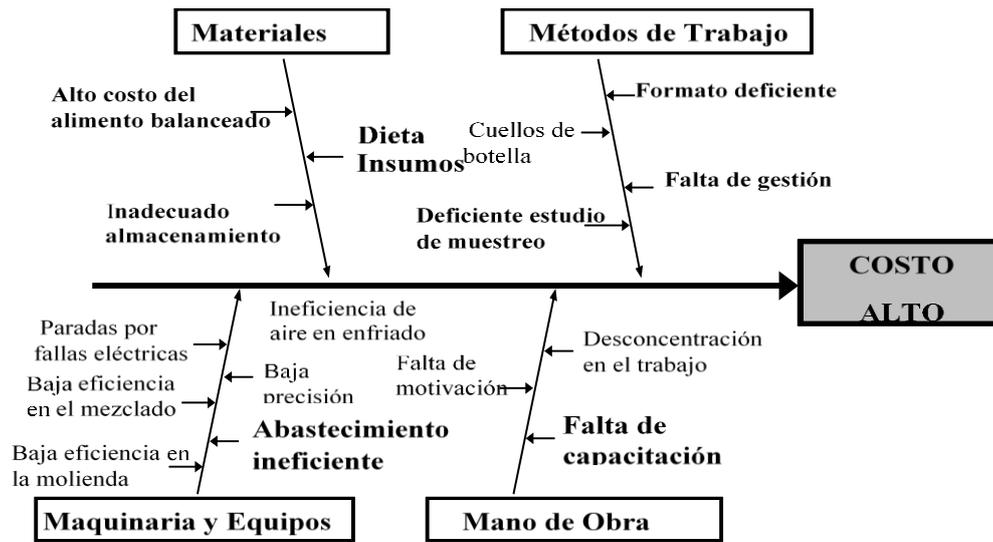


Figura 1. Diagrama de Ishikawa Causa Efecto para el problema del alto costo de la dieta balanceada en la empresa Chimú Agropecuaria S.A.

Nota. Elaboración propia.

Para la priorización de las causas presentadas, éstas fueron sometidas al juicio de expertos según la información de la Tabla 1, donde se tabularon las diferentes frecuencias y se analizaron con el diagrama de Pareto (Figura 2). Se obtuvo el resultado del diagnóstico.

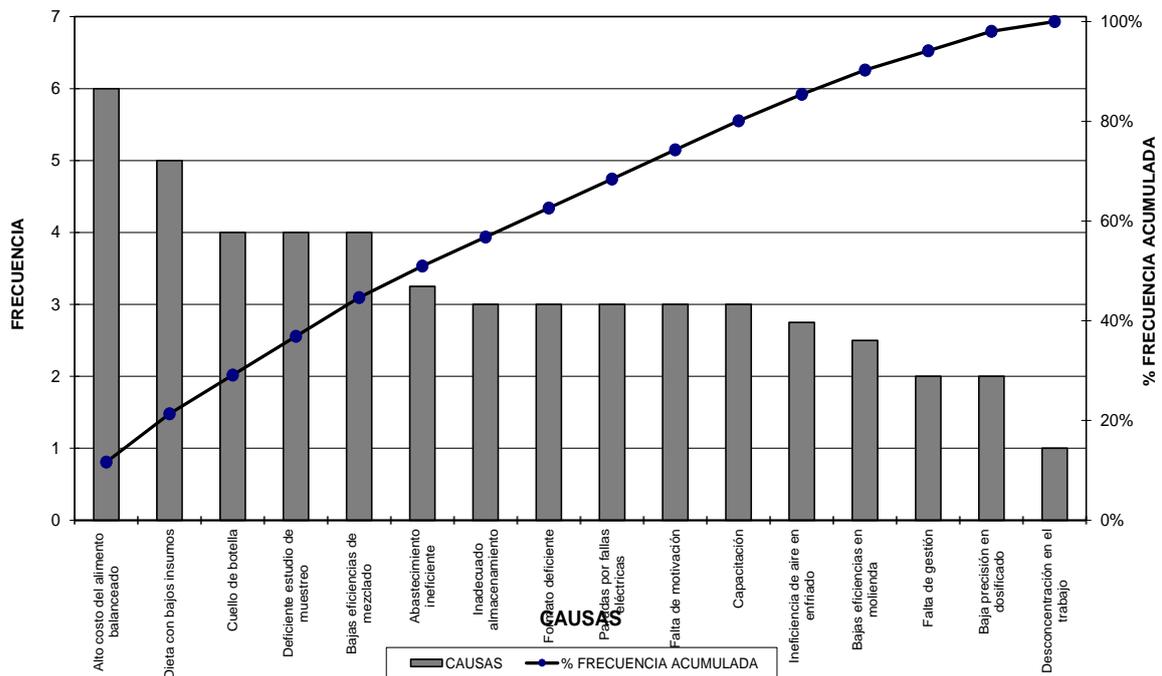


Figura 2. Priorización de las causas del costo alto en la elaboración de dieta balanceada en la empresa Chimú Agropecuaria S.A. según el diagrama de Pareto.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 1

Análisis de expertos para la priorización de las causas del costo alto en la elaboración de la dieta balanceada en la empresa Chimú Agropecuaria S.A.

	Causas	Experto 01	Experto 02	Experto 03	Experto 04	Total	Frecuencia	%	Acumulado
1	Alto costo del alimento balanceado	6	5	6	5	22	6	0.11	
3	Dieta con bajos insumos	5	4	5	5	19	5	0.10	0.11
4	Cuello de botella	4	4	4	4	16	4	0.08	0.21
7	Deficiente estudio de muestreo	4	3	4	4	15	4	0.08	0.29
8	Bajas eficiencias de mezclado	3	3	4	4	14	4	0.07	0.37
9	Abastecimiento ineficiente	3	3	4	4	14	4	0.07	0.44
5	Inadecuado almacenamiento	3	3	4	3	13	3	0.07	0.51
6	Formato deficiente	3	3	3	3	12	3	0.06	0.57
2	Paradas por fallas eléctricas	3	3	3	3	12	3	0.06	0.63
10	Falta de motivación	2	3	3	3	11	3	0.06	0.70
11	Capacitación	2	3	3	3	11	3	0.06	0.75
14	Ineficiencia de aire en enfriado	2	2	3	3	10	3	0.05	0.81
12	Bajas eficiencias en molienda	2	2	2	2	8	2	0.04	0.86
13	Falta de gestión	2	2	2	2	8	2	0.04	0.90
15	Baja precisión en dosificado	2	2	1	2	7	2	0.04	0.94
16	Desconcentración en el trabajo	2	1	1	1	5	1	0.03	0.97
	Total	48	46	52	51	197	49.25	1.00	100

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2

Costos históricos del alimento balanceado

Insumos	Proteína	Grasa	Humedad	Fibra	Vitaminas y minerales	Costo total	Tonelada
Arroz	25.15	10.04	3.07	5.01	27.27	240.60	183.00
Maíz	18.04	19.51	2.00	7.91	15.04	280.80	213.50
Harina de pescado	40.20	5.23	5.00	7.02	20.05	329.60	250.30
Harina de soya	29.95	37.95	4.04	4.04	17.37	387.20	322.60
Cebada	26.10	32.08	3.09	4.02	12.03	5.96	30.60
MIN	21	30	13	5	8		
			Costo total		1000	1244.16	1000.00
			Costo unitario			1.24	

Nota. Datos de la campaña II – 2017. Elaboración propia.

La información contenida a la Tabla 2 da cuenta de la situación actual de la empresa en relación a los costos de los insumos del alimento balanceado, con ello se realizó el análisis de las variables de decisión, las restricciones y la función objetivo para lograr el objetivo principal de la investigación.

Variable de decisión

Se tomó la información del área de producción, acerca de los productos que estaban disponibles para la elaboración del pienso: arroz, maíz, harina de pescado, harina de soya, cebada. Se tomó información de la producción del alimento balanceado elaborado durante los 65 días de duración de la segunda campaña del año 2017, de la semana del 07 de abril al 07 de junio.

Tabla 3

Variables de Decisión Costo y disponibilidad de los insumos para la dieta balanceada

Nº	Variable	INSUMO	COSTO S/-KG	TOTAL KG	TOTAL S/
1	X1	Maíz	0,80	4 332 264,00	3 465 811,17
2	X2	Afrecho	0,68	60 270,78	40 984,13
3	X3	Torta Soya	1,90	755 599,39	1 435 638,84
4	X4	Soya integral	1,74	1 387 355,60	2 413 998,79
5	X5	Harina de pescado	3,50	111 539,89	390 389,62
6	X6	Melaza	1,00	160 302,77	160 302,77
7	X7	Carb. calcio	0,30	74 235,99	22 270,8
8	X8	Fosfato Dical.	5,50	128 352,16	705 936,89
9	X9	DL-Metionina	25,00	14 243,71	356 092,85
10	X10	Lisina HCL	12,00	8 264,73	99 176,73
11	X11	Sal	0,30	30 892,57	9 267,77
12	X12	Bicarbonato sod.	4,00	38 185,97	152 743,89
13	X13	Premix aves	20,00	8 402,45	168 049,04
14	X14	Coccidios tato	12,00	3 543,52	42 522,30
15	X15	Prom. de crecim.	12,00	7 087,07	85 044,60
16	X16	CL. colina	6,00	3 543,52	21 261,15

Nota. Los datos corresponden al área de producción de la empresa Chimú Agropecuaria S.A.

La información en la Tabla 3. Refiere al costo por tonelada en la elaboración de alimento balanceado, desagregado por variable o insumo y a la vez el costo por kilogramo del total de la mezcla, información referente a la campaña del 07 de abril al 07 de junio del 2017.

Restricciones

Se consideró el valor porcentual de valor nutricional requerido por cada ingrediente X_i (variable de decisión), así también los requerimientos máximos y mínimos los porcentajes de los valores nutricionales o restricciones que son necesarios en cada ingrediente para la preparación de la dieta balanceada. Los valores nutricionales usados en la fórmula son los siguientes: proteína, grasas, humedad, fibra, vitaminas y minerales.

Se consideró que cualquier combinación de alimentación debía contener un 3.13 % energía metabolizada, 19,75 % proteínas, 6,02 % grasa, 3,00 % fibra, 1,15 % lisina, 0,90 % M+C, 0,96 % calcio, 0,46 % fosforo disponible, 0,21 % sodio, 250,00 % Na+K-Cl, estas cantidades son las mínimas requeridas para garantizar un adecuado crecimiento de las aves (ver Tabla 4).

La Tabla 4, contiene la información resumida de las ocho semanas de duración de la segunda campaña 2017, con los componentes o restricciones en porcentaje necesarios mínimos que permiten garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo de las aves.

Tabla 4

Restricciones – Campaña II (2017)

Nutrientes o Componentes	Maíz	Afrecho	Torta de soya	Soya Integral	Harina de pescado	Melaza	Carbonato	Fosfato	DL-metionina	Lisina HCL	Sal	Bicarbonato	Premix aves	Coccidios tato	Prom. De crecim.	Cl. Colina	Min
Energía Metabolizada	2,89	2,55	2,82	2,30	2,45	2,29							2,84				3,13
Proteínas	18,04	25,15	29,95	20,00	40,20	0,68											19,75
Grasa	19,51	10,04	37,95		5,23												6,02
Fibra	7,91	5,01	4,04		7,02												3,00
Lisina	0,24	0,64	3,06	1,00	4,96	0,00				0,10							1,15
Metionina + cistina	0,35		1,40	0,45	2,55	0,09			0,10								0,90
calcio	0,02	0,12	0,29	2,50	3,73	0,02	0,90	0,44					0,96				0,96
Fosforo	0,20	0,23	0,27	0,35		0,00		0,36					0,46				0,46
sodio	0,02		0,04	0,04	0,88						37,85	27,00					0,21
Na+K-Cl	257,00	0,44	1,60	1,60								26,85					250

Nota. Los datos corresponden al área de producción de la empresa Chimú Agropecuaria S.A.

Función objetivo

Los ingredientes o insumos (variables de decisión), los porcentajes que contienen proteína y grasa (restricciones), los valores mínimos y cada uno de los productos enumerados, así como el costo por tonelada.

Modelo matemático

Formulación del modelo en programación lineal

Variables de decisión

$$X1 \leq 3\,465\,811,17$$

$$X2 \leq 40984,13$$

$$X3 \leq 1\,435\,638,84$$

$$X4 \leq 2\,413\,998,79$$

$$X5 \leq 390389,62$$

$$X6 \leq 160302,77$$

$$X7 \leq 22270,80$$

$$X8 \leq 705936,89$$

$$X9 \leq 356092,85$$

$$X10 \leq 99176,73$$

$$X11 \leq 9267,77$$

$$X12 \leq 152743,89$$

$$X13 \leq 168049,04$$

$$X14 \leq 42522,30$$

$$X15 \leq 85044,60$$

$$X16 \leq 21261,15$$

Función objetivo

$$\text{MIN } Z = 3\,465\,811,17X1 + 40984,13X2 + 1\,435\,638,84X3 + 2\,413\,998,79X4 + 390389,62X5 + 160302,77X6 + 22270,80X7 + 705936,89X8 + 356092,85X9 + 99176,73X10 + 9267,77X11 + 152743,89X12 + 168049,04X13 + 42522,30X14 + 85044,60X15 + 21261,15X16$$

Restricciones

Energía

$$2,89 X1 + 2,55 X2 + 2,82 X3 + 2,30 X4 + 2,45 X5 + 2,29 X6 + 0 X7 + 0 X8 + 0 X9 + 0 X10 + 0 X11 + 0 X12 + 2,84 + 0 X14 + 0 X15 + 0 X16 \geq 3,13$$

Proteína

$$18,04 X1 + 25,15 X2 + 29,95 X3 + 20,00 X4 + 40,20 X5 + 0,68 X6 + 0 X7 + 0 X8 + 0 X9 + 0 X10 + 0 X11 + 0 X12 + 0 X13 + 0 X14 + 0 X15 + 0 X16 \geq 19,75$$

Grasa

$$19,51 X1 + 10,04 X2 + 37,95 X3 + 0 X4 + 5,25 X5 + 0 X6 + 0 X7 + 0 X8 + 0 X9 + 0 X10 + 0 X11 + 0 X12 + 0 X13 + 0 X14 + 0 X15 + 0 X16 \geq 6,02$$

Fibra

$$7,91 X1 + 5,01 X2 + 4,04 X3 + 0 X4 + 7,02 X5 + 0 X6 + 0 X7 + 0 X8 + 0 X9 + 0 X10 + 0 X11 + 0 X12 + 0 X13 + 0 X14 + 0 X15 + 0 X16 \geq 3,00$$

Lisina

$$0,24 X1 + 0,64 X2 + 3,06 X3 + 1,00 X4 + 4,96 X5 + 0 X6 + 0 X7 + 0 X8 + 0 X9 + 0,10 X10 + 0 X11 + 0 X12 + 0 X13 + 0 X14 + 0 X15 + 0 X16 \geq 1,15$$

Metionina cistina

$$0,35 X1 + 0 X2 + 1,40 X3 + 0,45 X4 + 2,55 X5 + 0,09 X6 + 0 X7 + 0 X8 + 0,10 X9 + 0 X10 + 0 X11 + 0 X12 + 0 X13 + 0 X14 + 0 X15 + 0 X16 \geq 0,90$$

Calcio

$$0,02 X_1 + 0,12 X_2 + 0,29 X_3 + 2,50 X_4 + 3,73 X_5 + 0,02 X_6 + 0,90 X_7 + 0,44 X_8 + 0 X_9 + 0 X_{10} + 0 X_{11} + 0 X_{12} + 0,96 X_{13} + 0 X_{14} + 0 X_{15} + 0 X_{16} \geq 0,96$$

Fosforo

$$0,20 X_1 + 0,23 X_2 + 0,27 X_3 + 0,35 X_4 + 0 X_5 + 0 X_6 + 0 X_7 + 0,36 X_8 + 0 X_9 + 0 X_{10} + 0 X_{11} + 0 X_{12} + 0,46 X_{13} + 0 X_{14} + 0 X_{15} + 0 X_{16} \geq 0,46$$

Sodio

$$0,02 X_1 + 0 X_2 + 0,04 X_3 + 0,04 X_4 + 0,88 X_5 + 0 X_6 + 0 X_7 + 0 X_8 + 0 X_9 + 0 X_{10} + 37,85 X_{11} + 27,00 X_{12} + 0 X_{13} + 0 X_{14} + 0 X_{15} + 0 X_{16} \geq 0,21$$

Na+K-Cl

$$257,00 X_1 + 0,44 X_2 + 1,60 X_3 + 1,60 X_4 + 0 X_5 + 0 X_6 + 0 X_7 + 0 X_8 + 0 X_9 + 0 X_{10} + 0 X_{11} + 26,85 X_{12} + 0 X_{13} + 0 X_{14} + 0 X_{15} + 0 X_{16} \geq 250$$

Lisina HCL

$$0,00 X_1 + 0,00 X_2 + 0,00 X_3 + 0,00 X_4 + 0,00 X_5 + 0,00 X_6 + 0,00 X_7 + 0,00 X_8 + 0,00 X_9 + 0,00 X_{10} + 0,00 X_{11} + 0,00 X_{12} + 0,00 X_{13} + 0,00 X_{14} + 0,00 X_{15} + 0,00 X_{16} \geq 0,04$$

Sal

$$0,00 X_1 + 0,00 X_2 + 0,00 X_3 + 0,00 X_4 + 0,00 X_5 + 0,00 X_6 + 0,00 X_7 + 0,00 X_8 + 0,00 X_9 + 0,00 X_{10} + 0,00 X_{11} + 0,00 X_{12} + 0,00 X_{13} + 0,00 X_{14} + 0,00 X_{15} + 0,00 X_{16} \geq 0,05$$

Bicarbonato

$$0,00 X_1 + 0,00 X_2 + 0,00 X_3 + 0,00 X_4 + 0,00 X_5 + 0,00 X_6 + 0,00 X_7 + 0,00 X_8 + 0,00 X_9 + 0,00 X_{10} + 0,00 X_{11} + 0,00 X_{12} + 0,00 X_{13} + 0,00 X_{14} + 0,00 X_{15} + 0,00 X_{16} \geq 0,1$$

Premix aves

$$0,00 X_1 + 0,00 X_2 + 0,00 X_3 + 0,00 X_4 + 0,00 X_5 + 0,00 X_6 + 0,00 X_7 + 0,00 X_8 + 0,00 X_9 + 0,00 X_{10} + 0,00 X_{11} + 0,00 X_{12} + 0,00 X_{13} + 0,00 X_{14} + 0,00 X_{15} + 0,00 X_{16} \geq 0,1$$

A continuación, la Tabla 5 contiene la información resumida de los insumos consumidos en kilogramos, de los componentes en porcentaje, de los costos en tonelada y en kilogramos de las semanas del 07 de abril al 07 de junio del 2017.

A partir de esta información se formuló el modelo matemático con las variables de decisión, las restricciones y la función objetivo en programación lineal para optimizar el costo del alimento balanceado (Ver Figura 3).

Tabla 5

Consumo de insumos de la segunda campaña II (2017)

N°	Variable	Insumo	S/.	Energía metabolizada	Proteína	Grasa	Fibra	Lisina	M + c	Calcio	P. Disp.	Sodio	Na+k-cl	Total kg	Total s/.
1	X1	Maíz	0,8	2,89	18,04	19,51	7,91	0,24	0,35	0,02	0,2	0,02	2,57	4 332263,96	3 465811,17
2	X2	Afrecho	0,68	2,55	25,15	10,04	5,01	0,64		0,12	0,23		0,44	60,70,78	40984,13
3	X3	Torta Soya	1,9	2,82	29,95	37,95	4,04	3,06	1,4	0,29	0,27	0,04	2,09	755599,39	1 435638,84
4	X4	Soya integral	1,74	2,3	20			1	0,45	2,5	0,35	0,04	1,6	1 387355,63	2 413998,79
5	X5	Harina de pescado	3,5	2,45	40,2	5,23	7,02	4,96	2,55	3,73		0,88		111539,89	390389,62
6	X6	Melaza	1	2,29	0,68			0	0,09	0,02	0			160302,77	160302,77
7	X7	Carb. calcio	0,3							0,9				74235,99	22,270,80
8	X8	Fosfato Dical.	5,5							0,44	0,36			128352,16	705936,89
9	X9	DL-Metionina	25						0,1					14243,71	356092,85
10	X10	Lisina HCL	12					0,1						8264,73	99176,73
11	X11	Sal	0,3									37,85		30892,57	9267,77
12	X12	Bicarbonato sod.	4									27	26,85	38185,97	152743,89
13	X13	Premix aves	20	2,84						0,96	0,46			8402,45	168049,04
14	X14	Coccidios tato	12											3543,52	42522,30
15	X15	Prom. de crecim.	12											7087,07	85,044,60
16	X16	CL. colina	6											3543,52	21261,15
		ACTUAL		3,13	19,75	6,02	3	1,15	0,9	0,96	0,46	0,21	250	7 087049,76	9 569,491,34
														S/ kg prom.	1,35

Nota. Los datos corresponden al área de producción de la empresa Chimú Agropecuaria S.A.

Variable ->	Maiz	Afrecho	Torta de	Soya	Harina de	Melaza	Carbonato	Fosfato	DI-metionina	Licina HCL	Sal	Bicarbonato	Premix aves	coccidiostato	Prom. de	CL.colina	CL.colina	Direcion	R. H. S.
Minimize	3465011.17	40984.13	435638.04	2413998.79	390389.62	160302.77	22270.80	705936.89	356092.85	99176.73	9267.77	152743.89	168049.04	42522.30	85044.60	21261.15	21261.15		
Energia	2.89	2.55	2.82	2.30	2.45	2.29	0	0	0	0	0	0	2.84	0	0	0	0	>=	3.13
Proteinas	18.04	25.15	29.95	20.00	40.20	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	19.75
Grasa	19.51	10.04	37.95	0	5.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	6.82
Fibra	7.91	5.01	4.04	0	7.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	3.00
Lisina	0.24	0.64	3.06	1.00	4.96	0	0	0	0	0.10	0	0	0	0	0	0	0	>=	1.15
Metionina+cis	0.35	0	1.40	0.45	2.55	0.09	0	0	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	0.90
Calcio	0.02	0.12	0.29	2.50	3.73	0.02	0.90	0.44	0	0	0	0.96	0	0	0	0	0	>=	0.96
Fosforo	0.20	0.23	0.27	0.35	0	0	0	0.36	0	0	0	0.46	0	0	0	0	0	>=	0.46
Sodio	0.02	0	0.04	0.04	0.88	0	0	0	0	0	37.85	27.00	0	0	0	0	0	>=	0.21
Na+K-Cl	257.00	0.44	1.60	1.60	0	0	0	0	0	0	0	26.85	0	0	0	0	0	>=	250
C11										1								=	0.04
C12											1							=	0.05
C13													1					=	0.1
C14														1				=	0.1

Figura 3. Planteamiento de problema en el software WinQSB.

Nota. Software WinQSB.

Solución Óptima

La solución óptima se obtuvo de la ejecución del modelo matemático en el programa WinQSB, según se observa en la Figura 4.

	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	Maiz	0.9607	3.465.811,0000	3.329.479,0000	0	basic	89.221,2500	23.992.040,0000
2	Afrecho	0.9646	40.984,1300	39.534,9400	0	basic	5.841,9490	176.801,4000
3	Torta de soya	0	435.638,8000	0	158.939,0000	at bound	276.699,8000	M
4	Soya integral	0	2.413.999,0000	0	2.270.497,0000	at bound	143.502,2000	M
5	Harina de pescado	0,2211	390.389,6000	86.309,4400	0	basic	0	680.191,6000
6	Melaza	0	160.302,8000	0	146.524,3000	at bound	13.778,4600	M
7	Carbonato	0	22.270,8000	0	22.270,8000	at bound	0,0000	M
8	Fosfato	0	705.936,9000	0	650.849,7000	at bound	55.087,1600	M
9	DI-metionina	0	356.092,8000	0	340.783,4000	at bound	15.309,4000	M
10	Licina HCL	0,0400	99.176,7300	3.967,0690	0	basic	-M	M
11	Sal	0,0500	9.267,7700	463,3885	0	basic	-M	M
12	Bicarbonato	0,1000	152.743,9000	15.274,3900	0	basic	-M	M
13	Premix aves	0,1000	168.049,0000	16.804,9000	0	basic	-M	M
14	coccidiostato	0	42.522,3000	0	42.522,3000	at bound	0	M
15	Prom. de crecim.	0	85.044,6000	0	85.044,6000	at bound	0	M
16	CL.colina	0	21.261,1500	0	21.261,1500	at bound	0	M
	Objective	Function	(Min.) =	3.491.834,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	Energia	6,0618	>=	3,1300	2,9318	0	-M	6,0618
2	Proteinas	50,4787	>=	19,7500	30,7287	0	-M	50,4787
3	Grasa	29,5838	>=	6,0200	23,5638	0	-M	29,5838
4	Fibra	13,9837	>=	3,0000	10,9837	0	-M	13,9837
5	Lisina	1,9485	>=	1,1500	0,7985	0	-M	1,9485
6	Metionina+cistina	0,9000	>=	0,9000	0	153.094,0000	0,8346	M
7	Calcio	1,0556	>=	0,9600	0,0956	0	-M	1,0556
8	Fosforo	0,4600	>=	0,4600	0	153.019,9000	0,2783	129,3243
9	Sodio	4,8063	>=	0,2100	4,5963	0	-M	4,8063
10	Na+K-Cl	250,0000	>=	250,0000	0	13.158,0700	3,4770	291,1488
11	C11	0,0400	=	0,0400	0	99.176,7300	0	M
12	C12	0,0500	=	0,0500	0	9.267,7700	0	M
13	C13	0,1000	=	0,1000	0	-200.550,3000	0	9,2815
14	C14	0,1000	=	0,1000	0	97.659,8900	0	0,5816

Figura 4. Solución óptima para la dieta balanceada.

Nota. Software WinQSB

En la Tabla 6, se observan los datos relevantes de la combinación de insumos que obedece a las restricciones y función objetivo planteados y que optimizaron el costo de la dieta.

Tabla 6

Combinación de insumos de la solución óptima

Variable	Valor porcentual
X1= Maíz	96,07%
X2= Afrecho	96,46%
X3= Torta de soya	0,00
X4 = Soya Integral	0,00
X5= Harina de pescado	22,11%
X6= Melaza	0,00
X7= Carbonato de calcio	0,00
X8= Fosfato DICAL.	0,00
X9= DL-Metionina	0,00
X10= Lisina HCL	4%
X11= Sal	5%
X12= Bicarbonato de sodio	10%
X13= Premix Aves	10%
X14= Coccidiostato	0,00
X15= Prom. de crecim.	0,00
X6= CL. Colina	0,00

Nota. Datos obtenidos de la solución óptima a partir de la ejecución del Software WinQSB

Interpretación

Se optimizó el costo de la dieta balanceada a un costo de S/ 6 077 657,34 utilizando la siguiente combinación de los insumos: maíz 96,07 %, afrecho 96.46 %, harina de pescado 22,11 %, lisina HCL 4 %, sal 5 %, bicarbonato 10 % y premix aves 10 %.

Tabla 7

Elementos del costo total

Detalle	Valor Porcentual
Pollo bebe	22,5%
Alimento balanceado	32,2%
Producto veterinario	6,4%
Mano de obra directa	6,0%
Material cama	0,3%
Desinfectantes	0,5%
Calefacción	0,2%
Depreciación	2,0%
Costo indirecto	29,9%
Total	100%

Nota. Data de la Empresa Chimú Agropecuaria S.A (2017).

El alimento balanceado representa el 32,21% del costo total, por lo tanto, la aplicación del modelo matemático optimizó el costo en Soles (Ver Tabla 8).

Tabla 8
 Evaluación del costo de la optimización

Detalle	Costo por tonelada	Porcentaje
Pre-test	S/9 569 491,34	100%
Contribución	S/3 491 834,00	36.49%
Post-test	S/6 077 657,34	85%

Nota. El costo post test = Costo pre test-contribución (2017). Datos extraídos de la Tabla 5 y de la Figura 4. Elaboración propia.

Discusión

El modelo matemático de programación lineal obtuvo como resultado un costo de la dieta del alimento balanceado optimizado de S/ 3 491 834,00. Al respecto, se concuerda con la investigación de Gamboa (2012) quien en efecto concluyó que el diseño de un modelo matemático de programación lineal teniendo en cuenta las condiciones de operación la compañía logró la minimización de los costos asociados en la cadena de abastecimiento, incluyendo la producción, el almacenamiento y la distribución; su modelo incluyó 3 150 variables de decisión, y 885 restricciones. También se concordó con Del Águila (2016) en su investigación de optimización de dietas para aves de engorde donde se concluyó que la programación lineal constituye una de las herramientas más poderosas utilizadas para la formulación de alimentos, concentrados o piensos, para aplicaciones pecuarias, y sobre todo humanas, ya que considera todos los requerimientos nutricionales que se quieren cubrir con el alimento que se está diseñando, además de tomar en cuenta los costos de cada ingrediente como el sorbo(maicillo), maíz, etc. así como las restricciones de disponibilidad de cada uno de ellos.

Al aplicarle a los datos la prueba estadística en XLSTAT el valor de “p” arroja 0,0001 lo que indica que, si existe una significancia estadística de los datos, por consiguiente, se acepta la hipótesis alternativa. El resultado cualitativo de la programación lineal, según el coeficiente de determinación $R^2= 0,67$ determinó que si existe una correlación positiva fuerte entre las variables lo que llevó a optimizar el costo en la elaboración de la dieta balanceada. Esto concuerda también con el resultado de Gamboa, quien obtuvo un coeficiente variación de 0.66.

Respecto a la optimización de costos, vale mencionar que el correcto diseño de un sistema de costos puede lograr un adecuado control sobre el costo de producción al permitir conocer de manera exacta el costo de los insumos a utilizar como lo menciona Toscana (2016) en su investigación. Sin embargo, como podemos observar un sistema de costeo es más una herramienta de reporte de la información que ayuda a tomar decisiones muchas veces después del periodo de interés. En este sentido podemos inferir que la aplicación de la programación lineal para el control de costos es una herramienta preventiva, pues el resultado se anticipa, bajo un entorno de optimización. Por otro lado, el resultado de la investigación de Beltrán (2012) da a saber que no siempre las soluciones son viables para la empresa porque existen factores coyunturales, como la factibilidad de inversión o de capacidad de la empresa. En esta investigación sí fue posible llevar a la práctica la mezcla o combinación de los insumos, por su disponibilidad; además, de estar los costos de estos insumos dentro de un rango razonable para la empresa.

Conclusión

La programación lineal optimizó el costo de la dieta del alimento balanceado en 3 491 834,00 (36.49 %) obteniendo un costo total de S/ 6 077 657,34. Se tomaron como base para las restricciones del modelo los porcentajes mínimos de los componentes nutricionales que permitieron garantizar un adecuado crecimiento de las aves: 3,13 % de energía metabolizada, 19,75 % de proteínas, 6,02 % de grasa, 3,00 % de fibra, 1,15 % de lisina, 0,90 % de M+C, 0,96 % de calcio, 0,46 % de fósforo disponible, 0,21 % de sodio, 250,00 % de Na+K-Cl. Se concluye que utilizando el algoritmo del Método Simplex se obtuvo la solución óptima que representó el costo más bajo de producción.

Referencias bibliográficas

- Águila, T. (2016). *Optimización de la mezcla de dietas para la elaboración de alimento balanceado con requisitos predeterminados en aves de engorde* (Tesis de pregrado). Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/2854/TESIS%20MAESTRIA%20-%20TOBIAS%20DEL%20AGUILA%20ARCE.pdf?sequence=1>
- Beltrán, J. (2012). *Elaboración de un modelo del costo mínimo de una dieta balanceada para la población de Bogotá para el año 2010*. Facultad de ingeniería. Universidad Bogotá: s.n., 2012.
- Campos, S. (2015). *Propuesta de implementación de un sistema MRP para reproducir los costos de inventario de materia prima en la producción de alimento balanceado para pollos en molino en CORTIJO S.A.* Universidad Privada del Norte. Trujillo-Perú: s.n.
- Cano, M. y Noel, M. (2013). *El mejoramiento de la calidad en alimentos balanceados pelletizados para aves, mediante el método de ruta de la calidad* (Tesis de pregrado). Disponible en http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/602/3/cano_cm.pdf
- Chase, R. (2014). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros*. (13.a ed.). México: MC GRAW HILL education
- Elizondo, E. (2015). *Evaluación del efecto de dietas formuladas con o sin harinas de origen animal en el rendimiento de pollos de engorde* (Tesis de grado). Disponible en <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2756/Evaluaci%C3%B3n%20del%20efecto%20de%20dietas%20formuladas%20con%20o%20sin%20harinas%20de%20origen%20animal%20en%20el%20rendimiento%20de%20pollos%20de%20engorde.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Eppen, G. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. [ed.] Marisa Anta. Edificio Punta Santa Fe: Pearson Educación.
- Gamboa O., J. y Tabares P., J. (2012). *Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y distribución de la Supply Chain de una empresa de consumo masivo* (Tesis de maestría). Disponible en https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68152/1/dise%C3%B1o_modelo_matematico.pdf
- Gálvez P., J. y Silva L., J. (2015). *Propuesta de mejoras en las áreas de producción y logística para reducir los costos en la empresa molino CORTIJO S.A.C.* (Tesis de grado). Disponible en <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/6369/Galvez%20Peralta%20Jose%20Fernando%20-%20Silva%20Lopez%20Jose%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Boletín de asesoría gerencial. (2008). Optimización de procesos: reducción de costos y creación de valor. *Boletín digital*. N° 10. Disponible en <https://docplayer.es/656519-Boletin-de-asesoria-gerencial.html>
- Granda, V. (2012). *Formulación de una dieta óptima para pollos broiler en fase de engorde, basada en bioconversión de pasta residual de piñón (jatropha curcas) con enzimas fibrolíticas* (Tesis de grado). Disponible en <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5978/1/T-ESPE-034438.pdf>
- Henríquez, C. (2008). *Efectos de la inclusión de hidrolizados proteicos de pescado y de dos fuentes de proteína vegetal en la dieta de pre inicio de pollos broiler sobre sus rendimientos productivos y económicos* (Tesis de licenciatura). Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131169/Efectos-de-la-inclusi%C3%B3n-de-hidrolizados-proteicos-de-pescado-y-de-dos-fuentes-de-prote%C3%ADna-vegetal-en-la-dieta-de-preinicio-de-pollos-Broiler-sobre-sus-rendimientos-productivos-y.pdf?sequence=1>

- Mantilla M., I. y Mejía F., J. (2014). Efecto del suministro de dos presentaciones de alimento en gallinas ponedoras Lohmann Brown durante la etapa de producción (Tesis de grado). Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8725/1/T-ESPE-047959.pdf>
- Pliego, O. (2012). *Programación lineal multiobjetivo: Análisis, técnicas y casos de aplicación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rivera C., C. (2015). *Evaluación de tres niveles de un aditivo multifuncional (AMF) en dieta de gallinas ponedoras LINE BROWN* (Tesis de grado). Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1749/Q55-R5-T-revisar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz, Urania. (1998). *Optimización del problema de la dieta alimenticia: Dietex*. Mixteca.
- Salazar, C. (2011). *Evaluación de tres concentrados de premezclas de vitaminas y minerales en alimento balanceado y su respuesta en los parámetros productivos de los pollos broilers*. Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí: s.n. pág. 130
- Sobvio, V. (2014). *Programación lineal como herramienta para la toma de decisión*. Universidad Mariano Gálvez de Guatemala. Guatemala.
- Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones*. (7a. Ed.). México: Pearson educación.
- Tirado, E. (2013). Diseño de un algoritmo computacional para separar los elementos de un conjunto, mediante programación lineal (Tesis de maestría). Disponible en <http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/763/TM0064.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Toscano, M. (2016). Los costos de producción y la rentabilidad de los fabricantes de alimentos balanceados para aves de cantón Cevallos (Tesis de grado). Disponible en <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23591/1/T3702i.pdf>