

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Administración de Agronegocios
Ingeniería en Administración de Agronegocios



Proyecto Especial de Graduación
Formulación de dieta de mínimo costo para aves de engorde Ross 308

Estudiante

César Dimas Ostorga Olivar

Asesores

Ph.D. Wolfgang Pejuán

D.Sc. Yordan Martinez

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

RAÚL SOTO

Director del Departamento de Administración de Agronegocios

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

| | |
|---|----|
| Índice de Cuadros | 5 |
| Índice de Anexos..... | 6 |
| Resumen | 7 |
| Abstract..... | 8 |
| Introducción..... | 9 |
| Metodología | 12 |
| Recolección de Datos..... | 12 |
| Disponibilidad | 12 |
| Costos. | 13 |
| Requerimientos, Aportes y Restricciones para Formulación de la Dieta..... | 13 |
| Programación Lineal. | 14 |
| Modelo Matemático de la Programación Lineal..... | 14 |
| Modelo de Programación Lineal para Minimización. | 15 |
| Elementos de Modelo de Estudio | 16 |
| Función Objetivo..... | 16 |
| Coefficientes de la Función Objetivo. | 16 |
| Variables de Decisión..... | 17 |
| Restricciones y Límites del Modelo de Minimización. | 17 |
| Coefficientes Técnicos..... | 18 |
| Etapas. | 18 |

| | |
|--|----|
| Solver..... | 18 |
| Informes de Sensibilidad de Solver..... | 19 |
| Resultados y Discusión..... | 20 |
| Disponibilidad de Insumos..... | 20 |
| Aportes Nutricionales de los Insumos..... | 21 |
| Requerimientos Nutricionales de las Aves Ross 308..... | 22 |
| Restricción de Inclusión de Ingredientes..... | 22 |
| Energía Metabolizable..... | 22 |
| Proteína Cruda..... | 23 |
| Macrominerales..... | 24 |
| Aminoácidos..... | 24 |
| Costo Total de las Dietas..... | 25 |
| Análisis por Cambio en Precios de Insumos..... | 27 |
| Conclusiones..... | 30 |
| Recomendaciones..... | 31 |
| Referencias..... | 32 |
| Anexos..... | 35 |

Índice de Cuadros

| | |
|--|----|
| Cuadro 1 Costos de los ingredientes a utilizar para la formulación de dieta de mínimo costo para ave de engorde Ross 308 en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2021..... | 21 |
| Cuadro 2 Requerimientos nutricionales de composición de materia seca, energía y proteína cruda para dieta de ave de engorde Ross 308..... | 23 |
| Cuadro 3 Requerimientos nutricionales de macrominerales para ave de engorde Ross 308. | 24 |
| Cuadro 4 Requerimientos nutricionales de aminoácidos en la alimentación de ave de engorde Ross 308. | 25 |
| Cuadro 5 Dietas propuestas por Solver para las 3 etapas y precio de cada una, en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2021..... | 26 |
| Cuadro 6 Aportes nutricionales de cada dieta para ave de engorde Ross 308 en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2021..... | 27 |
| Cuadro 7 Informe de sensibilidad para el cambio en precio de los ingredientes utilizados en la formulación de las dietas para ave de engorde Ross 308 en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2021..... | 28 |

Índice de Anexos

| | |
|---|----|
| Anexo A Ingredientes disponibles para la formulación de la dieta en la unidad de Enseñanza Avícola de Zamorano, 2021..... | 35 |
| Anexo B Composición de materia seca, energía y proteína cruda de los insumos disponibles para la formulación de las dietas..... | 36 |
| Anexo C Composición de macrominerales de los insumos disponibles para la formulación de las dietas. | 37 |
| Anexo D Composición de aminoácidos de los insumos disponibles para la formulación de las dietas. | 38 |
| Anexo E Composición de aminoácidos de los insumos disponibles para la formulación de las dietas. | 39 |
| Anexo F Dieta base utilizada en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2020. | 40 |

Resumen

En la producción comercial de aves de engorde, el costo de alimentación es aproximadamente el 70% de los costos totales de producción. Debido a esto, existe la necesidad de crear dietas que cumplan con los requerimientos nutricionales de las aves de engorde y que sea de bajo costo. En esta investigación se aplicó la formulación para la estirpe Ross 308. Para ello, se utilizó la programación lineal que es una herramienta que ayuda a la formulación de dietas para determinar la combinación óptima de los recursos de piensos, tomando en consideración sus aportes nutricionales específicos y sus costos. El objetivo de este estudio es realizar dietas de mínimo costo para aves de engorde Ross 308 en sus tres etapas: inicio, crecimiento y finalización, haciendo uso de los insumos disponibles en la unidad avícola de Zamorano. Las dietas se formularon mediante el programa complemento de Microsoft Excel, Solver, obteniendo como resultado un costo de L 12,434, L 12,198 y L 11,862 por tonelada en para las etapas inicio, crecimiento y finalización, respectivamente. Las nuevas dietas formuladas representan una reducción en los costos de L 496, L 230 y L 270, respectivamente. Los informes de sensibilidad presentados por Solver muestran que el maíz convencional, la harina de soya y el aceite de palma son sensibles al cambio de precio y una modificación en estos necesitaría una reformulación de la dieta. El costo de la semolina de arroz y la harina de pescado deben de disminuir en un 6.73 y 12.61 por ciento, respectivamente, para poder ser incluidos en la dieta.

Palabras clave: nutrición, programación lineal, recursos de piensos.

Abstract

In commercial broiler production, feed cost is approximately 70% of total production costs. Due to this, there is a need to create diets that meet the nutritional requirements of broilers at a low cost. In this research, the Ross 308 lineage was used as a reference. For this purpose, linear programming was used, which is a tool that helps in the formulation of diets to determine the optimum combination of feed resources, taking into consideration their specific nutritional contributions and their costs. The objective of this study is to make minimum cost diets for Ross 308 broilers in their three stages: starter, grower, and finisher, making use of the inputs available in the Zamorano Poultry Research and Teaching Center. The diets were formulated using the Microsoft Excel Solver add-in program, resulting in a cost of L 12,434 per ton for the starter diet, L 12,198 per ton for the grower diet and L 11,862 per ton for the finisher diet. The new diets formulated represent a reduction in costs of L 496, L 230 and L 270, respectively. The sensitivity reports presented by Solver show that conventional corn, soybean meal solvent and palm oil are sensitive to price change and a change in these would require a new reformulation of the diet. The cost of rice bran and sardine fish meal must decrease by 6.73 and 12.61 percent, respectively, to be included in the diet.

Keywords: feed additives, linear programming, nutrition.

Introducción

En América Latina, el sector avícola es posiblemente el de mayor crecimiento y el más flexible de todos los sectores de la ganadería. Impulsado principalmente por una fuerte demanda, se ha expandido, consolidado y globalizado en los últimos 15 años en países de todos los niveles de ingreso (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013). La producción mundial de carne de pollo en 2018 fue de 114,283,498 toneladas y el consumo per cápita fue de 35.55 kilogramos en el año 2018 y de 36.47 para el año 2019 (Federación Nacional de Avicultores de Colombia [FENAVI], 2020). Del total mundial, Honduras produjo 205,523 toneladas para el año 2018, supliendo el consumo per cápita nacional que ascendió a los 21.4 kilogramos para el año 2018 (FENAVI, 2020).

Honduras cuenta con características que favorecen a la explotación avícola, como lo son sus estaciones climáticas que son óptimas para la explotación avícola; prueba de ello es el gran desarrollo de dicha actividad en la mayoría de todos los países latinoamericanos debido al clima. En América Latina, se cuenta con empresas integradas verticalmente, lo cual reduce el costo de los insumos y de las transacciones, similares a las prácticas de los demás países. Además, la carne de pollo es ampliamente aceptada por la población y compite con precios muy accesibles (Oseguera, 2020).

Históricamente, el sector avícola ha evolucionado a través de tres fases: 1) los sistemas tradicionales, que consisten en la crianza de parvadas de aves de corral compuestas por aves que se alimentan de desechos y aves de traspatio; 2) los sistemas semicomerciales de pequeña escala, y 3) los sistemas comerciales de gran escala (Ravindran, 2013). La Unidad de Enseñanza Avícola de Zamorano consta de un sistema semicomercial en donde la optimización de recursos es primordial en cuanto a la rentabilidad.

Las exportaciones de carne de pollo en todas sus presentaciones continúan con un alto ritmo de crecimiento, a pesar de que la expansión de la pandemia ha afectado a los principales mercados

externos de Honduras. En este sentido, de acuerdo con información del Sistema de Comercio Exterior (SICE) del Banco Central de Honduras (BCH), de enero a junio (a tres meses y medio de entrada la pandemia) de 2020, los embarques aumentaron de forma notable en 178.1% en volumen y en 61.6% en valor, comparado con el mismo período para el 2019 (Oseguera, 2020).

Se estima que en el mercado local la demanda de pollo frito y asado asciende a 640 mil partes al día, con un gasto promedio \$3.33 en cada compra. Cifras de la Asociación Nacional de Avicultores de Honduras (Anavih) detallan que el consumo semanal de pollo cocinado asciende a cerca de 4.4 millones de piezas, y aproximadamente el 25% del total de los consumidores hondureños compra este tipo de alimento (CentralAmericaData, 2020).

El consumo de carne de pollo conlleva múltiples beneficios debido a que, contiene aproximadamente el 40% de los aminoácidos esenciales, los cuales el organismo humano no sintetiza y deben ser aportados a la dieta, como por ejemplo triptófano, el cual es fundamental para regular los niveles de serotonina en el cerebro. Las vitaminas A, B6, B12, B3, tiamina o riboflavina o minerales como hierro, zinc, magnesio, potasio y fósforo están presentes en la carne de pollo (Instituto Latinoamericano del Pollo [ILP], 2020).

Los pollos de engorde requieren de varios tipos de nutrientes para su óptimo crecimiento y desarrollo, debido a que estos son los que generan mayor impacto sobre la productividad, la rentabilidad y el bienestar de estos. Los nutrientes requeridos específicos son: proteína y aminoácidos, macrominerales, minerales trazas y vitaminas (Aviagen, 2018).

Es necesario tener una dieta de bajo costo para obtener una eficiencia en cuanto a la utilización del alimento, debido a que la alimentación representa aproximadamente un 70 por ciento de los costos de producción. La eficiencia con la que las aves transforman el alimento en peso corporal es un factor importante para el aprovechamiento de esta (Pym, 2013).

Brandalize (2020) en un seminario web, menciona que la reducción en los niveles de energía y un aumento de aminoácidos en las dietas de pollo de engorde, son una estrategia para reducir costos

en las dietas. De igual manera, asegura que un aumento en la cantidad de lisina crea una disminución en los costos debido a que esta ayuda al rendimiento del ave con un aumento de músculos el cual es el objetivo en la producción de aves de engorde.

La forma más conveniente de alimentar pollos es con una ración balanceada. La mayoría de las raciones contienen maíz para brindar energía, harina de soja para proteínas, vitaminas y suplementos minerales. Los ingredientes de los alimentos para aves incluyen concentrados de energía tales como maíz, avena, trigo, cebada, sorgo y subproductos de molinos. Los concentrados de proteína incluyen harina de soja y otras harinas de semillas oleaginosas (maní, ajonjolí, cártamo, girasol, etc.), harina de semilla de algodón y fuentes de proteína animal (harina de carne y hueso, suero de leche deshidratado, harina de pescado, etc.) (El sitio avícola, 2013).

Una opción en los ingredientes a utilizar en la formulación son el salvado de trigo, melaza, semolina de arroz y harina de pescado los cuales aportan diversos nutrientes que ayudan a suplir la demanda de nutrientes en las dietas de las aves. La adición de estos ingredientes podría favorecer a la disminución en el costo de la dieta debido a que generaría una disminución en el uso de otros ingredientes por el costo relativo en el aporte de los nutrientes. El objetivo general del estudio es minimizar los costos de alimentación en aves de engorde en las tres etapas: inicio, crecimiento y finalización, haciendo uso óptimo de los recursos convencionales.

Los objetivos de este estudio son: Identificar los principales ingredientes y demás grupos de ingredientes a utilizar para la formulación de una dieta para aves Ross 308, comparar los costos de la formulación de una dieta de mínimo costo para aves de engorde Ross 308 con la dieta base utilizada en la Unidad de Enseñanza Avícola de Zamorano y por último analizar el efecto de los cambios en los precios de los ingredientes en las dietas formuladas.

Metodología

Los diferentes tipos de ingredientes a utilizar, para la formulación de la nueva dieta de mínimo costo, fueron los disponibles en la unidad avícola de Zamorano. La información sobre la disponibilidad de los ingredientes utilizados se recopiló mediante fuentes de información primaria. Los requerimientos nutricionales de las aves en las diferentes etapas se obtuvieron por medio de información secundaria como lo son manuales de nutrición. Los aportes nutricionales de cada ingrediente se tomaron de fuentes secundarias. Para la formulación de la dieta de mínimo costo de aves de engorde Ross 308 se utilizó un modelo de optimización lineal descifrable por el programa complemento de Microsoft Excel, Solver.

Recolección de Datos.

La recolección de datos es el proceso mediante el cual, los investigadores capturan la información que requieren, siendo su fin llevar a cabo un estudio. La recolección de datos puede recurrir a distintas fuentes, como aquellas bibliográficas (particularmente si la información es cualitativa) o bases de datos de libre disposición (Westreicher, 2021).

Para la recolección de datos se usó como herramienta de investigación fuente de información secundarias. Las técnicas para obtener la información fueron mediante la comunicación escrita con los actores involucrados y la revisión de literatura para determinar de cuales manuales otorgan la información necesaria para realizar nuestras restricciones y determinar variables en la dieta.

Disponibilidad.

La disponibilidad de insumos nos indica cuales ingredientes se tomaron en cuenta al momento de realizar las dietas. La disponibilidad está determinada por el mercado nacional. La disponibilidad de los insumos se determinó mediante comunicación escrita con el jefe de la unidad avícola de Zamorano quien, con ayuda de la unidad de finanzas de Zamorano, otorgaron detalles como el precio

de los ingredientes disponibles a los cuales se tiene acceso para ser utilizados en la elaboración de diferentes dietas en todas las unidades de producción de Zamorano.

Costos.

Los costos son gastos necesarios que se realizan para mantener un proyecto o llevar a cabo un procesamiento (FAO, 2021). Los costos fueron el valor monetario al cual se adquieren los insumos para la formulación de piensos. Para esta investigación, los costos de los insumos se adquirieron con el encargado de inventarios de la Universidad Agrícola, Zamorano.

Requerimientos, Aportes y Restricciones para Formulación de la Dieta.

Los requerimientos nutricionales de las aves en las dietas y las restricciones se obtuvieron mediante información secundaria, el cual fue el manual de nutrición para aves de engorde llamado: Ross Nutrition Specifications (2019) creado por la empresa Aviagen quienes son los creadores de la estirpe Ross 308. Los requerimientos nutricionales consultados fueron con respecto a composición química, macrominerales y aminoácidos específicos para la estirpe Ross 308.

Los aportes nutricionales de algunos ingredientes se obtuvieron con el jefe técnico de la unidad debido a que, con investigaciones anteriores han determinado cada aporte de los ingredientes. La información de los aportes de estos ingredientes se obtuvo de esta manera debido a que no están contemplados en la lista de Feedstuffs. Los aportes nutricionales del resto de los ingredientes se obtuvieron del manual elaborado por Feedstuffs, la cual es la principal fuente de noticias, información y análisis de la agricultura animal sobre las cuestiones importantes que afectan al negocio de la producción de alimentos y combustible para los mercados mundiales (FarmProgress, 2015). Feedstuffs proporciona una tabla de análisis de ingredientes, que fue elaborada en la universidad de Georgia con su última actualización en el 2016, y en esa tabla presentan los aportes nutricionales específicos de cada ingrediente.

Programación Lineal.

Para esta investigación fue necesario el uso del modelo matemático de programación lineal para la minimización de costo que busca obtener una dieta de bajo costo cumpliendo con las restricciones que, en este caso, fueron las cantidades mínimas nutricionales que requieren las aves para que tengan un óptimo desempeño en su crecimiento y desarrollo. La dieta se obtuvo utilizando la herramienta Solver que es un complemento de Excel que muestra los informes de sensibilidad e indica un parámetro acerca de los cambios permisibles que puede haber en el precio de los ingredientes sin que esto afecte a la inclusión de los ingredientes o si requiere una nueva formulación de la dieta.

Modelo Matemático de la Programación Lineal.

La programación lineal corresponde a un algoritmo, a través del cual se pueden resolver situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades para aumentar la productividad respecto a los recursos (principalmente los limitados y costosos), aumentando así los beneficios. El objetivo primordial de la Programación Lineal es optimizar, es decir, maximizar o minimizar funciones lineales en diferentes variables reales con restricciones lineales (sistemas de inecuaciones lineales), optimizando una función objetivo. Existen tres partes principales en la programación lineal : deseo u objetivo de maximizar o minimizar algo, contar con actividades o procesos disponibles como alternativas para tomar una decisión y definir restricciones o limitaciones (Salazar López, 2019). La Ecuación 1 que se presenta a continuación es la fórmula general en la cual se basa la programación lineal en la cual se expresa lo que se desea lograr y se limita mediante restricciones que pueden ser de mínimo o máximo.

$$\text{Optimizar } f(X_1, \dots, X_n)$$

$$\text{Sujeto a: } g(X_1, \dots, X_n) \in S_1 \quad [1]$$

Donde:

(X_1, \dots, X_n) : es el conjunto de variables de decisión.

$f(X_1, \dots, X_n)$: función objetivo, usualmente de maximizar o minimizar.

$g(X_1, \dots, X_n) \in S_1$: restricción (es) o límite (s) del problema.

Para alcanzar un desempeño óptimo, la raciones para los pollos de engorde deben ser formuladas de manera que puedan proporcionar el balance óptimo correcto de energía, aminoácidos, minerales, vitaminas y ácidos grasos esenciales (Aviagen, 2018).

Los límites y restricciones para el problema de optimización fueron la cantidad de nutrientes a suplir para una combinación óptima de insumos para alcanzar un peso vivo de entre 1.70-2.40 kg por ave (Aviagen, 2019). La Programación Lineal se utiliza frecuentemente para formulaciones de dieta. El objetivo es seleccionar un conjunto de alimentos dados que permitan satisfacer ciertos requerimientos nutricionales y preferencias que adicionalmente tenga un costo mínimo (GEO, 2011).

Modelo de Programación Lineal para Minimización.

La minimización es cuando un modelo de programación lineal muestra la relación lineal entre las variables de decisión y las restricciones con el objetivo de obtener como resultado el valor más bajo que cumpla con todas las restricciones. En la Ecuación 2 presentada a continuación, se puede observar el modelo a utilizar cuando el objetivo es minimizar costos.

$$\text{Minimizar (min)} \quad Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$$

$$\text{Sujeto a:} \quad a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \geq b_2$$

$$\begin{array}{cccc} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{array}$$

$$a_{1m}X_1 + a_{2m}X_2 + \dots + a_{nm}X_n \leq b_m$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \leq 0, \dots, X_n \geq 0 \quad [2]$$

Donde:

$Z = c_1X_1 + C_2X_2 + \dots + c_nX_n$: función objetivo

c_i : costo de cada unidad de X_i ($i= 1, \dots, n$)

X_i : variable de decisión

b_j : restricciones del límite del modelo ($j= 1, \dots, m$)

a_{ij} : coeficiente técnico

Para poder realizar la ejecución de esta fórmula, es de suma importancia conocer cada uno de los elementos que la componen, para así poder obtener la minimización de costos dado por los insumos disponibles, el costo de estos y las necesidades nutricionales a suplir.

Elementos de Modelo de Estudio.

El modelo de estudio cuenta con diversos componentes los cuales son: coeficientes de la función objetivo y variables de decisión mediante las cuales se determina la función objetivo, restricciones del modelo y coeficientes técnicos. Para formular las dietas de las diversas etapas se hizo uso del programa complemento de Microsoft Excel, Solver. Mediante Solver se obtuvieron los análisis de sensibilidad para su interpretación.

Función Objetivo.

La función objetivo del estudio es el costo total de la dieta (Z), que está expresada por la multiplicación del costo de cada insumo (C_n) por la cantidad de cada insumo a utilizar que esta dado por n (1, 2, ...).

Coefficientes de la Función Objetivo.

Los coeficientes de la función objetivo son los costos unitarios de cada insumo (C_n) disponible para la formulación de la dieta para aves de engorde Ross 308, en las 3 etapas, inicio, crecimiento y finalización. El costo total de cada insumo se obtuvo por medio de la unidad de finanzas de la Escuela

Agrícola Panamericana, quienes se encargan de llevar la contabilidad de la planta de concentrados y la unidad de aves.

Variables de Decisión.

Las variables de decisión son los ingredientes disponibles con los que se cuenta para poder formular la dieta de mínimo costo. Se tomaron los ingredientes que se han utilizado en investigaciones anteriores en la unidad avícola y han tenido resultados positivos en el desarrollo de las aves de engorde. Estos ingredientes suplen todos los requerimientos de energía, proteína y aminoácidos. De igual manera se incluyen ingredientes que son alternativas estandarizadas y que se incluyen en todas las dietas que se han realizado en la Unidad para aves de engorde Ross 308.

Los pollos de engorde requieren mucha energía en toda su etapa de crecimiento. Las principales fuentes de energía en los alimentos de aves de engorde son granos de cereales, grasas y aceites (Aviagen, 2018).

Las fuentes de proteína se identificaron mediante la tabla Feedstuffs la cual indicaba la cantidad de proteína y aminoácidos que aportan los ingredientes seleccionados. Los insumos disponibles para la formulación de la dieta se encuentran listados en el anexo A. El programa Solver determinó cuáles ingredientes se incorpora en la dieta y cuales quedan fuera por su alto costo.

Restricciones y Límites del Modelo de Minimización.

Las restricciones del límite del modelo nos permiten establecer el rango donde deseamos obtener las respuestas del uso de los insumos. Los límites que tomaremos en cuenta en este modelo son los porcentajes mínimos de energía, materia seca, proteína y aminoácidos que se requieren incluir en las dietas para aves de engorde Ross 308 en las 3 etapas de su desarrollo. Estos se tomaron del manual Ross Nutrition Specifications (2019), publicado por Aviagen que es la empresa a la cual se le otorga la creación de la línea genética de aves Ross 308. Con respecto a los niveles máximos, estos no se muestran en el manual de Aviagen debido a que solo se requiere suplir las cantidades mínimas

necesarias para el óptimo desempeño del ave en cada una de sus etapas. Únicamente para el caso de los macrominerales, Aviagen limita rangos mínimos y máximos permisibles en la dieta de las aves.

Coefficientes Técnicos.

Los coeficientes técnicos en el caso de la elaboración de la dieta fueron los aportes nutricionales de cada uno de los elementos a utilizar, en términos de energía metabolizable, materia seca, proteínas y aminoácidos, tomando en cuenta cada una de sus etapas. Estos aportes fueron tomados de la tabla de análisis de ingredientes Feedstuffs con su última actualización en el año 2016.

Etapas.

Las etapas de desarrollo de un ave son 3 y cada una requiere diferentes cantidades de nutrientes. La primera es la etapa de inicio que es de 1-10 días, la segunda de crecimiento de 11-24, y la última de finalización que será de 25 días hasta su venta a los 35 días.

Solver.

Solver es un programa complemento de Microsoft Excel que se utilizó para llevar a cabo el análisis de optimización lineal para encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula específica en una celda objetivo. Esta fórmula está sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula de una hoja de cálculo.

El programa Solver funciona mediante la combinación de celdas comúnmente llamadas celdas de variables de decisión o celdas cambiantes que se usan para calcular fórmulas en las celdas objetivo y de restricción. Solver ajusta los valores de las celdas de variables de decisión para que cumplan con los límites de las celdas de restricción y den el resultado deseado en la celda objetivo (Microsoft, 2019).

Informes de Sensibilidad de Solver.

Mediante Solver se obtiene la solución óptima, y la información necesaria para poder hacer el análisis de sensibilidad. Solver también es una herramienta de gran interés desde el punto de vista económico/académico debido a que permite el estudio del efecto de cambios dinámicos sobre la formulación inicial y, por lo tanto, el análisis empírico (política de precios, disponibilidad de recursos, política de producción, etc.) a partir de un caso inicial (Martinez Bartra, 2018).

Resultados y Discusión

Disponibilidad de Insumos.

La disponibilidad de los insumos se determinó por medio de contacto con el instructor del módulo de aves, quién indicó los ingredientes que tienen disponibles en la unidad para formular dietas, y que se encuentran disponibles a nivel comercial en el país. Por medio del departamento de finanzas de la universidad, se obtuvieron los precios a los cuales Zamorano adquiere dichos productos, que se incluyen en la formulación de la dieta en Excel. Mediante Solver se logró la formulación de una nueva dieta y determinar los porcentajes de inclusión de cada uno de los ingredientes utilizados. Al inicio de la investigación se consideró incluir otros ingredientes que se han utilizado en estudios anteriores, sin embargo, la disponibilidad de estos es limitada y no se cuenta con estos ingredientes a nivel comercial en Honduras, se descartó el uso de esos ingredientes. En el Cuadro 1, se muestra los precios sobre los cuales se obtienen los ingredientes para la formulación de la dieta, precio el cual se puede observar en Lempira por cada kilogramo de producto.

Cuadro 1

Costos de los ingredientes a utilizar para la formulación de dieta de mínimo costo para ave de engorde Ross 308 en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2021.

| Grupo de ingredientes | Insumo | Costo Lempiras por kilogramo |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Principal | Maíz amarillo convencional | 7.74 |
| Principal | Harina de soya | 14.31 |
| Principal | Aceite de palma | 18.01 |
| Principal | Salvado de trigo | 7.32 |
| Principal | Melaza | 3.04 |
| Principal | Semolina de arroz | 6.50 |
| Principal | Harina de pescado | 31.20 |
| Enzima | Enzima lumis lbzyme X50 | 24.25 |
| Aditivo | Coccidiostato | 77.16 |
| Nutriente | Premezcla | 194.01 |
| Nutriente | Colina | 52.91 |
| Aditivo | Mycofix 5.0 | 213.25 |
| Suplemento | Carbonato de calcio | 3.20 |
| Nutriente | Biofos | 20.81 |
| Suplemento | Sal común | 3.64 |
| Aminoácido sintético | L-lisina | 66.14 |
| Aminoácido sintético | DL-metionina | 104.23 |
| Aminoácido sintético | L-treonina | 80.25 |

Aportes Nutricionales de los Insumos.

Las fuentes de información sobre aportes nutricionales que se consideraron tomar en cuenta para llevar a cabo esta investigación se identificaron por medio de literatura citada, la cual dio como resultado los siguientes manuales: Feedstuffs ingredient Analysis Table: 2016 edition y Tablas brasileñas para aves y cerdos, 4ª edición. Ambos manuales hacen referencia a los aportes nutricionales específicos de cada ingrediente. Para este estudio se utilizaron únicamente los aportes nutricionales que se encuentra en el manual elaborado por Feedstuffs, debido a que Feedstuffs indica el aporte nutricional de los ingredientes producidos en Estados Unidos, mismos que se utilizan en la

Unidad Avícola de Zamorano al momento de formular dietas. Los aportes seleccionados fueron los siguientes:

Composición de materia seca, energía y proteína cruda de los insumos (anexo B)

Composición de macrominerales de los insumos (anexo C)

Composición de aminoácidos de los insumos (anexo D, E)

Requerimientos Nutricionales de las Aves Ross 308.

Los requerimientos nutricionales de las aves de engorde Ross 308 en base al peso vivo fueron determinados mediante un manual de especificaciones nutricionales elaborado por Aviagen, en el cual especifican los requerimientos para las 3 etapas. El peso vivo que se espera alcanzar al final del ciclo de producción es de entre 1.70-2.40 kg por ave (Aviagen, 2019). En cada una de las etapas varían los requerimientos nutricionales. Los requerimientos específicos son con respecto a energía metabolizable, proteína cruda y aminoácidos, materia seca y macrominerales. Según Aviagen en el 2019, los requerimientos de energía metabolizable, materia seca, proteína cruda y aminoácidos presentan únicamente restricciones de cantidades mínimas de su inclusión; en cuanto los macrominerales magnesio y potasio la restricción es con respecto a mínimo y máximo.

Restricción de Inclusión de Ingredientes.

Los piensos para aves que se formulan en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano requieren la inclusión específica de los aditivos: enzima lumis lbzyme x50, coccidiostato, premezcla, colina, mycofix 5.0, carbonato de calcio, biofost y sal común. El salvado de trigo se puede incluir en una proporción no mayor al 8 % del total del pienso debido a su alto contenido de fibra y baja densidad física (Aviagen, 2018). La inclusión del aceite de palma se limita a un máximo de 8.5% dado que niveles superiores a este afectarían en la consistencia del pienso.

Energía Metabolizable.

Los niveles inferiores a los recomendados de energía metabolizable afectan de forma significativa y no proporcional al crecimiento diario y el índice de conversión de las aves (Santomá y

Mateos, 2018). Según Moughan y Hendriks (2018), un principio básico de la nutrición aviar, es que el pollo regula el consumo en función de sus necesidades energéticas. Debido a esto, la energía es la principal variable nutricional para regular el consumo en aves. Debido a esto, el nivel de energía en los piensos es de gran importancia económica en la producción de aves.

Proteína Cruda.

La proteína son polímeros complejos de aminoácidos. La cantidad de proteína que se utiliza en los piensos está limitada por la cantidad de aminoácidos digeribles que estén disponibles. Según FEDNA en 2018, se estipula que se puede tener piensos equilibrados con bajos niveles de proteína bruta (menos de 21% en inicio, 19,5% en crecimiento y 17% en finalización). En el caso de las dietas para aves Ross 308 se requiere un aporte mínimo de 23, 21.5 y 19.5% en la etapa de iniciación, crecimiento y finalización, respectivamente. Según Feedstuffs (2016), el aporte de aminoácidos por parte de los ingredientes que comúnmente se incluyen en los piensos es limitado y para completar los requerimientos faltantes se agregan aminoácidos sintéticos. En el Cuadro 2, se observa los requerimientos nutricionales con respecto a la composición química que se deben proveer durante cada etapa de desarrollo del ave.

Cuadro 2

Requerimientos nutricionales de composición de materia seca, energía y proteína cruda para dieta de ave de engorde Ross 308.

| Composición química | Unidad | Relación | Inicio | Crecimiento | Finalización |
|------------------------|---------|----------|--------|-------------|--------------|
| Energía metabolizable* | Kcal/kg | ≥ | 3,000 | 3,100 | 3,200 |
| Proteína cruda* | % | ≥ | 23 | 21.5 | 19.5 |
| Materia seca** | % | ≤ | 90% | 90% | 90% |

Nota. * Tomado de Ross Nutrition Specifications 2019. ** Tomado de FEDNA 2018.

Macrominerales

El calcio y el fósforo son dos minerales muy importantes en la dieta de las aves dado que ayudan al desarrollo del esqueleto óseo. El calcio afecta de manera positiva en los procesos metabólicos como la coagulación de sangre, contracciones musculares e impulsos nerviosos. Según Santomá y Mateos (2018) la necesidad de potasio no ha sido estudiada a detalle, debido a esto, se espera que todos los piensos prácticos cumplan con los requerimientos de mínimo y máximo. En el Cuadro 3 se presentan los requerimientos nutricionales con respecto a macrominerales que requieren las dietas para ave de engorde Ross 308 en sus tres etapas de desarrollo.

Cuadro 3

Requerimientos nutricionales de macrominerales para ave de engorde Ross 308.

| Macromineral | Unidad | Relación | Inicio | Crecimiento | Finalización |
|--------------|--------|----------|--------|-------------|--------------|
| Calcio | % | ≥ | 0.96 | 0.87 | 0.81 |
| Fósforo | % | ≥ | 0.48 | 0.435 | 0.405 |
| Magnesio | % | ≥ | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Magnesio | % | ≤ | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Potasio | % | ≥ | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Potasio | % | ≤ | 1 | 0.9 | 0.9 |

Nota. Tomado de Ross Nutrition Specifications 2019.

Aminoácidos

Según el manual de nutrición para aves de engorde Ross 308 (2018), la elección de los niveles de inclusión de nutrientes deben ser una decisión económica tomada por los encargados. Aviagen restringe la cantidad mínima de aminoácidos que se tienen que incluir en la dieta, aunque aseguran que los niveles altos de aminoácidos digestibles elevan la rentabilidad debido a que mejoran el rendimiento del pollo de engorde. Por ello, no se detalla un límite definido en la cantidad máxima de aminoácidos en la dieta y estos dependerán del resto de restricciones que tenga la dieta. En el Cuadro 4 se presentan los requerimientos nutricionales de aminoácidos para la elaboración de dietas para

ave de engorde Ross 308 en sus tres etapas de desarrollo. Los requerimientos de aminoácidos serán utilizados como restricciones al momento de realizar la dieta mediante Solver.

Cuadro 4

Requerimientos nutricionales de aminoácidos en la alimentación de ave de engorde Ross 308.

| Aminoácido | Unidad | Relación | Inicio | Crecimiento | Finalización |
|---------------------|--------|----------|--------|-------------|--------------|
| Lisina | % | ≥ | 1.28 | 1.15 | 1.03 |
| Metionina+ cisteína | % | ≥ | 0.95 | 0.87 | 0.8 |
| Treonina | % | ≥ | 0.86 | 0.77 | 0.69 |
| Valina | % | ≥ | 0.96 | 0.87 | 0.78 |
| Isoleucina | % | ≥ | 0.86 | 0.78 | 0.71 |
| Arginina | % | ≥ | 1.37 | 1.23 | 1.1 |
| Triptófano | % | ≥ | 0.2 | 0.18 | 0.16 |
| Leucina | % | ≥ | 1.41 | 1.27 | 1.13 |

Nota. Tomado de Ross Nutrition Specifications (2019).

Costo Total de las Dietas

El costo total de la dieta es el resultado de la suma de la multiplicación del costo unitario de cada ingrediente por la cantidad del insumo a utilizar. La cantidad de cada ingrediente a utilizar fue el resultado de la ejecución del programa complemento de Excel, Solver. Solver es ejecutado con base a la programación lineal con enfoque en minimización.

Al tener todos los costos unitarios de cada insumo disponible, la función objetivo está establecida para el desarrollo del modelo de programación lineal por el programa complemento de Microsoft Excel, Solver. Se designó a cada insumo (variable decisión), una variable que representa la incógnita para resolver.

Las variables de decisión son: maíz amarillo convencional (X_1), harina de soya (X_2), aceite de palma (X_3), salvado de trigo (X_4), melaza (X_5), semolina de arroz (X_6), harina de pescado (X_7), enzima lumis lbzyme X50 (X_8), coccidiostato (X_9), premezcla (X_{10}), colina (X_{11}), mycofix 5.0 (X_{12}), carbonato de calcio (X_{13}), biofost (X_{14}), sal común (X_{15}), L-lisina (X_{16}), DL- metionina (X_{17}) y L- treonina (X_{18}).

La Ecuación 3, es la función objetivo a desarrollar para determinar una dieta para ave de engorde Ross 308. La ecuación está dada para una tonelada de alimento.

$$\text{Costo total (Z)} = 7,738x_1 + 14,307x_2 + 18,011x_3 + 7,319x_4 + 3,042x_5 + 6,503x_6 + 31,200x_7 + 24,250x_8 + 77,161x_9 + 194,006x_{10} + 52,910x_{11} + 213,252x_{12} + 3,196x_{13} + 20,811x_{14} + 3,637x_{15} + 66,138x_{16} + 104,234x_{17} + 80,248x_{18} \quad [3]$$

En el Cuadro 5 se muestran las dietas formuladas en Solver para cada una de las etapas con el porcentaje de inclusión de cada ingrediente y el precio total por tonelada.

Cuadro 5

Dietas propuestas por Solver para las 3 etapas y precio de cada una, en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2021.

| Ingrediente | Inicio | Crecimiento | Finalización |
|--------------------------------|---------|-------------|--------------|
| Maíz amarillo convencional | 35.98% | 40.49% | 46.32% |
| Harina de soya | 41.32% | 37.20% | 31.68% |
| Aceite de palma | 6.05% | 6.70% | 7.13% |
| Salvado de trigo | 8.00% | 8.00% | 8.00% |
| Melaza | 3.95% | 3.30% | 2.87% |
| Semolina de arroz | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Harina de pescado | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Enzima lumis lbzyme X50 | 0.05% | 0.05% | 0.05% |
| Coccidiostato | 0.05% | 0.05% | 0.05% |
| Premezcla | 0.50% | 0.50% | 0.50% |
| Colina | 0.05% | 0.05% | 0.05% |
| Mycofix 5.0 | 0.12% | 0.12% | 0.12% |
| Carbonato de calcio | 1.65% | 1.52% | 1.41% |
| Biofost | 1.73% | 1.51% | 1.32% |
| Sal común | 0.35% | 0.35% | 0.35% |
| L-lisina | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| DL- metionina | 0.21% | 0.16% | 0.15% |
| L- treonina | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Costo de la dieta por tonelada | L12,434 | L12,198 | L11,862 |

En el Cuadro 6 se muestra los aportes nutricionales de composición química, macrominerales y aminoácidos en cada una de las dietas para ave de engorde Ross 308.

Cuadro 6

Aportes nutricionales de cada dieta para ave de engorde Ross 308 en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2021.

| Aportes | unidad | inicio | crecimiento | finalización |
|--------------------------------|----------|---------|-------------|--------------|
| Disp. De energía metabolizable | kcal/ kg | 3000.00 | 3100.00 | 3200.00 |
| Disp. Proteína cruda | % | 23.00 | 21.50 | 19.50 |
| Disp. Ca | % | 0.96 | 0.87 | 0.79 |
| Disp. P | % | 0.48 | 0.44 | 0.40 |
| Disp. Mg | % | 0.16 | 0.15 | 0.14 |
| Disp. K | % | 1.00 | 0.94 | 0.85 |
| Disp. Lisina | % | 1.31 | 1.21 | 1.08 |
| Disp. Metionina+ cistina | % | 0.95 | 0.87 | 0.80 |
| Disp. Treonina | % | 0.88 | 0.82 | 0.75 |
| Disp. Triptofano | % | 0.30 | 0.28 | 0.25 |
| Disp. Valina | % | 1.26 | 1.19 | 1.09 |
| Disp. Isoleucina | % | 1.21 | 1.13 | 1.01 |
| Disp. Arginina | % | 1.80 | 1.69 | 1.55 |
| Disp. Leucina | % | 1.78 | 1.68 | 1.54 |
| Disp. Fibra cruda | % | 3.93 | 3.73 | 3.47 |
| Disp. Enzima | % | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Disp. Coccidiostato | % | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Disp. Premezcla | % | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Disp. Colina | % | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Disp. Mycofix 5,0 | % | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| Cloruro de sodio | % | 0.35 | 0.35 | 0.35 |

Análisis por Cambio en Precios de Insumos.

Los análisis por cambio en precios de los insumos usados para la formulación de la dieta para aves Ross 308 en las tres etapas están determinados por Solver luego de que este ha establecido la solución óptima que satisface todas las restricciones del modelo propuesto. El informe de sensibilidad presentado por Solver fue determinado con base al cambio en el costo de los insumos. Los precios provistos por el área de finanzas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano están actualizados hasta el día 11 de mayo del 2021, por lo que el análisis de sensibilidad sirve para evaluar los cambios posibles que pueden tener los precios de los insumos y si estos tendrán algún impacto en la

composición de la dieta. En el Cuadro 7, se observan los niveles permisibles de variación de precio que pueden presentar los insumos utilizados sin que se vea afectada la formulación de la dieta. El rango permisible de variación para esta investigación fue del 15%.

Cuadro 7

Informe de sensibilidad para el cambio en precio de los ingredientes utilizados en la formulación de las dietas para ave de engorde Ross 308 en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2021.

| Insumo | Costo reducido | Coficiente Objetivo | Permisible aumentar | Permisible disminuir |
|----------------------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Maíz amarillo convencional | - | 7738.22 | 527.74 | 190.15 |
| Harina de soya | - | 14307.98 | 1127.76 | 7863.01 |
| Aceite de palma | - | 18011.75 | 1195.10 | 2503.08 |
| Salvado de trigo | - | 7319.34 | 3766.54 | 1E+30 |
| Melaza | - | 3042.38 | 284.22 | 4574.25 |
| Semolina de arroz | 437.45 | 6503.63 | 1E+30 | 437.45 |
| Harina de pescado | 3934.82 | 31200.00 | 1E+30 | 3934.82 |
| Enzima lumis lbzyme X50 | - | 24250.82 | 1E+30 | 1E+30 |
| Coccidiostato | - | 77161.70 | 1E+30 | 1E+30 |
| Premezcla | - | 194006.56 | 1E+30 | 1E+30 |
| Colina | - | 52910.88 | 1E+30 | 1E+30 |
| Mycofix 5.0 | - | 213252.89 | 1E+30 | 1E+30 |
| Carbonato de calcio | - | 3196.70 | 49675.92 | 5477.13 |
| Biofost | - | 20811.61 | 30334.23 | 20729.45 |
| Sal común | - | 3637.62 | 1E+30 | 1E+30 |
| L-lisina | 37870.57 | 66138.60 | 1E+30 | 37870.57 |
| DL- metionina | - | 104234.43 | 136971.74 | 81171.84 |
| L- treeonina | 58354.42 | 80248.17 | 1E+30 | 58354.42 |

Para este escenario los ingredientes que no son sensibles a un cambio en los precios son enzima lumis lbzyme X50, coccidiostato, premezcla, colina, mycofix 5.0 y sal común. Esto debido a que la restricción en la inclusión de estos ingredientes es limitada con el signo de igual que (=) por ello, a pesar de la variación que presente el precio con el que se encuentren en el mercado estos ingredientes es necesarios incluirlos en la dieta si se desea realizar.

El precio del maíz amarillo convencional puede aumentar hasta un 6.82% o disminuir un 2.46% sin que requiera un cambio. Para el precio de la harina de soya es permisible su aumento hasta en un 7.88% del precio actual. El precio del aceite de palma puede variar hasta en un 6.64% de incremento o una reducción de 13.90%, *ceteris paribus*.

El precio de la semolina de arroz debe presentar una disminución de 6.73% para poder ser incluida en la dieta. Con respecto al precio de la harina de pescado, este tiene que disminuir en un 12.61%, *ceteris paribus*.

En el anexo F se observa la dieta para aves de engorde Ross 308 con la que se ha trabajado en investigaciones anteriores en la unidad avícola y su costo actual basado en los precios que se usaron para la formulación de la nueva dieta, los cuales se mostraron en el Cuadro 1. Para la etapa de inicio el precio es de L 12,931 por tonelada, y la dieta realizada en Solver tiene un precio de L 12,434 lo cual da una disminución de L 496 por cada tonelada de alimento en la etapa de inicio. Para la etapa de crecimiento el precio es de L 12,429 por tonelada y la nueva dieta L 12,198 por tonelada, generado un ahorro de L 230 por tonelada. Para la dieta de la última etapa, finalización, el costo de la dieta antigua es de L 12,132 y de la dieta realizada en Solver se obtuvo un precio de L 11,862 por tonelada, siendo la diferencia de L 270 por tonelada.

Conclusiones

Los ingredientes principales que se deben de utilizar en la formulación de la dieta de mínimo costo para aves de engorde Ross 308 para la Unidad de Enseñanza Avícola de Zamorano son aquellos que se encuentran disponibles a nivel comercial y ricos en aportes energéticos y proteicos como lo son: maíz amarillo convencional, harina de soya, aceite de palma, salvado de trigo, melaza, semolina de arroz, harina de pescado. Otros grupos que se incluyen en la dieta son: aminoácidos sintéticos, enzimas, aditivos alimenticios, nutrientes y suplementos alimenticios.

Los costos totales de las dietas de mínimo costo elaboradas para las etapas de inicio, crecimiento y finalización son de L 12,434, L 12,198 y L 11,862 por tonelada, respectivamente, con una reducción en el costo de L 496, L 230 y L 270 por tonelada, respectivamente, comparado con la dieta base utilizada en la Unidad de enseñanza Avícola de Zamorano.

La fórmula de composición de la nueva dieta es sensible al aumento de los precios del costo de los ingredientes maíz amarillo convencional, harina de soya, aceite de palma y melaza; así mismo es sensible a una disminución en los precios del costo de maíz amarillo convencional, aceite de palma, semolina de arroz y harina de pescado.

Recomendaciones

Evaluar la efectividad de las dietas formuladas en esta investigación por medio de ensayos experimentales y comparar con la dieta actual que se utiliza en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano para determinar su rendimiento e impacto en las aves durante sus 3 etapas.

Reformular la dieta de mínimo costo para la Unidad de Enseñanza Avícola de Zamorano cuando los ingredientes semolina de arroz y harina de pescado presenten una disminución en su precio del 6.73 o 12.61 por ciento, respectivamente, *ceteris paribus*.

Referencias

- Aviagen. (2018). *Manual de manejo* (Pollo de engorde núm. 1118-AVNR-032). Estados Unidos. https://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-ES.pdf
- Aviagen. (2019). *Ross Broiler: Nutrition Specifications*. United States. Aviagen. https://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/RossBroilerNutritionSpecs2019-EN.pdf
- Brandalize, V. (2020). *Cobb debatió las tendencias para reducir los costos de las dietas de los pollos en un seminario web*. Avinews. <https://avicultura.info/cobb-tendencias-reducir-los-costos-de-las-dietas/>
- CentralAmericaData (2020, 8 de julio). El negocio del pollo en Honduras: Se estima que en el mercado local la demanda de pollo frito y asado, asciende a 640 mil partes al día y cada consumidor gasta en promedio \$3,33 en cada compra. *CentralAmericaData*. https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Pollo_cocinado_El_negocio_en_Honduras
- El sitio avícola. (2013). *Alimentación de pollos para obtener mejor salud y mayor rendimiento*. <https://www.elsitioavicola.com/articles/2491/alimentacion-de-pollos-para-obtener-mejor-salud-y-mayor-rendimiento/>
- FAO. (2021). *Producción y productos avícolas: Nutrición y alimentación*. <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/nutrition-feeding/es/>
- FarmProgress. (2015). *Feedstuffs*. <https://marketing.farmprogress.com/brands/livestock/feedstuffs>
- Federación Nacional de Avicultores de Colombia. (2020). *Información estadística: Estadísticas del Sector*. <https://fenavi.org/informacion-estadistica/>
- GEO. (2011). *Problema de la Dieta en Programación Lineal resuelto con Solver de Excel*. https://www.gestiondeoperaciones.net/programacion_lineal/problema-de-la-dieta-en-

- programacion-lineal-resuelto-con-solver-de-excel/#:~:text=Una%20de%20las%20aplicaciones%20cl%C3%A1sicas,adicionalmente%20tenga%20un%20costo%20m%C3%ADnimo
- Instituto Latinoamericano del Pollo. (2020). *Cinco beneficios de comer carne de pollo*. <https://ilp-ala.org/cinco-beneficios-de-comer-carne-de-pollo/>
- Martinez Bartra, X. (2018). *Análisis de sensibilidad en Programación Lineal utilizando el Solver de Excel*. <https://xavierdatascience.wordpress.com/2018/07/25/analisis-de-sensibilidad-en-pl-utilizando-el-solver-de-excel/>
- Microsoft. (2019). *Definir y resolver un problema con Solver: Excel para Microsoft 365*. <https://support.microsoft.com/es-es/office/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>
- Moughan, P. J. y Hendriks, W. (2018). *Feed evaluation science*. Wageningen Academic Publishers.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Ed.). (2013). *Revisión del desarrollo avícola*. FAO. <http://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>
- Oseguera, M. (2020). *Industria avícola hondureña: motor de crecimiento*. Industria Avícola. <https://www.industriaavicola.net/mercados-y-negocios/industria-avicola-hondurena-motor-de-crecimiento/>
- Pym, R. (2013). Selección comercial para la producción de carne y huevos. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Ed.), *Revisión del desarrollo avícola* (pp. 92–94). FAO. <http://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>
- Ravindran, V. (2013). Disponibilidad de piensos y nutrición de aves de corral en países en desarrollo. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Ed.), *Revisión del desarrollo avícola* (pp. 62–66). FAO. <http://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>

Salazar López, B. (2019). *Programación lineal*.

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/programacion-lineal/>

Santomá, G. y Mateos, G. G. (2018). *Necesidades nutricionales para avicultura: Normas FEDNA* (2ª edición). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

Westreicher, G. (2021). *Recolección de datos*. Economipedia.

<https://economipedia.com/definiciones/recoleccion-de-datos.html>

Anexos**Anexo A**

Ingredientes disponibles para la formulación de la dieta en la unidad de Enseñanza Avícola de Zamorano, 2021.

| Insumo |
|----------------------------|
| Maíz amarillo convencional |
| Harina de soya |
| Aceite de palma |
| Salvado de trigo |
| Melaza |
| Semolina de arroz |
| Harina de pescado |
| Fosfato dicalcico |
| Enzima lumis Lbzyme X50 |
| Coccidiostato |
| Premezcla |
| Colina |
| Mycofix 5.0 |
| Carbonato de calcio |
| Biofos |
| Sal común |
| L-lisina |
| DL-metionina |
| L- treonina |

Anexo B

Composición de materia seca, energía y proteína cruda de los insumos disponibles para la formulación de las dietas.

| Insumo | Materia seca % | energía metabolizable kcal/kg | Proteína cruda % |
|----------------------------|----------------|-------------------------------|------------------|
| Maíz amarillo convencional | 86 | 3373 | 7.5 |
| Harina de soya | 90 | 2240 | 44 |
| Aceite de palma | 99 | 8800 | 0 |
| Salvado de trigo | 89 | 2820 | 25 |
| Melaza | 91 | 2375 | 7 |
| Semolina de arroz | 91 | 2040 | 13.5 |
| Harina de pescado | 92 | 2860 | 65 |
| L-lisina | - | 3800 | 94.5 |
| DL-metionina | - | 4500 | 58.5 |
| L- treonina | - | 3230 | 72.5 |

Fuente: Feedstuffs ingredient Analysis Table: 2016 edition.

Anexo C

Composición de macrominerales de los insumos disponibles para la formulación de las dietas.

| Insumo | Calcio % | Fósforo % | Sodio % | Cloro % | Potasio % | Magnesio % |
|----------------------------|----------|-----------|---------|---------|-----------|------------|
| Maíz amarillo convencional | 0.01 | 0.12 | 0.02 | 0.04 | 0.33 | 0.08 |
| Harina de soya | 0.25 | 0.20 | 0.04 | 0.02 | 1.97 | 0.27 |
| Salvado de trigo | 0.01 | 0.31 | 0.02 | 0.08 | 0.90 | 0.22 |
| Melaza | 1.18 | - | - | - | - | - |
| Semolina de arroz | 0.10 | 0.24 | 0.10 | 0.07 | 1.35 | 1.00 |
| Harina de pescado | 4.50 | 2.70 | 0.18 | 0.00 | 0.30 | 0.10 |

Fuente: Feedstuffs ingredient Analysis Table: 2016 edition

Anexo D

Composición de aminoácidos de los insumos disponibles para la formulación de las dietas.

| Insumo | Lisina % | Metionina+ cisteína % | Treonina % | Triptófano % |
|----------------------------|----------|-----------------------|------------|--------------|
| Maíz amarillo convencional | 0.24 | 0.36 | 0.29 | 0.07 |
| Harina de soya | 2.7 | 1.32 | 1.7 | 0.6 |
| Salvado de trigo | 1.37 | 0.88 | 0.94 | 0.3 |
| Semolina de arroz | 0.5 | 0.27 | 0.4 | 0.1 |
| Harina de pescado | 5.9 | 2.8 | 2.6 | 0.5 |
| L-lisina | 98.5 | - | - | - |
| DL-metionina | - | 99 | - | - |
| L- treonina | - | - | 98.5 | - |

Fuente: Feedstuffs ingredient Analysis Table: 2016 edition

Anexo E

Composición de aminoácidos de los insumos disponibles para la formulación de las dietas.

| Insumo | Valina % | Isoleucina % | Arginina % | Fenilalanina % | Leucina % |
|----------------------------|----------|--------------|------------|----------------|-----------|
| Maíz amarillo convencional | 0.42 | 0.29 | 0.4 | 0.42 | 0.8 |
| Harina de soya | 2.4 | 2.5 | 3.4 | 2.2 | 3.4 |
| Salvado de trigo | 1.12 | 0.79 | 1.83 | 0.93 | 1.1 |
| Semolina de arroz | 0.6 | 0.39 | 0.45 | 0.41 | 1.2 |
| Harina de pescado | 3.4 | 3.3 | 2.7 | 2 | 3.8 |
| L-lisina | - | - | - | - | - |
| DI-metionina | - | - | - | - | - |
| L- treonina | - | - | - | - | - |

Fuente: Feedstuffs ingredient Analysis Table: 2016 edition

Anexo F*Dieta base utilizada en la unidad de enseñanza avícola de Zamorano, 2020.*

| Ingrediente | Inicio | Crecimiento | Finalización |
|----------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Maíz amarillo convencional | 49.60 | 55.52 | 59.52 |
| Harina de soya | 39.54 | 34.86 | 30.21 |
| Aceite de palma | 6.15 | 5.45 | 6.44 |
| Salvado de trigo | - | - | - |
| Melaza | - | - | - |
| Semolina de arroz | - | - | - |
| Harina de pescado | - | - | - |
| Enzima lumis Lbzyme X50 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Coccidiostato | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Premezcla | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Colina | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Mycofix 5.0 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| Carbonato de calcio | 1.13 | 1.05 | 1.00 |
| Biofos | 1.58 | 1.41 | 1.20 |
| Sal común | 0.50 | 0.35 | 0.35 |
| L-lisina | 0.25 | 0.21 | 0.19 |
| DL-metionina | 0.38 | 0.32 | 0.27 |
| L- treonina | 0.10 | 0.06 | 0.05 |
| Precios | L 12,931.17 | L 12,429.09 | L 12,132.94 |