

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



Proyecto Especial de Graduación
Estimación de función de producción para pollo de engorde Cobb
500.

Estudiante

Oscar Daniel Maldonado Pinto

Asesores

Rommel Reconco, M.B.A.

Luis Sandoval, Ph.D.

Honduras, junio 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

RAÚL SOTO, D.SC.

Director Departamento de Administración de Agronegocios

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	4
Índice de Figuras	5
Índice de Anexos	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Metodología.....	13
Etapa I: Producción Del Pollo De Engorde Cobb 500.....	16
Etapa II: Análisis económicos.....	16
Etapa III: Creación de herramienta en Excel.....	17
Resultados y Discusión.....	19
Conclusiones	26
Recomendaciones.....	27
Referencias.....	28
Anexos.....	29

Índice de Cuadros

Cuadro 1 <i>Principales razas utilizadas para cada propósito</i>	10
--	----

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Función de crecimiento en peso de un pollo promedio en función del tiempo para pollo de engorde Cobb 500.</i>	19
Figura 2. <i>Función de producción de 2,000 pollos en función del tiempo (en días después de nacidos) para pollo de engorde Cobb 500.</i>	20
Figura 3. <i>Función de ingresos y costos que varían totales en tiempo (CVTt) para los 2,000 pollos Cobb 500.</i>	22
Figura 4. <i>Función de margen bruto para los 2,000 pollos Cobb 500.</i>	22
Figura 5. <i>Planteamiento Solver.</i>	23
Figura 6. <i>Código Macro.</i>	24
Figura 7. <i>Pantalla principal de la herramienta</i>	25

Índice de Anexos

Anexo A. <i>Variables evaluadas por Cobb-Vantress</i>	29
Anexo B. <i>Recomendaciones nutricionales</i>	30
Anexo C. <i>Relaciones de aminoácidos digestibles balanceados</i>	31
Anexo D. <i>Niveles de suplementación de vitaminas y elementos traza (por tonelada)</i>	32

Resumen

En la industria avícola hondureña se desconoce la utilización de la función de producción de la línea genética Cobb 500 que maximice el margen bruto para los avicultores, por lo tanto, en esta investigación se generó un modelo compuesto por una función de producción y una de costos que varían, para encontrar el tiempo óptimo de sacrificio para pollos de engorde de la línea genética Cobb 500. La función de ingresos se estructuró utilizando un precio variable en el tiempo por gramo de pollo en pie, una función de crecimiento de un pollo promedio expresada en gramos y el número de pollos. En la determinación de la función de producción y costos que varían totales, se incluyeron parámetros obtenidos mediante regresiones, utilizando datos proveídos por la empresa Cobb-Vantress. La función de producción obtenida fue: $Yt = 2,000 \times (41.54 + 1.3412t + 2.3923t^2 - 0.0128t^3)$, mientras que la función de costos que varían totales en tiempo fue: $CVTt = [2,000 \times 0.014978 \times (392.31 + 33.167t + 2.0029t^2)] + (2,000 \times 15) + 11,811.04$. Para calcular el margen bruto, se multiplicó la función de producción por el precio de gramo de pollo en pie y se restaron los costos que varían totales en tiempo, la función de margen bruto fue: $MBt = \{0.03524 \times [2,000 \times (41.54 + 1.3412t + 2.3923t^2 - 0.0128t^3)]\} - \{2,000 \times 0.014978 \times (392.31 + 33.167t + 2.0029t^2) + (2,000 \times 15) + 11,811.04\}$. El día óptimo de sacrificio que maximizó el margen bruto fue de 41 días después del nacimiento y el margen bruto para ese tiempo es de HNL 11.43 por pollo y HNL 22,865.16 para las 2,000 aves.

Palabras clave: Función de producción, Cobb 500, margen bruto, producción avícola, día óptimo de sacrificio.

Abstract

In the Honduran poultry industry, the use of the production function of the Cobb 500 genetic line that maximizes the gross margin for poultry farmers is unknown, therefore, in this research a model was generated composed of one function of production and one of varying costs, to find the optimum slaughter time for broilers of the Cobb 500 genetic line. The income function was structured using a time-varying price per gram of live chicken, a growth function of an average chicken expressed in grams and the number of chickens. In the determination of the production function and total varying costs, parameters obtained through regressions were included, using data provided by the Cobb-Vantress company. The production function obtained was: $Yt = 2,000 \times (41.54 + 1.3412t + 2.3923t^2 - 0.0128t^3)$, while the time-varying cost function was: $CVTt = [2,000 \times 0.014978 \times (392.31 + 33.167t + 2.0029t^2)] + (2,000 \times 15) + 11,811.04$. To calculate the gross margin, the production function was multiplied by the price per gram of live chicken and subtracted the total time-varying costs, the gross margin function was: $MBt = \{0.03524 \times [2,000 \times (41.54 + 1.3412t + 2.3923t^2 - 0.0128t^3)]\} - \{2,000 \times 0.014978 \times (392.31 + 33.167t + 2.0029t^2 + (2,000 \times 15) + 11,811.04)\}$. The optimum slaughter day that maximized gross margin was 41 days after hatch and the gross margin for that time is HNL 11.43 per chicken and HNL 22,865.16 for the 2,000 birds.

Keywords: Production function, Cobb 500, gross margin, poultry production, optimal day of slaughter.

Introducción

La industria avícola en Honduras ha evolucionado de forma positiva, mostrando fuertes avances tecnológicos, consolidándose dentro de la economía, llegando a constituir el 5% del Producto Interno Bruto (PIB), aportan un estimado de 160 millones lempiras por año. Además, en el periodo 1998 al 2005, esta industria creció un 8.2%. (Ardón, 2016). Con crecimientos constantes durante los años, en el 2015 se estimó que esta industria invirtió aproximadamente HNL 10,000 millones, generando aproximadamente 15 mil empleos directos y 160 mil empleos indirectos, en su mayoría en el área rural (Consejo Hondureño de la Empresa Privada [COHEP], 2015).

En 2012 en el país se produjeron 158,894 toneladas métricas (TM) de carne de pollo, en consecuencia, durante el periodo 2000-2012 la producción de este rubro creció a una importante tasa promedio anual de 6.5%, al pasar de 74,800 de TM en 2000 a 158,894 TM en 2012. En el 2014 el consumo interno y/o demanda interna se situó en 167.7 mil toneladas métricas (167,703.4 miles de kg), de las cuales el 5.3% (8,809.4 TM), se abasteció con importaciones, mientras que el 94.7% de la producción se destinó a abastecer la demanda interna (COHEP, 2015).

La carne de pollo que exporta Honduras, destacan por su monto el pollo entero sin trocear que de 2009 a 2014 se exportaron aproximadamente USD\$ 4.8 millones que representan el 31.6% de las exportaciones totales estimadas en USD\$ 15.2 millones; le siguen en su orden las pechugas con valor de USD\$ 3.2 millones (21.4%); pasta de pollo con USD\$ 2.2 millones (14.4%); las alas con un valor aproximado de USD\$ 2.1 millones (14.0%); demás trozos con USD\$ 1.8 millones (11.7%); y muslos y piernas con USD\$ 1.0 millones (6.8%) (COHEP, 2015).

La carne de pollo que importó Honduras durante 2009-2014, destacan por su monto la pasta de pollo con un valor de USD\$ 39.8 millones, equivalentes a 49.4 millones de kg, que representan el 60.2% y 74.0%, respectivamente, le siguen en su orden los muslos y piernas con USD\$ 16.8 millones, que representan el 25.4%; el pollo entero sin trocear con USD\$ 7.4 millones (11.2%), por último, le

siguen las pechugas con USD\$ 1.2 millones y demás trozos de carne con USD\$ 0.7 millones (sumados aportan el 3.2% restante) (COHEP, 2015).

Durante este mismo periodo (2009-2014) el precio al por mayor de la libra de carne de pollo limpio, creció a una leve tasa de 0.7%, es decir, paso de HNL 21.61 por libra en enero del 2012 a HNL 27 por libra en septiembre de 2014 (COHEP, 2015).

En el área de mejoramiento genético, varias compañías han desarrollado líneas cuyos desempeños han sido un éxito. Esto se ha reflejado en los animales al obtener una mejor productividad y rendimiento en los parámetros productivos como ganancia de peso, índice de conversión alimenticia y peso en canal. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que estos parámetros también dependen de factores ajenos a la genética, entre ellos, clima y suministro de nutrientes en las dietas (Gutiérrez Velásquez y González Medrano, 2013).

En la industria avícola se manejan los sistemas de producción extensivos, semi-intensiva y los intensivos, siendo este último el más usado para grandes producciones por sus ventajas. El sistema intensivo los animales permanecen encerrados en galpones, en donde se les suministra alimento y agua (Villanueva et al., 2015). En la industria avícola se identifican distintos rublos, como las gallinas para huevo, los pollos para engorde y el doble propósito (carne y huevo). El cuadro 1 muestra las razas más utilizadas, en las zonas rurales.

Cuadro 1.

Principales razas utilizadas para cada propósito.

Propósito	Razas
Huevo	Leghorn, Lohmann, Hy-Line, De Kalb, Shave.
Carne	Hubbard, Arbor Acres, Indian River, Cobb 500.
Doble propósito (carne y huevo)	Rhode Island, New Hampshire, Sussex, Plymouth Rock, Orpington y Wyandotte.

Nota. Tomado de Villanueva et al. (2015)

La producción de pollo de engorde es una industria que se caracteriza por producir en volumen, para contrarrestar una ganancia mínima por unidad de producto. Con márgenes tan

pequeños de ganancias, los productores independientes o integrados a grandes empresas están conscientes de los factores (peso corporal, incrementos semanales del peso corporal, consumo acumulativo de alimento, conversión acumulativo de alimento) que afectan los costos de producción (Ingalls Herrera y Ortiz Muñiz, 2007).

La producción de pollo Cobb 500 en la región no cuenta con una función de producción que ayude a estimar el punto óptimo de rendimiento. Este proyecto permitió crear una herramienta para que los productores avícolas en Honduras puedan determinar la fecha de cosecha de los pollos que resulte económicamente más rentable realizar la cosecha de las aves. Por la naturaleza del estudio se limitó únicamente la línea genética Cobb 500, pues los patrones de crecimiento se atribuyen bastante a la línea genética.

La línea Cobb 500 es un pollo de engorde que tiene una eficiente conversión alimenticia (1.54 en el periodo de 16 a 35 días). El mejoramiento realizado a la línea Cobb 500 ha generado importantes mejoras en la eficiencia en la conversión de alimenticia, rendimiento superior, habilidad de crecimiento utilizando dietas de menor costo, producción de carne a un menor costo, más alto nivel de uniformidad, rendimiento reproductivo competitivo (Vargas Ruiz, 2009).

La línea Cobb 500 sigue aumentando el potencial de desempeño de pollo de engorde y de las reproductoras. El éxito de Cobb en todo el mundo ha brindado mucha experiencia en el manejo de explotaciones de pollo de engorde tanto en climas cálidos y fríos, galpones de ambiente controlado y abiertos (Cobb®, 2013).

El crecimiento animal puede ser descrito por medio de funciones matemáticas (también llamadas funciones de producción) que predicen el desempeño de la evaluación del peso vivo. Dichas funciones permiten realizar evaluaciones sobre el nivel de producción de las empresas, pudiendo clasificar de forma sencilla la productividad de una raza específica para una zona determinada (Agudelo Gómez et al., 2008). Una función de producción muestra las distintas cantidades de producto que se puede obtener combinando distintas cantidades de factores productivos y dado cierto nivel de

conocimientos o tecnología (Vargas Biesuz, 2014). La función de producción simplifica este problema al describir los máximos resultados posibles como una función de diferentes conjuntos de insumos (Rajimon, 2010).

Los costos de producción son todos los desembolsos monetarios esperando tener una retribución mayor a futuro de un proyecto, comprenden todos aquellos recursos comprometidos con el desarrollo de los productos y servicios. Es decir, consiste en la determinación previa de los egresos monetarios indispensables para obtener un volumen dado de toda la producción de la empresa (Zugarramurdi, 1998).

De acuerdo con la metodología que se utilizó en la investigación para determinar la función de producción de engorde la línea Cobb 500, requirió determinar los costos que varían. Según Granda (2017), los costos que varían es la suma de todos los costos que varían para una determinada tecnología.

Para la producción de pollos de engorde Cobb 500 se determinó que los costos que varían son el costo de alimentación, costo de la mano de obra para realizar la alimentación y los costos de comprar los pollos de engorde de un día de nacido.

Los objetivos específicos de este proyecto fueron:

Estimar la función de producción para pollo de engorde de la línea Cobb 500 utilizando la dieta determinada por Cobb-Vantress.

Determinar el punto óptimo técnico y económico para estimar momento de cosecha que maximice utilidad.

Desarrollar un modelo automatizado en Excel que les permita a los avicultores, con base en información propia de su explotación, identificar el día óptimo de sacrificio.

Metodología

Para este estudio se hizo uso del manual “Suplemento informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde Cobb 500” (Cobb®, 2018), en el cual están las variables requeridas, mostradas en el Anexo A.

El estudio se realizó en la granja propiedad de Cobb-Vantress ubicada en 4703 US Hwy 412 E, Siloam Springs, AR 72761, Estados Unidos. En el cual se utilizó un sistema de producción intensivo, que según Villanueva et al.,(2015) los animales permanecen encerrados en galeras o galpones, que cuentan con comederos y bebederos. En el caso de los pollos de engorde, se cubre el piso con una capa de cascarilla de arroz o viruta de madera. Este sistema demanda infraestructura especial. La alimentación se basa en alimentos concentrados, para lograr una máxima producción de huevo o carne.

Función de margen bruto. Según Cimmyt (1988) se calcula multiplicando el precio de campo por el rendimiento luego se restan los costos, en este caso los que varían. Por lo tanto, el margen bruto se obtuvo de una simple resta entre los ingresos totales y los costos que varían acumulados totales de la producción de pollos. El modelo de la función de margen bruto (Ecuación 1) se presenta a continuación:

$$MB_t = P_t Y_t - CVT_t \quad [1]$$

Dónde:

MB_t : margen bruto por la producción de pollo en función del tiempo “t” (en días después de nacidos).

P_t : precio del pollo en pie en función del tiempo “t” (en días después de nacidos).

Y_t : función de producción, indicando el peso total en función de tiempo “t” (días después de nacidos).

CVT_t : costos que varían total en tiempo “t” (en días después de nacidos).

Función de costos que varían totales en tiempo. La función de costos que varían totales de la producción de pollos en función del tiempo (días después de nacidos) fue el resultado de la

multiplicación del número total de pollos por el costo por gramo de alimento por la función de consumo acumulado de alimento en tiempo, la cual es presentada a continuación (Ecuación 2):

$$CVT_t = (N \times CA_g \times CAA_t) + (N \times CCP) + MOA \quad [2]$$

Dónde:

CVT_t: costos que varían total en tiempo "t" (días después de nacidos).

N: cantidad de pollos.

CA_g: costo alimento por gramo.

CAA_t: consumo de alimento acumulado en tiempo "t" (días después de nacidos).

CCP: costo compra por pollo de engorde de un día de nacido.

MOA: mano de obra para alimentación.

t: tiempo "t" (días después de nacidos).

Función de consumo acumulado de alimento en tiempo. La función de consumo acumulado en tiempo en este estudio, se obtuvo del modelo de regresión lineal múltiple solamente para un pollo promedio, dando como resultado una función cuadrática, que se define de la siguiente forma (Ecuación 3):

$$CAA_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 \quad [3]$$

Dónde:

CAA_t: consumo de alimento acumulado en tiempo "t" (días después de nacidos).

t: tiempo "t" (días después de nacidos).

α_i: parámetros a estimar para i = 0, 1, 2.

Función de peso total. Se obtuvo la función de producción correspondiente para la producción de pollo de engorde Cobb 500, a través de la serie de datos proveídos por Cobb-Vantress (Anexo A), multiplicado por el peso promedio por pollo expresado en gramos en el día de cosecha (día 64), obtenido de la función de crecimiento en peso en función de tiempo (en días después de nacidos). La función de producción (Ecuación 4) se presenta a continuación:

$$Y_t = N \times W_t \quad [4]$$

Dónde:

Y_t : función de peso total en función de tiempo “t” (días después de nacidos).

N: cantidad de pollos.

W_t : el peso en gramos de un pollo en función de tiempo “t” (días después de nacidos).

Función de producción. Peso en gramos de un pollo “ W_t ”, se obtuvo del modelo de regresión lineal múltiple que arrojó los parámetros para Cobb 500, a través de una función cúbica. La función de crecimiento en peso (Ecuación 5), se obtuvo mediante la regresión con el modelo específico presentado a continuación:

$$W_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3 \quad [5]$$

Dónde:

W_t : peso en gramos de un pollo en función de tiempo “t” (días después de nacidos).

t: tiempo (días después de nacidos).

β_i : parámetros a estimar para $i = 0, 1, 2, 3$.

Precio. El precio del gramo de pollo en pie, se determinó según las entrevistas realizadas vía telefónica a distintos avicultores del área estableciéndose en HNL 0.03524/g (HNL 16/lb) para pollos con un peso superior a 2,100 g (2.1 kg) y menor a 2,800 g (2.8 kg). En el caso que el pollo no cumpla con el peso del límite inferior, su precio correspondiente es cero y dado el caso que sobrepase los 2,800 g/pollo el comprador presentara dificultades en aceptarlo (Gómez Cabrera y Naranjo Naranjo, 2020).

En la actualidad, la edad promedio de sacrificio de los pollos es de 35 a 42 días con un peso corporal de 2.1 a 2.8 kg. Si el período de cría es superior a 35–42 días, los pollos de engorde producidos tienen mayor peso corporal y rendimiento muscular, pero también mayor contenido de grasa en la canal (Gómez Cabrera y Naranjo Naranjo, 2020).

Etapa I: Producción Del Pollo De Engorde Cobb 500.

Para este estudio se utilizaron los datos provistos por Cobb-Vantress (Anexo A) del manual informativo de rendimiento y nutrición de pollo de engorde Cobb 500. Los datos fueron tomados a lo largo de 64 días. El manual contiene las variables ganancia de peso diaria, peso para la edad, consumo de alimento y consumo de alimento diario.

Las variables evaluadas fueron:

Ganancia de peso diaria (g/día). Las aves se pesaron todos los días por las mañanas. Posteriormente se le resta el peso del día menos el peso del día anterior; la diferencia entre los dos días es la ganancia de peso diaria de cada ave.

Peso para la edad (g/día). las aves fueron pesadas todos los días. Se registró su peso diario a lo largo de los 64 días de recolección de datos.

Consumo de alimento (g/día). Se pesará el alimento ofrecido. Cada día se pesó el alimento en cada comedero para posteriormente restarlo de la cantidad que había del día anterior. Posteriormente se dividió a la cantidad de aves en el corral, para obtener el consumo diario por ave por día.

Consumo acumulado de alimento (g/día). Con los datos de consumo diario. Se sumaron estos valores a lo largo del ciclo productivo de los pollos.

Etapa II: Análisis económicos.

Cuantificar los costos que varían durante el tiempo de producción de las aves (costos de alimentación, mano de obra para alimentación y compra de cada pollo con un día de nacido). Los costos de mano de obra para la alimentación de los pollos Cobb 500, se obtuvieron por medio de entrevistas telefónicas con avicultores hondureños estableciendo que se necesita al menos una persona por cada galpón con 2,000 aves. Para efecto de este proyecto se utilizó el salario mínimo de un empleado para la zona donde se encuentra Zamorano HNL 11,811.04.

Costo alimento. Para los costos de alimentación. Se entrevistó a vendedores autorizados de alimentos para aves de engorde, cuyo rango de precios oscila entre los HNL 665 y HNL 690; se fijó el costo para alimentación para este proyecto en HNL 680 por quintal de alimento; mediante la realización de un promedio de precios, expresado en gramos HNL 0.014978/g.

Con los datos recolectados de consumo de alimento y peso de las aves, se utilizó el paquete de "Data Analysis" de Excel para realizar una regresión múltiple, pues solo se cuenta con una variable dependiente (peso) y una variable independiente (días después de nacidos). Esto con el propósito de recolectar los distintos coeficientes de las betas (β) y alfas (α), para formular la ecuación.

El tiempo óptimo de sacrificio se obtuvo utilizando la herramienta "Solver" de Excel, luego de maximizar la función de margen bruto (Ecuación 1). Al momento de utilizar la herramienta se establecieron los límites del mismo, los cuales son los días máximos (41 días) y mínimos (35 días) de sacrificio; al igual que los pesos (2,100 g como mínimo y 2,800 g como máximo).

Etapas III: Creación de herramienta en Excel.

La herramienta en Excel tiene como finalidad que cada avicultor tenga acceso a una maximización de margen bruto que se acople a sus costos que varían. Todo avicultor que decida trabajar con la línea genética Cobb 500 y desee hacer uso de esta herramienta, deberá ingresar las cantidades en lempiras (HNL), para los distintos costos que varían establecidos en la investigación.

Para la creación de la herramienta, se utilizó la función de margen bruto (Ecuación 1), para plantear la función a maximizar. Asimismo, se plantearon las restricciones o límites de la producción, para que las aves tengan las características deseadas por los clientes. Los límites que se utilizaron fueron, peso máximo (2,800 g), peso mínimo (2,100 g) y días (42). Una vez establecida la función a maximizar y los límites de la misma, se utilizó la herramienta Macros, para automatizar el proceso de la maximización de utilidad bruta (Ecuación 1).

La herramienta Macro, consiste es ejecutar una serie de pasos con solo dar un clic. Creada la Macro, se creó un botón al cual se le dio el nombre “SOLUCIÓN”, al cual se le asigno la macro, para que ejecutase todo el ejercicio automáticamente.

Resultados y Discusión

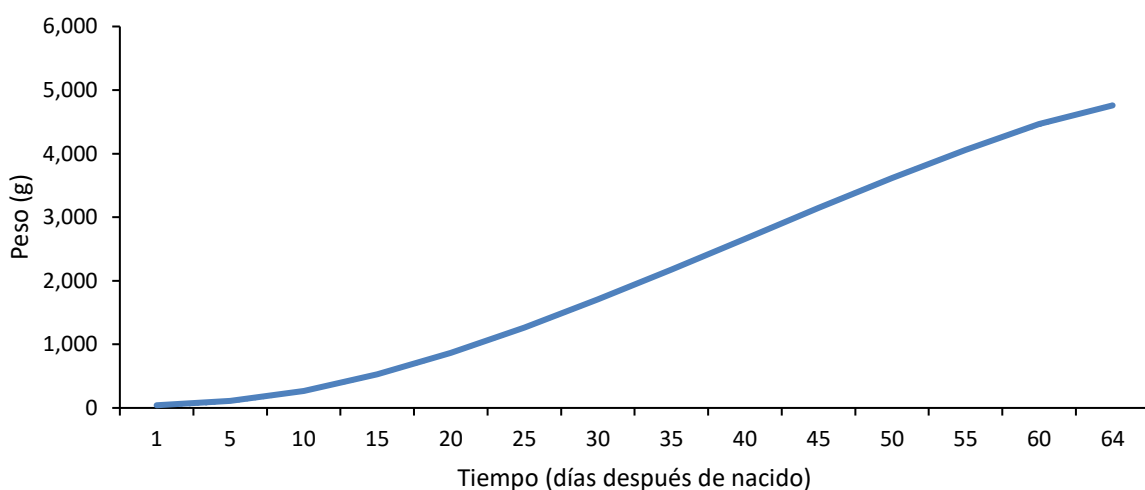
Función producción. Los parámetros de la función de producción determinan el crecimiento en peso por día de un pollo y fueron estimados mediante la regresión de la función de crecimiento en peso (Ecuación 6). Los parámetros estimados se presentan en la Ecuación 6:

$$W_t = 41.54 + 1.3412t + 2.3923t^2 - 0.0128 t^3 \quad [6]$$

La figura 1, modela el crecimiento promedio de un pollo Cobb 500, presentando ganancias de peso considerables a lo largo del tiempo de producción. Iniciando en el día 0 con 42 g, constituyendo el peso inicial de pollo al primer día de nacido, llegando a los 4,759 g en día 63.

Figura 1.

Función de crecimiento en peso de un pollo promedio en función del tiempo para pollo de engorde Cobb 500.



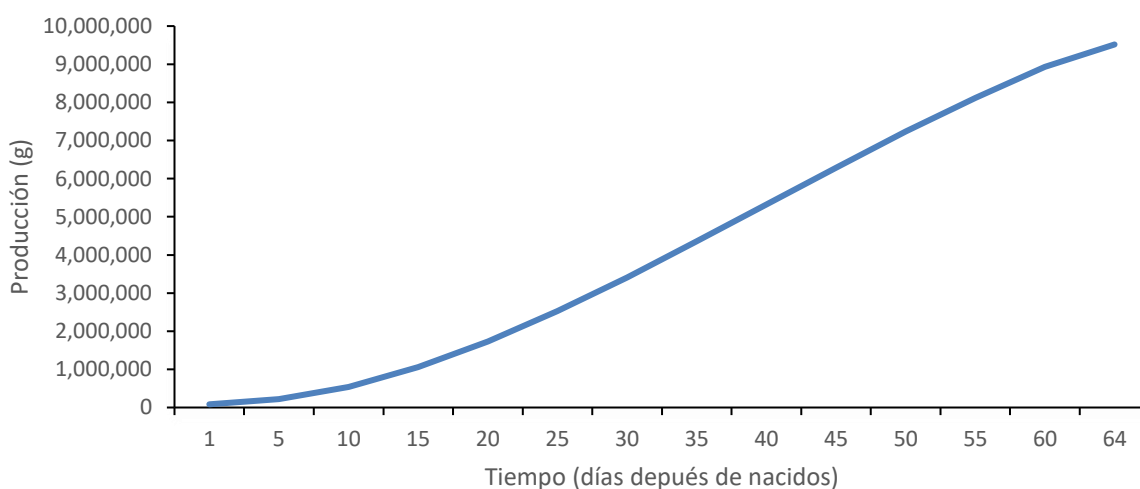
Función de peso total. Mediante la función de producción y el número total de pollos que posee en promedio una granja avícola fue determinada la función de producción (Ecuación 4). Esta función de producción con los parámetros estimados anteriormente e incluidos en la Ecuación 4 para pollo de engorde Cobb 500 es presentada a continuación (Ecuación 7):

$$Y_t = 2,000 \times (41.54 + 1.3412t + 2.3923t^2 - 0.0128 t^3) \quad [7]$$

En la figura 2 representa la producción total en peso para los 2,000 pollos. Se puede apreciar como la figura 1 y figura 2, muestran la misma pendiente, esto debido, que la producción total se calculó multiplicando la producción de un pollo promedio por los 2,000 pollos.

Figura 2.

Función de producción de 2,000 pollos en función del tiempo (en días después de nacidos) para pollo de engorde Cobb 500.



Función de consumo acumulado de alimento en tiempo. Mediante la regresión polinomial de segundo grado se determinó la función de consumo acumulado de alimento (Ecuación 3). La función de consumo acumulado de alimento en tiempo con sus parámetros estimados (Ecuación 8), los parámetros estimados se presentan en la Ecuación 8:

$$CAA_t = -392.31 + 33.167t + 2.0029t^2 \quad [8]$$

Función de costos que varían totales en tiempo. Mediante la función de consumo acumulado de alimento en tiempo, el costo del alimento en gramos y el número total de pollos que posee en promedio una granja avícola fue determinada la función de costos que varían totales en tiempo (Ecuación 2). Esta función de costo que varían en tiempo con los parámetros estimados anteriormente e incluidos en la Ecuación 2 para pollo de engorde Cobb 500 se muestran en la Ecuación 9:

$$CVT_t = [2,000 \times 0.014978 \times (-392.31 + 33.167t + 2.0029t^2)] + (2,000 \times 15) + 11,811.04 \quad [9]$$

Función de margen bruto. Los valores estimados del precio por gramo de pollo en pie, de la función de producción (Ecuación 4) y de los de costos que varían total en tiempo (Ecuación 2) se sustituyeron en la Ecuación 1 para obtener la ecuación funcional del margen bruto (Ecuación 10) se presenta a continuación:

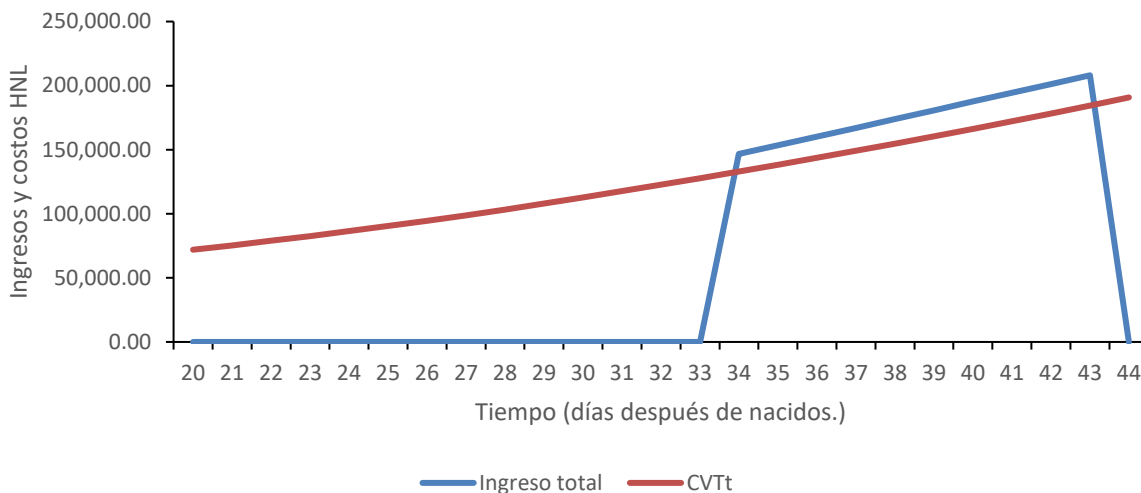
$$MB_t = \left\{ 0.03524 \times [2,000 \times (41.54 + 1.3412t) + 2.3923t^2 - 0.0128 t^3] \right\} - \left\{ \left[\begin{array}{l} 2,000 \times 0.014978 \times \\ (-392.31 + 33.167t + 2.0029t^2) \end{array} \right] \right\} + (2,000 \times 15) + 11,811.04 \quad [10]$$

Tiempo óptimo de sacrificio del pollo. El tiempo óptimo de sacrificio se obtuvo maximizando la Ecuación 10 a través de la herramienta Solver de Excel. El tiempo óptimo que se obtuvo con la herramienta Solver fue de 41 días después del nacimiento dando como resultado un margen bruto de HNL 11.43 por pollo y HNL 22,865.16 para las 2,000 aves. Un avicultor que desee maximizar su margen bruto deberá sacrificar sus pollos antes de los 41 días después de nacidos.

La figura 3 ilustra las funciones de ingresos y costos que varían totales. Del día 33 al 42 se presentan ingresos positivos debido a que en este periodo de tiempo las aves si cumplen con las características que la industria demanda. Antes del día 33 y después del día 42 las aves no cumplen con las características deseadas, por lo tanto, su valor es cero, y no hay retornos.

Figura 3.

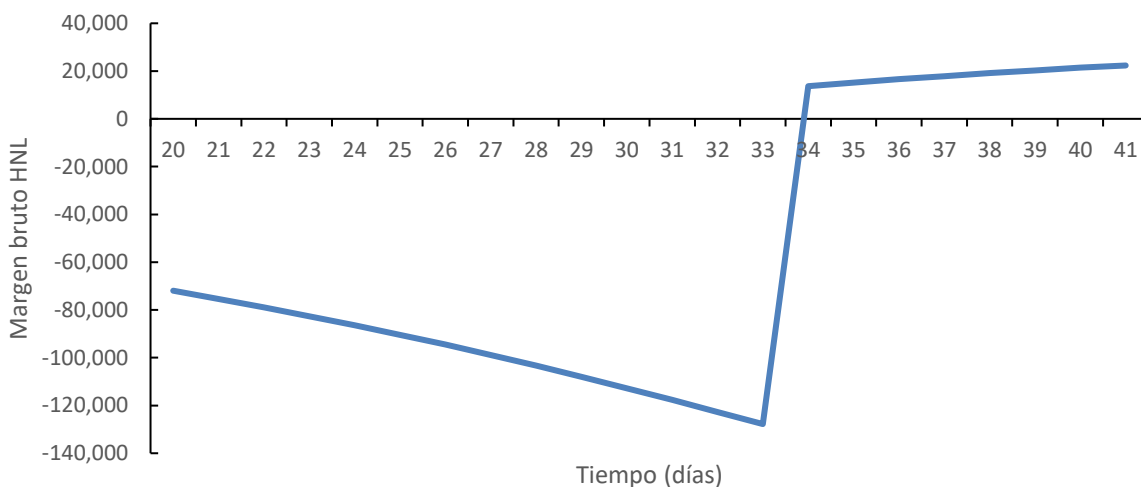
Función de ingresos y costos que varían totales en tiempo (CVTt) para los 2,000 pollos Cobb 500.



La figura 4 se representa de forma gráfica el margen bruto para los 2,000 pollos Cobb 500. Se observa que en el día 33 el margen bruto es el menor durante todo el proceso de producción, debido que del día 33 al 42, los pollos cumplen con las características para ser vendidos, es decir, en este periodo ya hay retornos, maximizándose en el día 41

Figura 4.

Función de margen bruto para los 2,000 pollos Cobb 500.



Herramienta de Excel. Al finalizar la Etapa II: Análisis económicos, se inició con el proceso de creación de la herramienta, en la cual, se creó la Macro y fue asignada al botón “SOLUCIÓN” para que ejecutase la solución óptima para el ejercicio.

La figura 5 muestra el planteamiento del Solver que se usó para la herramienta, en la cual todas las variables se actualizan automáticamente si el usuario realiza un cambio en el ejercicio para maximizar su producción. Asimismo, se muestran las distintas ecuaciones planteadas anteriormente, las variables consideradas y los límites de este.

Figura 5.

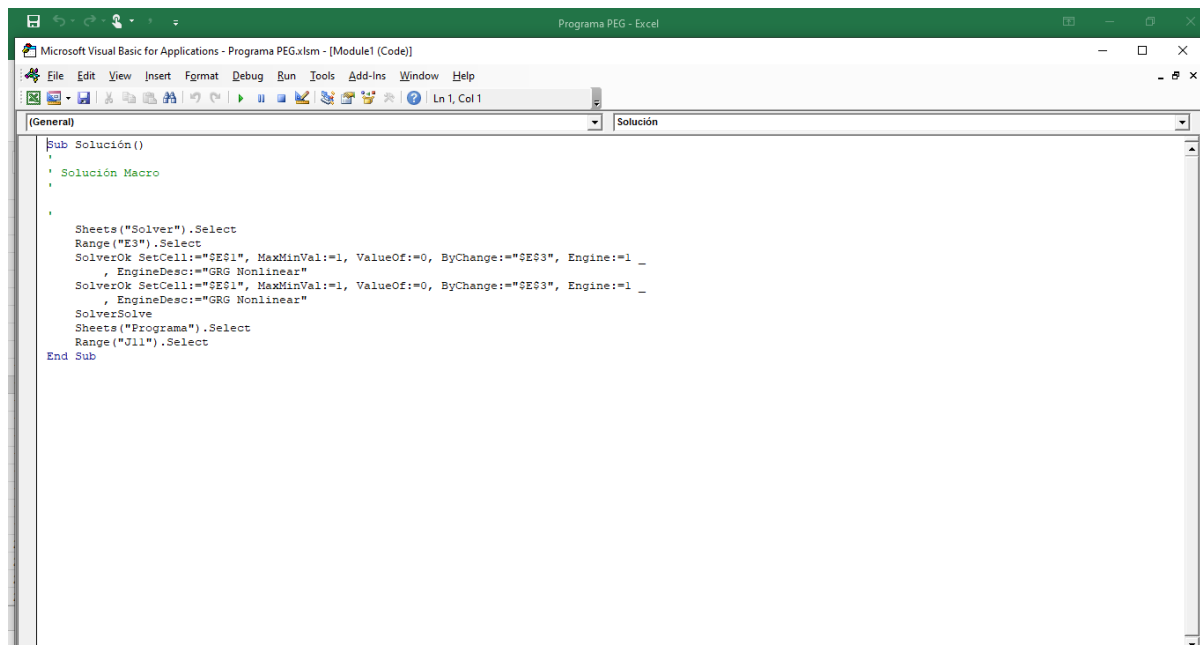
Planteamiento Solver.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Margen Bruto	22,865.92	Días (X)	41.47553726808					
2									
3	Numero de pollos (N)	2000							
4	Precio venta gramo de pollo	0.035242291							
5	Costo alimento por gramo (CAg)	0.014977974							
6	Costo compra por pollito (CCP)	15							
7	Mano de obra para alimentación (MOA)	11,811.04							
8									
9	Función de producción (Wr)	2,799.82							
10	Función de peso total (Yr)	5,599,636.07							
11	Función de consumo acumulado de alimento en tiempo (CAAr)	4428.738166							
12	Función de costos que varían totales en tiempo (CVTr)	174,478.09							
13									
14									
15	Restricciones								
16		Uso Insumo	Signo	Limite					
17	Peso min	2,799.82	>=	2099.75					
18	Peso max	2,799.82	<=	2799.818					
19	Dia max	41.47553727	<=	42					
20									
21									
22									
23									

En la figura 6, se muestra el código de configuración de la Macro, la cual realizar la tarea en el libro “Programa”, se traslada al libro “Solver” para realizar la maximización del margen bruto, teniendo en cuenta las variables, ecuaciones y límites; para posteriormente regresar al libro “Programa” en donde se muestran los resultados obtenidos del ejercicio planteado.

Figura 6.

Código Macro.



```
Sub Solución()  
    ' Solución Macro  
    '   
    '   
    Sheets("Solver").Select  
    Range("E3").Select  
    SolverOk SetCell:="$E$1", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$E$3", Engine:=1 _  
        , EngineDesc:="GRG Nonlinear"  
    SolverOk SetCell:="$E$1", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$E$3", Engine:=1 _  
        , EngineDesc:="GRG Nonlinear"  
    SolverSolve  
    Sheets("Programa").Select  
    Range("J11").Select  
End Sub
```

La figura 7 presenta la pantalla principal de la herramienta realizada en Excel, en la cual ya se encuentra el botón "SOLUCIÓN" con la Macro insertada, en donde únicamente de deben cambiar los valores de la sección de variables (resaltadas en color celeste), las cuales podrían cambiar para cada avicultor. Las dos casillas resaltadas en amarillo (solución óptima y ganancia bruta total) son las casillas de respuestas.

Figura 7.

Pantalla principal de la herramienta.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2			Variables							
3			Cantidad empleados	1						
4			Salario/empleado/mes	L 11,811.04						
5			Costo pollito	L 15.00						
6			Cantidad pollitos	2,000.00						
7			Costo quintal alimento	L 680.00						
8			Precio venta pollo (lb)	L 16.00						
9			Peso Mínimo (lb)	4.625						
10			Peso Máximo (lb)	6.167						
11										
12										
13										
14			Costo total mano de bra	L 11,811.04			Solucion óptima	41	Días	
15			Costo compra pollitos	L 30,000.00			Producción total	5,599,636.07		
16			Costo alimentación g	L 0.015			Ingresos totales	L 197,344.00		
17			Costo mano de obra/ave	L 5.906			Costos totales	L 174,480.53		
18			Precio (g)	L 0.035			Ganancia bruta total	L 22,863.47		
19			Peso Mínimo (g)	2100						
20			Peso Máximo (g)	2800						
21										

The spreadsheet also features a large grey box with the word "SOLUCIÓN" in the center. The bottom status bar shows "Ready" and "130%".

Conclusiones

La función de producción que permitió modelar el peso de los 2,000 pollos de la línea genética Cobb 500 en función del tiempo (días después de nacidos), estimada después de realizar la regresión múltiple, tomando en cuenta la variable dependiente (peso) y una independiente (días después de nacidos), es: $Y_t = 2,000 \times (41.54 + 1.3412t + 2.3923t^2 - 0.0128 t^3)$.

El tiempo óptimo de sacrificio del pollo de engorde Cobb 500 obtenido mediante la maximización en solver, es de 41 días con un peso de 2855 gramos, después de nacidos, mediante el cual se obtiene un margen bruto de HNL 11.43 por pollo y HNL 22,865.16 para las 2,000 aves.

El modelo automatizado en Excel se desarrolló exitosamente, permitiendo modificar las principales variables del proceso de engorde de pollos, dando la oportunidad a los avicultores de utilizarlos para tomar decisiones para determinar el tiempo óptimo de cosecha.

Recomendaciones

Socialización y validación de la herramienta automatizada para determinar el punto óptimo de cosecha a los avicultores de la zona de Zamorano como proyección de la institución para fomentar una industria avícola eficiente.

Evaluar los rendimientos productivos y económicos Cobb 500 con distintas condiciones agro-climatológicas a las utilizadas en este estudio.

Replicar este estudio con las distintas líneas genéticas de pollo de engorde (Hubbard, Arbor Acres, Indian River) más importantes para la industria avícola.

Cuantificar los costos logísticos para estimar con mayor exactitud la ganancia bruta total.

Referencias

- Agudelo Gómez, D. A., Cerón Muñoz, M., Mario, F. y Restrepo Betancur, L. F. (2008). Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 21(1), 39–58. <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023520005.pdf>
- Ardón, G. A. (2016). *Empresas líderes en la industria hondureña*. Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC). https://www.academia.edu/23889627/EMPRESAS_L%C3%8DDERES_EN_LA_INDUSTRIA_AV%C3%8DCOLA_HONDURE%C3%91A
- Cimmyt. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos*.
- Cobb®. (2013). *Guía de Manejo del Pollo de Engorde*. COBB-VANTRESS. <http://www.pronavicola.com/contenido/manuales/Cobb.pdf>
- Cobb®. (2018). *Suplemento informativo sobre rendimiento y nutrición de pollo de engorde*. (Pollo de engorde.). Estados Unidos. COBB-VANTRESS.
- Consejo Hondureño de la Empresa Privada. (2015). *Análisis sobre la situación actual y perspectivas de la industria avícola de Honduras*. COHEP. http://www.cohep.com/contenido/biblioteca/portaldoc509_3.pdf?4d3de2fcc3dff0b0bbd8e2a2d898788d
- Gómez Cabrera, A. M. y Naranjo Naranjo, M. A. (2020). *Efecto del sexo en las características de la canal de los pollos de engorde* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6882/1/CPA-2020-T055.pdf>
- Granda Rivadeneira, M. A. (2017). *Evaluación económica de la producción de pollos CobbMV y Cobb500 en Zamorano, Honduras* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6148/1/AGN-2017-013.pdf>
- Gutiérrez Velásquez, E. P. y González Medrano, C. R. (2013). *Evaluación de la productividad de pollos de engorde de las líneas Arbor Acres Plus y Cobb no sexable* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1640/1/CPA-2013-041.pdf>
- Ingalls Herrera, F. R. y Ortiz Muñiz, A. (2007). *Eficiencia técnica y económica en la producción avícola de pollo de engorda*. Facultad de estudios superiores Cuautitlán. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/produccion_avicola/63-eficiencia_tecnica_economica.pdf
- Rajimon, J. (2010). La economía y la función de producción en educación. *Visión De Futuro*, 13(1), 1–20. <https://www.redalyc.org/pdf/3579/357935475006.pdf>
- Vargas Biesuz, B. E. (2014). La Función de producción COBB – DOUGLAS. *FIDES ET RATIO*, 8, 67–74. http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v8n8/v8n8_a06.pdf
- Vargas Ruiz, J. E. (2009). *Evaluación de líneas de pollo (Gallus gallus) de engorde Ross 308 y Cobb 500 en operación de Cargill en Nicaragua* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/246/1/AGN-2009-T042.pdf>
- Villanueva, C., Oliva, A., Torres, Á., Rosales, M., Moscoso, C. y González, E. (2015). *Manual de producción manejo aves de patio* (1ª ed.). CATIE.
- Zugarramurdi, A. (1998). *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera*. FAO Documento técnico de pesca: Vol. 351. FAO.

Anexos

Anexo A.

Variables evaluadas por Cobb-Vantress

Edad en días	Peso para la edad (g)	Ganancia diaria (g)	Ganancia diaria promedio (g)	Conversión alimenticia acumulada	Consumo diario de alimento (g)	Consumo de alimento acumulado (g)
0	42					
1	63					
2	74					
3	90					
4	109					
5	134					
6	163					
7	193	30	28,0	0,76		145
8	228	36	29,2	0,80	37	182
9	269	41	30,6	0,84	43	225
10	313	44	32,1	0,88	50	275
11	362	48	33,7	0,92	57	331
12	414	52	35,2	0,95	64	395
13	469	55	36,9	1,00	72	467
14	528	59	38,5	1,03	74	541
15	589	62	40,1	1,05	78	619
16	654	65	41,6	1,08	85	704
17	722	68	43,2	1,10	91	795
18	792	70	44,7	1,13	103	898
19	865	73	46,2	1,16	110	1007
20	941	75	47,7	1,19	114	1121
21	1018	78	49,1	1,22	118	1239
22	1098	80	50,5	1,24	123	1362
23	1180	82	51,9	1,26	128	1489
24	1264	84	53,2	1,28	133	1622
25	1349	85	54,5	1,30	137	1759
26	1436	87	55,8	1,33	144	1903
27	1525	89	57,0	1,35	150	2054
28	1615	90	58,2	1,37	156	2209
29	1706	91	59,3	1,39	160	2369
30	1798	92	60,4	1,41	164	2533
31	1892	93	61,5	1,43	167	2700
32	1986	94	62,5	1,45	170	2870
33	2081	95	63,4	1,46	174	3043
34	2177	96	64,4	1,48	177	3220
35	2273	96	65,3	1,50	179	3399
36	2369	97	66,1	1,51	182	3581
37	2466	97	67,0	1,53	186	3767
38	2563	97	67,8	1,54	190	3958
39	2661	97	68,5	1,56	193	4151
40	2758	97	69,2	1,58	197	4348
41	2855	97	69,9	1,59	203	4552
42	2952	97	70,5	1,61	208	4760
43	3049	97	71,1	1,63	213	4973
44	3145	96	71,7	1,65	218	5191
45	3240	95	72,2	1,67	224	5414
46	3335	95	72,7	1,69	228	5642
47	3430	95	73,1	1,71	231	5873
48	3524	94	73,6	1,73	236	6109
49	3617	93	73,9	1,76	241	6349
50	3707	91	74,2	1,78	243	6592
51	3797	90	74,5	1,80	244	6835
52	3885	88	74,8	1,82	245	7080
53	3973	87	75,0	1,84	247	7326
54	4059	86	75,2	1,87	247	7573
55	4144	85	75,4	1,89	246	7819
56	4227	83	75,5	1,91	245	8063
57	4309	82	75,6	1,93	243	8306
58	4389	80	75,7	1,95	241	8547
59	4466	77	75,7	1,97	239	8786
60	4542	76	75,7	1,99	237	9022
61	4616	74	75,7	2,01	234	9256
62	4688	73	75,6	2,02	232	9488
63	4759	70	75,5	2,04	228	9716

Nota. Tomado de Cobb® (2018)

Anexo B.

Recomendaciones nutricionales.

		Inicio	Crecimiento	Finalizador 1	Finalizador 2*
CANTIDAD DE ALIMENTO ALIMENTO/ave		180 g 0,40 lb	700 g 1,54 lb	1350 g 3,0 lb	
PERÍODO DE ALIMENTACIÓN 'días'		0 - 8	9 - 18	19 - 28	> 29
TIPO DE ALIMENTO		Migaja	Migaja / Pellet	Pellet	Pellet
Proteína cruda	%	21-22	19-20	18-19	17-18
Energía metabolizable (EMAn[†])	MJ/kg Kcal/kg Kcal/lb	12,45 2.975 1.349	12,66 3.025 1.372	12,97 3.100 1.406	13,18 3.150 1.429
Lisina digestible	%	1,22	1,12	1,02	0,97
Metionina digestible	%	0,46	0,45	0,42	0,40
Met + Cis digestible	%	0,91	0,85	0,80	0,76
Triptófano digestible	%	0,20	0,18	0,18	0,17
Treonina digestible	%	0,83	0,73	0,66	0,63
Arginina digestible	%	1,28	1,18	1,07	1,02
Valina digestible	%	0,89	0,85	0,76	0,73
Isoleucina digestible	%	0,77	0,72	0,67	0,64
Calcio	%	0,90	0,84	0,76	0,76
Fósforo disponible	%	0,45	0,42	0,38	0,38
Sodio	%	0,16-0,23	0,16-0,23	0,16-0,23	0,16-0,23
Cloro	%	0,16-0,30	0,16-0,30	0,16-0,30	0,16-0,30
Potasio	%	0,60-0,95	0,60-0,95	0,60-0,95	0,60-0,95
Ácido linoleico	%	1,00	1,00	1,00	1,00

[†] Sistema de Energía esta basado en la Energía Metabolizable Aparente corregida por Nitrogeno (EMAn).

* Para la dieta de retiro usar Finalizador 2.

Nota. Tomado de Cobb® (2018)

Anexo C.

Relaciones de aminoácidos digestibles balanceados.

Aminoácido	Inicio %	Crecimiento %	Finalizador 1 %	Finalizador 2* %
Lisina[†]	100	100	100	100
Metionina	38	40	41	41
Metionina + Cistina	75	76	78	78
Triptófano	16	16	18	18
Treonina	68	65	65	65
Arginina	105	105	105	105
Valina	73	75	75	75
Isoleucina	63	64	65	66

Nota. Tomado de Cobb® (2018)

Anexo D.

Niveles de suplementación de vitaminas y elementos traza (por tonelada).

		Inicio	Crecimiento	Finalizador 1 y 2
Vitamina A	(MIU)	10-13	10	10
Vitamina D3	(MIU)	5	5	5
Vitamina E	(KIU)	80	50	50
Vitamina K	(g)	3	3	3
Vitamina B1 (tiamina)	(g)	3	2	2
Vitamina B2 (riboflavina)	(g)	9	8	6
Vitamina B6 (piridoxina)	(g)	4	3	3
Vitamina B12	(mg)	20	15	15
Biotina (dietas a base de maíz)	(mg)	150	120	120
Biotina (dietas a base de trigo)	(mg)	200	180	180
Colina*	(g)	500	400	350
Ácido fólico	(g)	2	2	1,5
Ácido nicotínico	(g)	60	50	50
Ácido pantoténico	(g)	15	12	10
Manganeso	(g)	100	100	100
Zinc	(g)	100	100	100
Hierro	(g)	40	40	40
Cobre	(g)	15	15	15
Yodo	(g)	1	1	1
Selenio	(g)	0,35	0,35	0,35

Nota. Tomado de Cobb® (2018)