

# Production Optimization of Balanced Feed for Hens During Covid-19

## Optimización de la Producción de Alimento Balanceado para Aves en Tiempos de Covid-19

Vilchez-Torres M., MBA Ingeniera Industrial<sup>1</sup>, Cárdenas-Rodríguez C., Ingeniero Industrial<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Primer y Segundo Autor Universidad Privada del Norte, Perú, karen.vilcheztorres@gmail.com,  
ing.cardenasrodriguez@gmail.com

**Abstract** – *The collateral effects of the COVID-19 pandemic reached other sectors beyond the health sector, such as the poultry sector, generating variations in the prices of the inputs used in feeding the hens, causing a negative impact on the costs of production. In developing countries, the poultry sector are mostly integrated for medium-sized companies, which have less capacity to withstand market variations. The study presents a formulator developed in Excel, which optimizes the production of balanced feed for the genetic line of the Hy-Line Brown hen, considering the cost per kilogram of eggs produced, and assesses the performance of the treatment through the CASI indicator, which is contrasted in turn with other indicators such as the percentage of production, the weight of the egg, and the feed conversion factor. The study resulted in a reduction of 2.60% of the CASI indicator, in the group of hens that was fed with the optimized feed composition through the formulator, compared to the group that maintained the usual feeding.*

**Key Words** – CASI, optimization, balanced feed, COVID-19, laying hens.

**Resumen** – *Los efectos colaterales de la pandemia por COVID-19, también alcanzaron a otros sectores más allá del sanitario, como el sector avícola, generando variaciones en los precios de los insumos utilizados en la alimentación de las gallinas, ocasionando un impacto negativo en los costos de producción de las empresas dedicadas a la crianza de estas aves, las cuales, en los países en desarrollo, son en su mayoría empresas de mediana envergadura, las cuales tienen menor capacidad para soportar las variaciones del mercado. Ante este escenario, el estudio presenta el desarrollo de un formulator desarrollado en Excel, que optimiza la producción de alimento balanceado para la línea genética de la gallina Hy-Line Brown, en función del costo por kilogramo de huevos producidos, y valora el desempeño del tratamiento a través del indicador CASI, que se contrasta a su vez con otros indicadores como el porcentaje de producción, el peso del huevo y el factor de conversión alimenticia. El estudio dio como resultado una reducción de 2.60% del indicador CASI, en el grupo de gallinas que fue alimentado con la composición de alimento optimizado a través del formulator, en comparación al grupo que mantuvo la alimentación habitual.*

**Palabras clave** – CASI, optimización, alimento balanceado, COVID-19, gallinas ponedoras.

### I. INTRODUCCIÓN

El impacto por las medidas de contención de la pandemia de Covid-19, han escalado más allá del aspecto sanitario,

afectando a una serie de sectores productivos y de servicio [1], dentro de ellos la industria avícola [2]. En los países en desarrollo la mayoría de estas empresas son de mediana envergadura (MYPES) [3], es el caso de la avícola peruana en estudio, una empresa dedicada a la crianza de gallinas ponedoras de la línea genética Hy-Line Brown, para la producción y venta de huevos, con una capacidad de alojamiento de 64 mil gallinas, teniendo una participación de mercado del 1,4% con respecto a la producción de su región. Hasta tiempos prepandemia, sus estrategias le permitían mantener un nivel de rentabilidad y producción aceptable con respecto a los estándares de la línea genética de las aves, pero los efectos en los mercados mundiales por la pandemia de Covid-19, como interrupciones en las cadenas de suministro, disminución de la movilidad de los consumidores, disminución de las ventas, menor acceso a insumos o formas de financiamiento, y problemas con la dotación de personal, han impactado los mercados locales [1] y [4], produciendo tendencias alcistas en el costo de los insumos, y volatilidad del precio por kilogramo de huevo, con el consecuente impacto en sus operaciones e ingresos [5]. El maíz y la harina de soya, son los principales insumos que utilizan en la alimentación de las gallinas [6], juntos representan el 75% de la fórmula alimenticia, y en solo 6 meses el precio por kilogramo de maíz importado, había subido un 38% aproximadamente, haciendo que el costo por kilogramo de la fórmula alimenticia que usaban (A), se haya encarecido en casi 50 céntimos de sol, 43% más de lo usual [7], de ahí la urgente necesidad de buscar optimizar la producción del alimento balanceado, y poder hacer frente a la coyuntura actual. El índice de conversión alimenticia (FCR), es un indicador de rendimiento ampliamente usado en la industria de crianza de animales, que relaciona la cantidad de alimento consumido con el peso del producto obtenido [8], pero a pesar que permite valorar acciones de mejora, descuida el aspecto económico, a diferencia del indicador costo de alimentación sobre ingreso (CASI), que además de la cantidad de alimento, considera la inversión en ella, lo cual es sumamente importante si vemos que el costo de alimentación constituye el mayor porcentaje en la estructura de costos de producción, convirtiendo al CASI en un buen indicador de “eficiencia económica de la alimentación, en relación a la producción, y el valor de esta en los animales que consumen dicha alimentación” [9, p. 766]. Sin embargo se debe tener especial cuidado cuando se intenta reducir costos en

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.385>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

alimentación, ya que de no hacerse siguiendo técnicas adecuadas, podría afectarse los parámetros de calidad del producto, con su consecuente impacto en los ingresos [3], [9] y [10]. El estudio aporta con el diseño de un formulador, que optimiza la cantidad de insumo por batch de alimento balanceado, usando el método simplex de la programación lineal (PL), permitiendo disminuir el índice CASI, sin afectar el aporte de nutrientes que aseguran el peso estándar del huevo. La PL es un método de la investigación de operaciones, que busca óptimos máximos y mínimos mediante la solución de modelos matemáticos que representan situaciones de la vida real, y están constituidos por variables, una función objetivo, y restricciones [11] y [12]. Estos modelos se solucionan normalmente de manera gráfica, pero los de más de dos variables, como es el caso en estudio, resultan complejos para manejarse de esta manera, siendo mejor recurrir al método simplex, que más que un método consiste en la construcción de un algoritmo, que hoy en día puede ser fácilmente procesado por diversos programas informáticos como Excel [13].

## II. METODOLOGÍA

Para resolver la problemática planteada en la investigación, se desarrolló una metodología de 4 fases que se describe a continuación:

### A. Modelado del problema

Las variables del modelo quedaron representadas según se expone a continuación [12] y [13]:

$X_i$ : variable de decisión, representa la cantidad de insumo tipo  $i$  a usar en la fórmula en kilogramos (Kg)

Donde:

$i = \{1 = \text{maíz importado}, 2 = \text{torta de soya}, \dots, 16 = \text{xilanasa}\}$

$C_i$ : precio de cada insumo  $i$  en soles por kilogramo (S/./kg)

$P_a$ : Tipo de alimento balanceado a.

Donde:

$a = \{1 = \text{pico de producción}, 2 = \text{postura 2}, \dots, 4 = \text{postura 5}\}$

$N_{ij}$ : aporte por cada insumo  $i$ , de un nutriente  $j$

Donde:

$j = \{1 = \text{energía metabolizable (Kcal/Kg)}, 2 = \text{proteína pura (\%)}, \dots, 16 = \text{valina (\%)}\}$

$W_{jr}$ : requerimiento del nutriente  $j$  por ave, dentro de un rango mínimo y máximo  $r$ .

Donde:

$r = \{1, 2, 3, \dots, 32\}$  y cada  $r$  corresponde a los valores mínimos y máximos de cada nutriente  $j$

$Y_{jr}$ : requerimiento del nutriente  $j$  por fórmula para satisfacer los requerimientos de las aves, dentro de un rango mínimo y máximo  $r$ .

La función objetivo ( $Z$ ) quedó expresada en soles, como se muestra en (1):

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{16} (C_i * X_i) \text{ S/.} \quad (1)$$

Y luego se incorporó las restricciones, fijando límites y parámetros de desempeño, haciendo uso de una serie

ecuaciones matemáticas. El modelo fue resuelto con el complemento Solver de Excel, que busca un valor óptimo que representa a la función objetivo, sujeto a restricciones y limitantes, todas distribuidas en celdas de la hoja Excel, fijadas siguiendo el modelo matemático, de esta manera resuelve las celdas de las variables de decisión, considerando las celdas con los límites y condiciones de las restricciones [14].

### B. Desarrollo del formulador en Excel

Para generar los valores de salida del formulador, se agregó al modelo matemático, el tamaño de batch (TB) con que se trabaja el alimento balanceado (AB), equivalente a 1 500 kilogramos (Kg); la temperatura interna del galpón donde se encuentran alojadas las aves (TMP), que se fijó en 27 grados centígrados (C°); el consumo de alimento promedio por ave al día (CSM), que es de 102 gramos (g), y se hace un cambio cada 10 gramos cuando se supera el consumo actual; y la holgura requerida para incrementar los requerimientos nutricionales por seguridad (HGR), que es de 1% [15] y [16]. Así por ejemplo,  $Z$  fue dividida por TB, como se muestra en (2), para obtener el precio por cada kilogramo de AB:

$$\text{Min } Z = (\sum_{i=1}^{16} (C_i * X_i)) / \text{TB S/./Kg} \quad (2)$$

Estas condiciones, necesarias para la producción se ubicaron en la esquina superior derecha de la interfaz del formulador. Seguido, se ubicó el “criterio de alimentación”, para identificar el  $P_a$  que se está formulando. La sección “botones”, muestra los botones programados para cambiar los precios de los insumos, de modo que al accionar el botón “cambiar precios”, cambia el precio de los 16 insumos de la columna inferior izquierda “precio”. El botón “formular” permite recalcular el porcentaje de inclusión de cada alimento en proporción al TB, y luego convertirlo a kilos, así mismo, actualiza los cálculos de solver respecto a la cantidad de nutriente óptimo en función de cada alimento, y los parámetros de requerimiento de nutrientes, lo cual se aprecia en las columnas “nutrientes, requerimientos, y resultados solver”. El botón “imprimir” permite imprimir los resultados obtenidos por el formulador. Junto a la sección de botones, se incorporó una ventana llamativa que muestra el costo optimizado por cada kilogramo de fórmula producida; y debajo de este costo, se ubicó la columna que verifica si los requerimientos nutricionales alcanzados por la optimización del formulador, cumple los parámetros especificados (columnas “cumple y % de variación”).

### C. Tratamiento

Se trabajó con un lote de 10 300 gallinas, que arribaron a la granja con 1 día de vida, el 11 de septiembre del 2020, pero el tratamiento se inició cuando alcanzaron las 20 semanas. A la mitad del lote de gallinas, se alimentó con el alimento balanceado (AB), formulado por el programa para el tipo Pico de Producción; y la otra mitad también se alimentó con el tipo Pico de Producción, pero usando las proporciones de insumo tradicional, con las que venían trabajando hace más de dos años, debido a que el precio de los insumos no había experimentado

mayor variación. El tratamiento duró 8 semanas, actualizando el precio de los insumos del formulario por mes.

#### D. Cálculo índice CASI

Para obtener este índice se usa (3) [9]:

$$\text{CASI} = \frac{C_T}{V_P} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

$C_T$  = Costo de alimentación en soles (S/.)

$V_P$  = Valor de la producción en soles (S/.)

El  $C_T$  = la cantidad de gallinas \* la cantidad de alimento consumido \* el costo de fórmula alimenticia.

El  $V_P$  = cantidad de huevos producidos \* precio de venta del huevo.

El precio de venta por kilogramo de huevos se fijó en promedio en 4 soles para el periodo de estudio, considerando oscilaciones que se dieron entre 3 y 5 soles el kilogramo. Pero acá surge un punto importante respecto a este indicador que a pesar de ser más completo que el FCR, no contempla en simultáneo dos parámetros de calidad en la producción de huevos, que son la cantidad y el peso [10], por este motivo, para tener una mejor valoración del CASI, en esta fase también se calculó el peso promedio del huevo; el factor de conversión alimenticia (que mientras menor sea su valor, significa que existe un mejor desempeño entre la cantidad de alimento consumido y la cantidad de producción obtenida en kilogramos de huevo); y el porcentaje de producción, tomando como base los datos de la Guía Internacional de manejo de la línea genética de la gallina Hy-Line Brown [15].

### III. RESULTADOS

Siguiendo las fases metodológicas, a continuación, se muestra un resumen del modelo matemático para  $P_1$ , unido a otros criterios de producción, que en conjunto explican el modo de operar del formulador de optimización de alimento balanceado (la misma lógica se usó para  $P_{2-5}$ ):

$$\text{Min } Z = (C_1 * X_1 + \dots + C_{16} * X_{16}) / TB \text{ (S/./Kg-AB-}P_1\text{)}$$

Sujeto a:

$$P_1 = 1$$

:

$P_5 = 0$  // Se iguala a 1 dependiendo que tipo de alimentación se desea formular, el resto de  $P_i$  se iguala a 0.

$$N_{1,1} = 3 \text{ 294 // energía metabolizable en el maíz importado (Kcal / Kg).}$$

$$N_{1,2} = 6.92 / 100 // \text{ proteína en el maíz importado (\%).}$$

$$N_{1,3} = 0.02 / 100 // \text{ calcio en el maíz importado (\%).}$$

:

$$N_{16,16} = 0.0 // \text{ valina en la xilanasa (\%).}$$

$$P_1 + \dots + P_5 = 1$$

$$W_{1,1} = 315 * P_1 + \dots + 300 * P_5 // \text{ requerimiento mínimo de energía metabolizable (Kcal/ave/día).}$$

$$W_{1,2} = 330 * P_1 + \dots + 315 * P_5 // \text{ requerimiento máximo de energía metabolizable (Kcal/ave/día).}$$

:

$$W_{16,1} = 722 * P_1 + \dots + 651 * P_5 // \text{ requerimiento mínimo de valina (mg/ave/día)}$$

$$W_{16,2} = W_{16,1} * 1.25 // \text{ requerimiento máximo de valina (mg/ave/día).}$$

$$Y_{1,1} = (W_{1,1} + ((22 - \text{TMP}) * 4)) * (1000 / \text{CSM}) // \text{ requerimiento mínimo de energía metabolizable (Kcal/Kg de AB).}$$

$$Y_{1,2} = (W_{1,2} + ((22 - \text{TMP}) * 4)) * (1000 / \text{CSM}) // \text{ requerimiento máximo de energía metabolizable (Kcal/Kg de AB).}$$

$$Y_{2,1} = W_{2,1} * (100 / \text{CSM}) // \text{ requerimiento mínimo de proteína cruda (\%).}$$

$$Y_{2,2} = W_{2,2} * (100 / \text{CSM}) // \text{ requerimiento máximo de proteína cruda (\%).}$$

$$Y_{3,1} = W_{3,1} * (100 / \text{CSM}) // \text{ requerimiento mínimo de calcio (\%).}$$

$$Y_{3,2} = W_{3,2} * (100 / \text{CSM}) // \text{ requerimiento máximo de calcio (\%).}$$

$$Y_{4,1} = W_{4,1} * (100 / \text{CSM}) / 1000 * (1 + \text{HGR}) // \text{ requerimiento mínimo de fósforo disponible (\%).}$$

$$Y_{4,2} = W_{4,2} * (100 / \text{CSM}) / 1000 * (1 + \text{HGR}) // \text{ requerimiento máximo de fósforo disponible (\%).}$$

:

$$Y_{16,1} = W_{16,1} * (100 / \text{CSM}) / 1000 * (1 + \text{HGR}) // \text{ requerimiento mínimo de valina (\%).}$$

$$Y_{16,2} = W_{16,2} * (100 / \text{CSM}) / 1000 * (1 + \text{HGR}) // \text{ requerimiento máximo de valina (\%).}$$

$N_{1,1} * (X_1 / \text{TB}) + \dots + N_{16,1} * (X_{16} / \text{TB}) \geq Y_{1,1}$  // cantidad de energía metabolizable de la fórmula óptima (Kcal/Kg) es mayor o igual al requerimiento mínimo de energía metabolizable (Kcal/Kg).

$N_{1,1} * (X_1 / \text{TB}) + \dots + N_{16,1} * (X_{16} / \text{TB}) \leq Y_{1,2}$  // cantidad de energía metabolizable de la fórmula óptima (Kcal/Kg) es menor o igual al requerimiento máximo de energía metabolizable (Kcal/Kg).

$N_{1,2} * (X_1 / \text{TB}) + \dots + N_{16,2} * (X_{16} / \text{TB}) \geq Y_{2,1}$  // proteína de la fórmula óptima es mayor o igual al requerimiento mínimo de proteína (%).

$N_{1,2} * (X_1 / \text{TB}) + \dots + N_{16,2} * (X_{16} / \text{TB}) \leq Y_{2,2}$  // proteína de la fórmula óptima es menor o igual al requerimiento máximo de proteína (%).

:

$\leq Y_{16,2}$  // valina de la fórmula óptima es menor o igual al requerimiento máximo de valina (%).

$X_1 + X_2 + \dots + X_{16} = \text{TB}$  // la suma de las cantidades de cada insumo es igual al tamaño de batch seleccionado.  $(X_i / \text{TB}) \geq 5 / 100$ .

En la Fig. 1 se aprecia la totalidad de la interfaz del formulador:

<b>Fase de alimentación</b> PICO DE PRODUCCIÓN Temperatura 27°C % Holgura 1% Consumo de alimento 105 gr. Cantidad a preparar 1500 kg.		<b>Criterio de alimentación</b> Primer huevo hasta que la producción baje 2% debajo del pico de producción	<b>Botones</b> Cambiar precios    Formular    Imprimir	<b>COSTO DE FORMULA (S/Kg)</b> <b>S/ 1.3846</b>
---	--	---	---	--

INSUMOS	PRECIO	% INCLUSIÓN	CANTIDAD (kg.)	NUTRIENTES	REQUERIMIENTOS	RESULTADOS SOLVER	CUMPLE	% VARIACIÓN
Maíz Importado	S/ 1.108	51.6053%	774.080	Energía Metabolizable (kcal/kg)	2810 - 2952	2809.29	✗	-0.01%
Torta de Soya (45%)	S/ 2.513	17.5920%	263.880	Proteína cruda %	16.19 - 18.62	16.41	✓	+1.36%
Soya Integral	S/ 2.421	6.0627%	90.940	Calcio %	4.00 - 4.40	4.40	✓	+10.00%
Torta de Palmiste	S/ 1.130	0.5820%	8.730	Fósforo (disponible) %	0.47 - 0.54	0.54	✓	+14.95%
Polvillo de Arroz	S/ 1.050	12.0000%	180.000	Sodio %	0.17 - 0.20	0.17	✓	+0.00%
Aceite de Soya Plus	S/ 4.425	0.5000%	7.500	Cloro %	0.17 - 0.21	0.21	✓	+25.00%
Calcio	S/ 0.106	10.4653%	156.980	Ácido Linoleico %	1.90 - 2.48	1.90	✓	+0.00%
Fosfato Dicálcico	S/ 2.008	0.5000%	7.500	Colina (mg/kg)	1238.10 - 1733.33	1434.58	✓	+15.87%
Bicarbonato de Sodio	S/ 1.646	0.1622%	2.433	Lisina %	0.79 - 0.99	0.80	✓	+0.81%
Sal Común	S/ 4.425	0.2699%	4.048	Metionina %	0.39 - 0.49	0.44	✓	+11.16%
Metionina	S/ 10.705	0.1955%	2.933	Metionina+Cistina %	0.72 - 0.90	0.72	✗	-0.05%
Lisina	S/ 5.325	0.0000%	0.000	Treonina %	0.55 - 0.69	0.55	✗	-0.01%
Colina	S/ 3.623	0.0225%	0.338	Triptófano %	0.17 - 0.21	0.17	✓	+5.24%
Fitasa	S/ 27.382	0.0135%	0.203	Arginina %	0.82 - 1.03	1.00	✓	+21.81%
Proteasa	S/ 55.000	0.0250%	0.375	Isoleucina %	0.63 - 0.79	0.67	✓	+6.40%
Xilanesa	S/ 128.148	0.0040%	0.660	Valina %	0.69 - 0.87	0.69	✓	+0.00%
		0.0000%	0.000					
		0.0000%	0.000					
		0.0000%	0.000					
		0.0000%	0.000					
		100.0000%	1500.000					

Fig. 1 Interfaz final del formulador en Excel.

A continuación, se expone cada una de las secciones de la interfaz del formulador. En el recuadro marcado de amarillo de la figura 1, se aprecia las condiciones necesarias para la producción. En el recuadro marcado de rosado, se aprecia el tipo de alimento balanceado (P<sub>a</sub>), que se está formulando de acuerdo con cada fase. En el recuadro naranja, se aprecia la sección de botones que permite operar el formulador. En el recuadro turquesa, se aprecia el costo optimizado por cada kilogramo de fórmula producida. En el recuadro morado, se aprecia el costo de los 16 insumos que se actualiza al accionar el botón cambiar precios. En el recuadro azul, se aprecia el resultado de la cantidad de cada insumo a usar, considerando la optimización que hizo solver del requerimiento de nutrientes. En el recuadro verde, se aprecia la lista de nutrientes con los rangos de requerimiento nutricional por cada uno de ellos. Finalmente, en el recuadro rojo, se aprecia que no se alcanzó los parámetros en tres tipos de nutrientes, pero por un margen muy pequeño.

En la Fig. 2, se puede apreciar una captura de solver, donde se visualiza la solución del modelo mediante el método simplex, minimizando la función objetivo y considerando las restricciones del caso:

Fig. 2 Solución del modelo mediante el método simplex.

La Fig. 3 muestra el gráfico comparativo entre el porcentaje de producción estándar de la guía de la línea genética (GE), y los resultados por semana del grupo de control (A) y del grupo que recibió el tratamiento (AB):

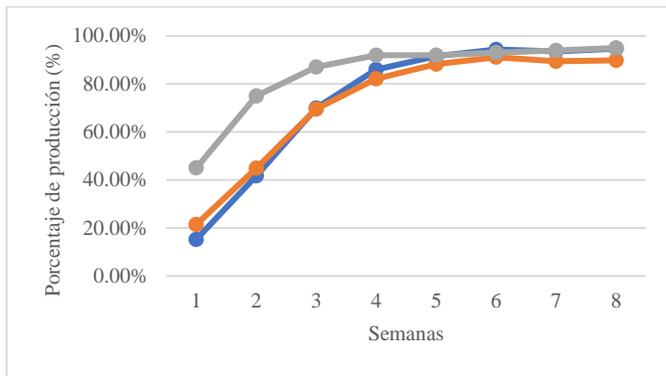


Fig. 3 Porcentaje de producción ( — grupo A, — grupo AB, — grupo GE)

Al inicio se observa un mejor comportamiento del grupo AB, con respecto a GE, pero a partir de la semana 4, el grupo A remontó mostrando un mejor desempeño respecto a GE. La Fig. 4 muestra las series comparativas en relación con el peso promedio del huevo:

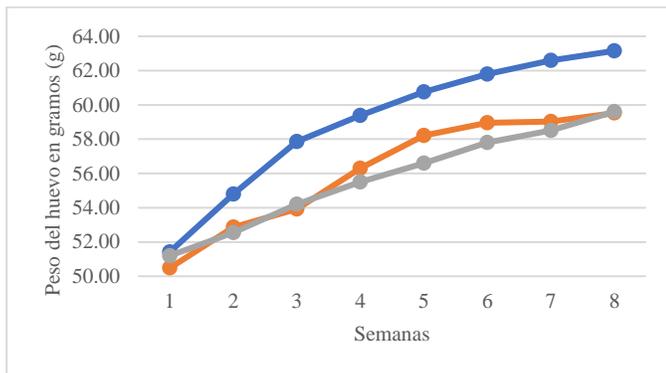


Fig. 4 Peso promedio del huevo ( — grupo A, — grupo AB, — grupo GE)

Se observa que el comportamiento del grupo A, se encuentra muy por encima del estándar de la línea genética, pero el grupo AB, aunque está por debajo de A, supera en muchas oportunidades a GE, o se encuentra cercano a este. La Fig. 5 muestra las series comparativas de la conversión alimenticia:

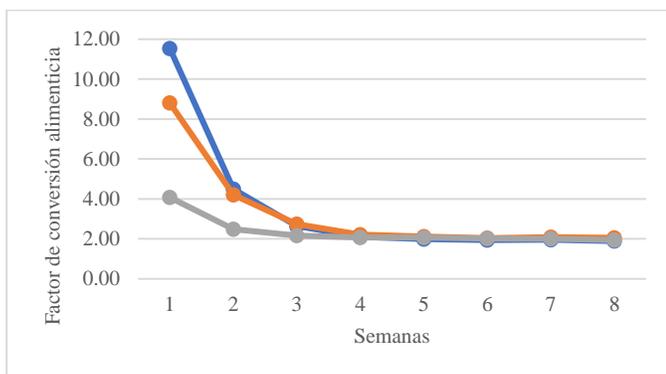


Fig. 5 Conversión alimenticia ( — grupo A, — grupo AB, — grupo GE)

Vemos que el grupo A empieza teniendo un valor más alto, aunque en las últimas semanas se encuentra por debajo de los grupos AB y GE. Mientras que el grupo AB tiene un comportamiento más cercano a GE.

Finalmente, en la Fig. 6 se muestra las series comparativas en función del indicador CASI:

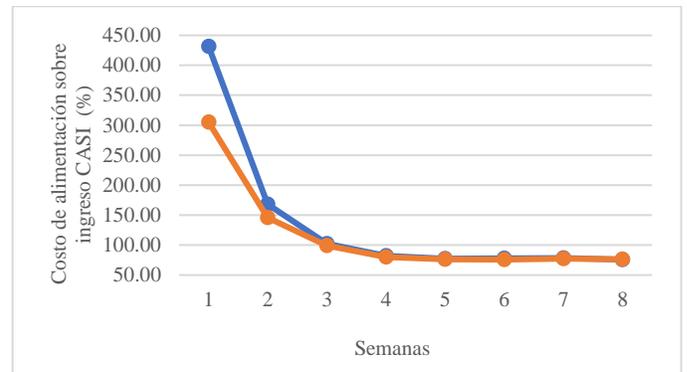


Fig. 6 Índice CASI ( — grupo A, — grupo AB)

En este caso, el indicador CASI del grupo AB es siempre menor al grupo A, a lo largo del periodo estudiado, logrando en promedio una reducción de 2.60%.

#### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis del indicador CASI, muestra un mejor rendimiento en el grupo de gallinas alimentadas con la fórmula optimizada AB, respecto al grupo A, entendiendo este rendimiento como la relación entre el costo de producir los huevos y los ingresos obtenidos por la venta de ellos [9], y aunque es claro que el costo de producir no solo implica inversión en alimentos, también en el caso en estudio vemos que el alimento representa el mayor gasto, por lo tanto se puede decir que los resultados de rendimiento obtenidos por CASI, constituyen una buena aproximación del desempeño económico real [9]. De otro lado, si bien el resultado comparativo del porcentaje de producción y peso del huevo favoreció al grupo de gallinas A, los valores para el grupo AB se mostraron cercanos a GE, que es finalmente lo deseado; a esto sumamos que, en cuanto al factor de conversión, el grupo AB sacó ciertas ventajas al grupo A. Por lo tanto en líneas generales podemos afirmar que la fórmula de alimento balanceado AB, generado por el formulador, logró optimizar el costo unitario de producción, escogiendo las mejores proporciones de alimento, según los requerimientos nutricionales, que se mantuvo dentro de las necesidades alimenticias, con un pequeño margen de error, que como se ha demostrado, no afectó el rendimiento de la producción, por lo menos en el periodo que se alimentó con los parámetros, y tipo de alimento para Pico de Producción. Es importante señalar que la optimización que se obtiene con el formulador, depende a su vez de la optimización de los requerimientos nutricionales, en función de las restricciones del modelo matemático, que resuelve solver, y que se incorpora como dato al formulador. Con el estudio se logró ampliar los horizontes de análisis del desempeño del proceso productivo de huevos, pasando de la relación cantidad de alimento consumido

y peso del producto obtenido, a una relación monetaria que hay que resaltar, que “si” incluye a los dos parámetros anteriores, porque en el numerador del índice CASI, se toma como dato el alimento consumido, pero luego se lo transforma en costo por ese alimento; lo mismo sucede con el denominador, que también incluye el peso en este caso de huevos, pero luego lo multiplica por el ingreso obtenido por ese peso. Como todo modelo, siempre habrá una oportunidad para mejorar, pero el mostrado en el estudio servirá de base para futuras investigaciones, ya sea para perfeccionarlo, para aplicarlo en las demás fases del proceso productivo, como son las posturas 2 al 5, o para buscar su adaptación a otros sectores productivos como ganadería, piscicultura, y demás relacionados a la crianza de animales. Finalmente, para el caso en estudio, la optimización lograda, abre una franja de posibilidad a la empresa, y todas las MYPES de ese sector, para poder seguir haciendo frente a los impactos de la pandemia por COVID-19, en la variación de los precios de los insumos para la producción de alimento balanceado, impactos que se prevén continuarán aun que no se precisa hasta cuándo [1], [5] y [2].

#### REFERENCIAS

- [1] S. Nordhagen, U. Igbeka, H. Rowlands, R. S. Shine, E. Heneghan, y J. Tench, «COVID-19 and small enterprises in the food supply chain: Early impacts and implications for longer-term food system resilience in low- and middle-income countries», *World Dev.*, vol. 141, p. 105405, may 2021, doi: 10.1016/j.worlddev.2021.105405.
- [2] P. Rahimi *et al.*, «Impact of the COVID-19 pandemic on food production and animal health», *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 121, pp. 105-113, mar. 2022, doi: 10.1016/j.tifs.2021.12.003.
- [3] O. Thieme, «Revisión del desarrollo avícola», p. 136.
- [4] L. Gómez Oliver y R. Granados Sánchez, «Las cuatro grandes empresas comercializadoras y los precios internacionales de los alimentos», *Econ. Inf.*, vol. 400, pp. 24-39, sep. 2016, doi: 10.1016/j.ecin.2016.09.003.
- [5] P. Fang, B. Belton, X. Zhang, y H. Ei Win, «Impacts of COVID-19 on Myanmar’s chicken and egg sector, with implications for the sustainable development goals», *Agric. Syst.*, vol. 190, p. 103094, may 2021, doi: 10.1016/j.agsy.2021.103094.
- [6] P. Pomboza-Tamaquiza, R. Guerrero-López, D. Guevara-Freire, y V. Rivera, «Granjas avícolas y autosuficiencia de maíz y soya: caso Tungurahua-Ecuador», *Cent. Investig. En Aliment. Desarro. AC*, vol. 28, 25/09/20147, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/417/41755135001/html/>
- [7] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «Situación alimentaria mundial». 3 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/es/>
- [8] C. Rodde, B. Chatain, M. Vandeputte, T. Q. Trinh, J. A. H. Benzie, y H. de Verdal, «Can individual feed conversion ratio at commercial size be predicted from juvenile performance in individually reared Nile tilapia *Oreochromis niloticus*?», *Aquac. Rep.*, vol. 17, p. 100349, jul. 2020, doi: 10.1016/j.aqrep.2020.100349.
- [9] J. Rodríguez, S. Moreno, J. Hernández, M. Robles, y E. Rodríguez, «El indicador CASI en la rentabilidad ovina», *Rev. Mex. Agronegocios*, vol. 41, pp. 764-777, 2017.
- [10] I. Nyalala, C. Okinda, C. Kunjie, T. Korohou, L. Nyalala, y Q. Chao, «Weight and volume estimation of poultry and products based on computer vision systems: a review», *Poult. Sci.*, vol. 100, n.º 5, p. 101072, may 2021, doi: 10.1016/j.psj.2021.101072.
- [11] T. Hamdy, *Investigación de operaciones*, 9.ª ed. México: Pearson, 2012.
- [12] P. Alzate, *Investigación de operaciones: conceptos fundamentales*, 1.ª ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/70314>
- [13] J. Heizer y B. Render, *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones tácticas*, 11.ª ed. Madrid: Pearson, 2015.
- [14] Microsoft Soprt, «Definir y resolver un problema con Solver». 2022. Accedido: 15 de enero de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://support.microsoft.com/es-es/office/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040#:~:text=Solver%20es%20un%20programa%20de,a%20cabo%20an%C3%A1lisis%20y%20si.&text=Solver%20ajusta%20los%20valores%20de,deseado%20en%20la%20celda%20objetivo>.
- [15] Hy-Line, «Ponedoras comerciales HY- LINE BROWN. Guía de Manejo». 8 de diciembre de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20COM%20SPN.pdf>
- [16] Y. Rodríguez, «Evaluación de los indicadores productivos en ponedoras comerciales con ciclos más largos de puesta en Cuba», *Avicultura.mx*, 8 de junio de 2021. <https://www.avicultura.mx/destacado/evaluacion-de-los-indicadores-productivos-en-ponedoras-comerciales-con-ciclos-mas-largos-de-puesta-en-cuba>