

## Maximización de beneficios económicos del engorde de cuyes mediante restricción alimentaria

### Maximization of economic benefits of fattening guinea pig through feed restriction

Elmer Meza<sup>1\*</sup>, Javier Orellana<sup>1</sup>, Luis Astuhuamán<sup>1</sup>, Gilmar Mendoza<sup>2</sup>

#### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la restricción temporal de alimento balanceado sobre la maximización de los beneficios económicos del engorde de cuyes. Se utilizaron 100 cuyes macho y hembra de la Línea Colorada de 21 ± 3 días de edad, distribuidos en 5 jaulas metálicas de 4 niveles y 5 animales por jaula. Los regímenes de restricción fueron: T1 (*ad libitum*), T2 (14 días + 50% ración), T3 (21 días + 50% ración), T4 (14 días + 25% ración) y T5 (21 días + 25% ración). La ración *ad libitum* consistió en 10 g/animal/día con incrementos de 4 g por semana hasta un máximo de consumo de 66 g/animal/día. La alfalfa verde fue suministrada en una proporción equivalente al 10% del peso vivo. Con los pesos vivos, consumo semanal de alimento y precios unitarios se establecieron funciones de crecimiento ( $S$ ), producción ( $Q$ ) y beneficios económicos acumulados ( $B$ ). Se aplicó la primera derivada parcial a  $B$  para obtener los valores de maximización de beneficios ( $B_{Max}$ ), cuya conjugación con  $Q$  y  $S$ , permitió estimar los pesos vivos ( $Q_{Max}$ ) y tiempos máximos de engorde ( $S_{Max}$ ) de los grupos experimentales. Los resultados evidencian una mejor respuesta compensatoria en los cuyes machos y un mayor  $B_{Max}$  en T4 con relación a T1 (testigo), con la desventaja de requerir mayores  $S_{Max}$ , pero que resulta favorable para conseguir mayores  $Q_{Max}$ . Se concluye que un nivel de restricción del 25% de la ración diaria por 14 días resulta apropiado para maximizar los beneficios económicos de los cuyes machos y hembras.

**Palabras clave:** maximización de beneficios, cuyes, respuesta compensatoria, alimento balanceado, restricción temporal

<sup>1</sup> Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional del Centro del Perú, Junín, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú

\* E-mail: [emeza@uncp.edu.pe](mailto:emeza@uncp.edu.pe)

Recibido: 30 de septiembre de 2022

Aceptado para publicación: 1 de agosto de 2023

Publicado: 31 de octubre de 2023

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of the temporary restriction of balanced feed on the maximization of the economic benefits of fattening guinea pigs. In total, 100 male and female guinea pigs of the Red Line of  $21 \pm 3$  days of age were used, distributed in 5 metallic cages of 4 levels and 5 animals per cage. The diets of feed restriction were: T1 (*ad libitum*), T2 (14 days + 50% ration), T3 (21 days + 50% ration), T4 (14 days + 25% ration) and T5 (21 days + 25% ration). The *ad libitum* ration consisted of 10 g/animal/day with increments of 4 g per week up to a maximum consumption of 66 g/animal/day. Green alfalfa was supplied in a proportion equivalent to 10% of body weight. By using body weights, weekly feed consumption and unit prices, growth functions ( $S$ ), production ( $Q$ ) and accumulated economic benefits ( $B$ ) were established. The first partial derivative was applied to  $B$  to obtain profit maximization values ( $B_{Max}$ ), whose conjugation with  $Q$  and  $S$ , allowed estimating body weights ( $Q_{Max}$ ) and maximum fattening times ( $S_{Max}$ ) of the experimental groups. The results showed a better compensatory response in male guinea pigs and a higher  $B_{Max}$  in T4 compared to T1 (control), with the disadvantage of requiring higher  $S_{Max}$ , but which is favourable for achieving higher  $Q_{Max}$ . It is concluded that a restriction level of 25% of the daily ration for 14 days is appropriate to maximize the economic benefits of male and female guinea pigs.

**Key words:** profit maximization, guinea pigs, compensatory response, balanced feed, temporary restriction

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento compensatorio es un fenómeno ampliamente estudiado en la producción animal, que se refiere a un rápido aumento del desarrollo corporal de los animales después de un período de restricción alimentaria o crecimiento lento (Hornick *et al.*, 2000; Agnihotri *et al.*, 2017). Este fenómeno tiene importantes implicaciones para la eficiencia y el rendimiento económico de la industria pecuaria. Numerosas especies animales han sido objeto de investigaciones sobre el crecimiento compensatorio, y se ha visto que está influenciado por factores como la duración y severidad de la restricción alimentaria, la edad y la genética de los animales (Heyer y Le Bret, 2007; Olazábal, 2009; Suryanarayana y Prasad, 2014; Fadel *et al.*, 2019). Además, se ha demostrado que puede tener efectos en la composición corporal, la eficiencia alimenticia y calidad de los productos animales. Es importante comprender los

mecanismos subyacentes del crecimiento compensatorio para optimizar la producción y mejorar su rentabilidad mediante el desarrollo de estrategias genéticas y programas alimenticios más eficientes (Nkrumah *et al.*, 2007; Agnihotr *et al.*, 2017; Khan *et al.*, 2019).

Este fenómeno ha llamado la atención debido a su relevancia en la producción animal y su potencial para mejorar la eficiencia de producción. Estudios en cobayas sobre los mecanismos subyacentes y las implicaciones fisiológicas del crecimiento compensatorio han demostrado que está asociado con cambios genéticos relacionados con el metabolismo, la regulación del crecimiento y la respuesta hormonal (Hornick *et al.*, 2000). Estudios sobre restricción alimentaria en cobayas confirman su efecto en la disminución de su crecimiento; sin embargo, cuando se les permite retomar su alimentación sin restricciones, experimentan un rápido aumento en su crecimiento, además de un mayor consu-

mo y una menor conversión alimenticia, lo que significa que pueden recuperar el tiempo perdido durante la restricción con una mayor eficiencia en el uso de recursos alimenticios (Flores, 2021).

El adecuado conocimiento del crecimiento compensatorio puede ser utilizado para diseñar estrategias alimentarias que mejoren la eficiencia de conversión alimenticia y resulten en beneficios económicos significativos (Wood *et al.*, 2004; Nkrumah *et al.*, 2007). Por tanto, constituye un fenómeno biológico de interés económico que podría utilizarse como una estrategia para reducir los costos de producción y contribuir con maximizar los beneficios a razón de la mejora de la eficiencia de la conversión de alimentos (Nkrumah *et al.*, 2007; O'Doherty *et al.*, 2019).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Condiciones del Estudio

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agraria de Yauris de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP) entre junio a setiembre de 2021. Se utilizaron 100 cuyes de ambos sexos de la Línea Colorado, de  $21 \pm 3$  días de destetados y con pesos iniciales de  $395 \pm 32$  g (machos) y  $380 \pm 24$  g (hembras). Los animales fueron distribuidos por sexo en jaulas metálicas de 0.7 x 1.0 x 0.25 m, dispuestas en cuatro niveles y provistos de comederos y bebederos automáticos. Cada jaula albergó 5 cuyes haciendo un total de 20 por grupo experimental (10 por sexo). El estudio tuvo una duración de 14 semanas y los animales fueron criando bajo un mismo protocolo de manejo.

### Tratamientos

Se trabajó con cinco regímenes de restricción alimentaria:

- T1: 0 días de restricción + ración balanceada *ad libitum*,

- T2: 14 días de restricción con 50% de la ración balanceada,
- T3: 21 días de restricción con 50% de la ración balanceada,
- T4: 14 días de restricción con 25% de la ración balanceada,
- T5: 21 días de restricción con 25% de la ración balanceada,

La ración balanceada *ad libitum* consistió en una asignación inicial de 10 g/animal/día, con incrementos semanales de 4 g. hasta un máximo de 66 g/animal/día. Las cantidades restringidas consistieron en una reducción proporcional equivalente al 25% y 50% de la ración balanceada *ad libitum* y por el periodo de tiempo previsto (Cuadro 1). La composición y el contenido nutricional del alimento se presenta en los cuadros 2 y 3, respectivamente.

Para todos los tratamientos se suministró diariamente alfalfa verde en una proporción aproximada del 10% del peso vivo (Cuadro 4).

La restricción del concentrado se inició una semana después de comenzado el experimento y según lo establecido para cada tratamiento, restituyéndose el consumo *ad libitum* al término del periodo de la restricción. Los pesos vivos de los animales fueron registrados semanalmente por medio de una balanza electrónica digital Premium ( $\pm 0.1$  g). El consumo acumulado de alimento fue calculado sobre la base de la diferencia entre la cantidad inicial prevista para un lote de cinco animales y la cantidad sobrante del lote al término del mismo, considerando un 3% de desperdicio de la ración.

### Maximización de Beneficios

Se definió la función de producción en términos de kilogramo de peso vivo acumulado ( $Q$ ), teniendo como factores de producción al alimento balanceado ( $X_1$ ) y forraje verde consumido ( $X_2$ ), bajo el supuesto de que los otros factores productivos ( $X_n$ ) se

Cuadro 1. Cantidad de alimento balanceado suministrado (g/animal/d) a cuyes de ambos sexos de la línea Colorada por tratamiento

Semana	T1 ( <i>ad libitum</i> )	T2 (14d - 50%)	T3 (21d - 50%)	T4 (14d - 25%)	T5 (21d - 25%)
0	10	10	10	10	10
1	14	7*	7*	3.5*	3.5*
2	18	9*	9*	4.5*	4.5*
3	22	22	11*	22	5.5*
4	26	26	26	26	26
5	30	30	30	30	30
6	34	34	34	34	34
7	38	38	38	38	38
8	42	42	42	42	42
9	46	46	46	46	46
10	50	50	50	50	50
11	54	54	54	54	54
12	58	58	58	58	58
13	62	62	62	62	62
14	66	66	66	66	66

(\*) Corresponde a la cantidad suministrado durante el periodo de restricción

Cuadro 2. Composición del alimento balanceado suministrado en la ración a cuyes de ambos sexos de la línea Colorada

Insumo	(%)
Subproducto de trigo	70.12
Maíz amarillo integral	14.32
Torta de soya	12.65
Premix cuy	0.10
Ascorbil	0.05
Carbonato de calcio	1.63
Bicarbonato de sodio	0.13
Fosfato dicálcico	0.38
Sal	0.30
Metionina	0.18
Valina	0.14
Total	100.00

encuentran en la situación de *Ceteris paribus* (Quiroz, 2016; Pindyck y Rubinfeld, 2018):  $Q = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ .

Sobre la base de los datos de pesos vivos ( $Q$ ) obtenidos del experimento y registrados en cada unidad de tiempo ( $S$ ), se elaboraron curvas de patrón de crecimiento del cuy por sexo y grupo experimental, desde la semana 1 a la 14 de evaluación. A partir de ello, se utilizaron modelos matemáticos de segundo orden ( $R^2$  ajust  $> 0.98$ ) para realizar el ajuste de los pesos vivos acumulados ( $Q^{\wedge}$ ) para efectos de predicción y estimación del periodo máximo de engorde ( $S_{Max}$ ) que permita lograr el máximo beneficio económico ( $B_{Max}$ ) bajo el supuesto de un mercado de competencia perfecta (Pindyck y Rubinfeld, 2018):  $Q^{\wedge} = aS^2 + bS + c$ , siendo a, b, c, los parámetros del modelo.

Por otro lado, sobre la base de  $X_1$  y  $X_2$  y de sus respectivos valores de compra ( $P_1$ ) y costos de producción unitario ( $P_2$ ), se calcularon los costos de alimentación de los grupos experimentales en cada periodo de tiempo previsto para el engorde y, a partir de ello,

Cuadro 3. Contenido nutricional de la ración balanceada suministrado a cuyes de ambos sexos de la línea Colorada

Nutriente	Valor (*)
Energía digestible, kcal/kg	2936.42
Proteína bruta, %	18.00
Fibra cruda, %	8.25
Grasa, %	3.22
Lisina, %	0.85
Metionina, %	0.41
Met + Cis, %	0.74
Treonina, %	0.63
Triptofano, %	0.30
Valina, %	0.84
Calcio, %	0.80
Fósforo, %	0.46
Sodio, %	0.20

(\*) Basado en los valores referenciales de Vergara (2008)

sus respectivos costos de producción ( $C$ ), referidos al 70% de los costos de la alimentación (Yugra y Huiza, 2018). Los ingresos ( $I$ ) derivaron de la venta de cada unidad de cuy vivo logrado, teniendo en cuenta el peso vivo acumulado ( $Y$ ) y su respectivo precio de venta unitario ( $P_3$ ) (Cuadro 5).

El costo de producción fue definido como:  $C = [\text{Costo cuy destetado} + (X_1 \times P_1 + X_2 \times P_2)] \times 100/70$ , y el ingreso como:  $I = Q \times P_3$ . La diferencia entre los ingresos ( $I$ ) y los costos de producción ( $C$ ) permitió establecer los márgenes de beneficios económicos acumulados a nivel de cada sexo y grupo experimental ( $B = I - C$ ).

Para efectos de derivación y cálculos matemáticos, se definió la función del beneficio económico acumulado ( $B$ ) en respuesta del peso vivo acumulado ( $Q$ ):  $B = f(Q)$ . A partir de ello, se utilizaron funciones matemáticas de segundo orden ( $R^2$  ajust  $> 0.98$ ) para lograr el ajuste de los beneficios econó-

micos ( $B$ ) y, con ello, predecir y estimar el peso vivo máximo ( $Q_{Max}$ ) a lograrse durante el engorde y que permita maximizar los beneficios económicos a nivel de cada sexo y grupo experimental:  $B = aQ^2 + bQ + c$ , siendo  $a$ ,  $b$ ,  $c$  los parámetros del modelo.

Se aplicó la primera derivada parcial a cada una de las funciones de predicción de beneficios acumulados ( $B$ ) establecidos para cada uno de los cinco grupos experimentales, en donde según Weisbach *et al.* (2018), conceptualmente se cumple que el ingreso marginal ( $I_{Mg}$ ) resulta ser igual a los costos marginales ( $C_{Mg}$ ):  $dB/dQ = d(I - C)/dQ = 2aQ + b = 0$ , cumpliéndose  $I_{Mg} = C_{Mg}$ , donde  $I_{Mg} = dI/dQ$  y  $C_{Mg} = dC/dQ$ .

Con este procedimiento se estimó el peso vivo máximo que el cuy debería alcanzar durante el engorde ( $Q_{Max}$ ) para lograr el

Cuadro 4. Análisis proximal de la alfalfa variedad WL-625

Nutriente	Valor <sup>1</sup>
Materia seca (%)	23.26
Proteína cruda (%)	19.36
Extracto etéreo (%)	1.94
Ceniza (%)	9.62
Fibra cruda (%)	21.25

<sup>1</sup> Laboratorio de nutrición de la Facultad de zootecnia, Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP)

Cuadro 5. Valor del precio de compra, costo de insumos alimenticios y precio de venta de una unidad de cuy vivo producido

Concepto	Valor (S/kg)
Valor de compra del alimento balanceado ( $P_1$ )	S/ 2.20/kg
Valor del costo de producción de forraje verde ( $P_2$ )	S/ 0.10/kg
Valor del precio de venta del cuy vivo ( $P_3$ )	S/ 22.00 / unidad
Costo de un cuy destetado (S/) <sup>1</sup>	S/ 6.50 / unidad

<sup>1</sup> Yugra y Huiza (2018)

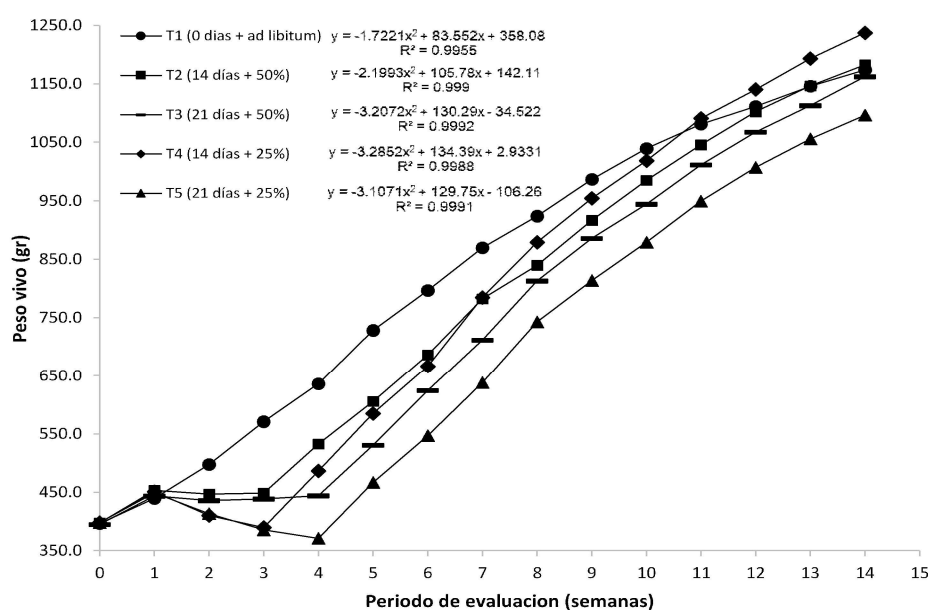


Figura 1. Curvas de crecimiento y modelos matemáticos de predicción en cuyes machos sometidos a cinco regímenes de restricción alimentaria

máximo beneficio económico ( $B_{Max}$ ) a nivel de cada régimen de alimentación restringida evaluado.

Finalmente, los valores de  $Q_{Max}$  fueron reemplazados en las funciones de predicción de beneficio económico ( $B^{\wedge}$ ) y de producción ( $Q^{\wedge}$ ), a fin de obtener sus respectivos valores de maximización de beneficios económicos y tiempo máximo de engorde para su faenado ( $S_{Max}$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Respuesta Compensatoria

En el Cuadro 6 se presentan los pesos vivos inicial y final, así como las ganancias de peso por sexo antes y después de ser sometidos a los regímenes de restricción de alimento balanceado.

### Machos

Los pesos vivos iniciales fueron similares en los cinco grupos ( $p > 0.05$ ), pero la ganancia de peso en la semana previo a la restricción fue mayor en los grupos T1, T2 y T4 en comparación a los grupos T3 y T5 ( $p < 0.05$ ). Posterior al periodo de restricción, las ganancias de peso diario (g/d) de los grupos experimentales evidenciaron cambios significativos y diferenciados en su valor ( $p < 0.05$ ), superando en todos los casos al grupo testigo (T1), observándose una mayor ganancia de peso en T4 ( $p < 0.05$ ). Por otro lado, el peso vivo al final del experimento fue similar en T1, T2 y T3 ( $p > 0.05$ ) e significativamente inferior ( $p < 0.05$ ) al peso obtenido por el grupo T4, que superó al testigo T1 en 63.4 g. Asimismo, el grupo T5 obtuvo el menor peso final ( $p < 0.05$ ).

Los cambios observados en el crecimiento de los cuyes son el resultado del crecimiento compensatorio producto de los tratamientos del estudio, cuya intensidad de respuesta, medido a través de la ganancia de peso diario, estuvo relacionado con el nivel de estrés nutricional a la que estuvieron sometidos los animales durante la fase de crecimiento (Hornick *et al.*, 2000; Hou *et al.*, 2011; Flores *et al.*, 2018; Fadel *et al.*, 2019).

En la Figura 1 se puede observar que las curvas de crecimiento de los grupos experimentales evidenciaron patrones de comportamiento diferenciados, siendo en el grupo testigo T1 un ritmo de crecimiento casi lineal hasta la semana 7 y decreciente hacia la semana 14. En contraste, los grupos T2 y T3 (50% de la ración diaria) evidencian un estancamiento de la ganancia de peso y crecimiento durante los días de restricción, para aumentar, posteriormente, la tasa de crecimiento por encima del grupo testigo, a razón de 9.8 y 10.4 g/d, respectivamente. En el caso de los grupos T4 y T5, expuestos a una ma-

yor intensidad de restricción alimenticia (25%) se registraron pérdidas de peso durante la fase restrictiva, pero posteriormente la tasa de crecimiento de T4 fue superior ( $p < 0.05$ ) a lo registrado por los otros grupos.

### Hembras

El peso vivo inicial y la ganancia de peso diario previo a la fase de restricción fuer similar en los cinco grupos ( $p > 0.05$ ); sin embargo, la ganancia de peso diario posterior fue significativamente diferente entre grupos ( $p < 0.05$ ), resultando en T5 y T4. Por otro lado, el peso vivo final fue similar en T1, T2 y T5 ( $p > 0.05$ ), pero inferior ( $p < 0.05$ ) al peso final encontrado en T4, el cual fue 42.4 g mayor al testigo (T1) (Cuadro 1).

Al igual que en los machos, los resultados se fundamentan en la alteración del régimen alimentario (Dalmau *et al.*, 2015, Cachaldora *et al.*, 2011; Fadel *et al.*, 2019). En la Figura 2 se puede observar que los cambios en el patrón de crecimiento guardan es-

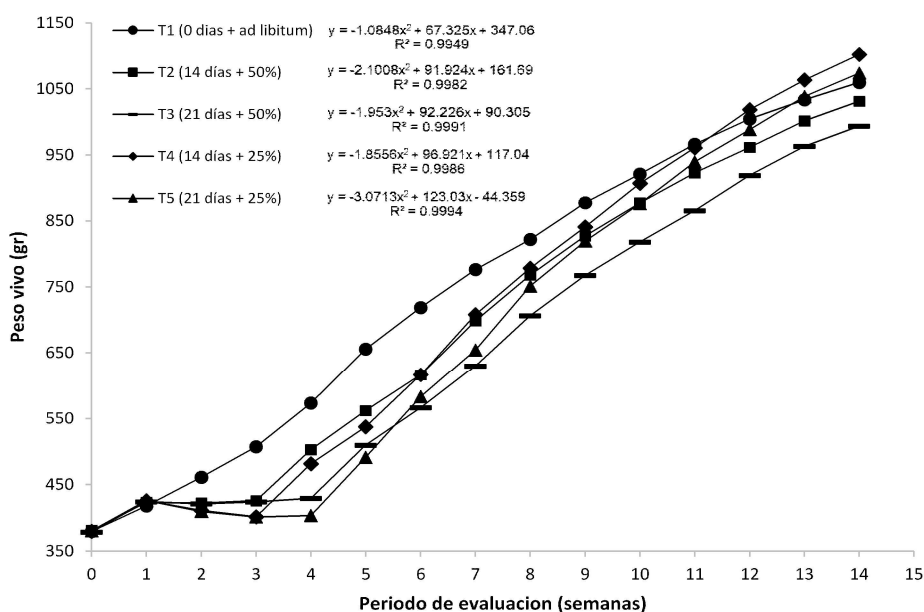


Figura 2. Curvas de crecimiento y modelos matemático de predicción en cuyes hembras sometidos a cinco regímenes de restricción alimentaria

Cuadro 6. Ganancia de peso diaria de cuyes en crecimiento antes y después de ser sometidos a restricción alimentaria (n=10 por grupo y sexo)

Sexo	Tratamientos	Peso vivo inicial (g)	Ganancia de peso inicial <sup>1</sup> (g/d)	Ganancia de peso posterior <sup>2</sup> (g/d)	Peso vivo final (g)
Macho	T1 (sin restricción)	396.2±36.8	7.9 <sup>a</sup> ± 1.5	8.4 <sup>a</sup> ± 1.6	1173.7 <sup>a</sup> ±104.2
	T2 (14 d + 50%)	397.5±33.2	8.0 <sup>a</sup> ± 1.7	9.8 <sup>b</sup> ± 1.8	1182.3 <sup>a</sup> ±124.4
	T3 (21 d + 50%)	395.2±25.8	7.1 <sup>b</sup> ± 1.8	10.4 <sup>b</sup> ± 1.4	1162.3 <sup>a</sup> ±98.7
	T4 (14 d + 25%)	397.9±32.1	7.6 <sup>a</sup> ± 1.8	11.2 <sup>c</sup> ± 2.0	1237.1 <sup>b</sup> ±131.2
	T5 (21 d + 25%)	398.4±24.8	7.2 <sup>b</sup> ± 1.5	10.5 <sup>b</sup> ± 1.9	1096.3 <sup>c</sup> ±108.6
Hembra	T1 (sin restricción)	379.5±23.5	6.9 <sup>a</sup> ± 1.4	7.4 <sup>a</sup> ± 1.2	1059.9 <sup>a</sup> ±89.5
	T2 (14 d + 50%)	381.1±28.4	6.4 <sup>a</sup> ± 1.1	8.0 <sup>b</sup> ± 0.9	1031.2 <sup>a</sup> ±101.5
	T3 (21 d + 50%)	378.9±20.7	6.5 <sup>a</sup> ± 1.2	8.2 <sup>b</sup> ±1.4	993.7 <sup>c</sup> ± 87.9
	T4 (14 d + 25%)	379.6±30.2	6.6 <sup>a</sup> ± 1.6	9.3 <sup>c</sup> ± 1.4	1102.3 <sup>b</sup> ±102.4
	T5 (21 d + 25%)	380.8±24.3	6.5 <sup>a</sup> ± 1.5	9.7 <sup>c</sup> ± 1.4	1074.0 <sup>a</sup> ±112.1

<sup>1</sup> Antes de la restricción (una semana)<sup>2</sup> Después de la restricción (hasta la semana 14)

trecha relación y correspondencia gráfica con el patrón reportado a nivel de los machos, aunque con un menor ritmo y diferencial en las tasas de crecimiento diario entre grupos, resultando coincidente con lo hallado por Fadel *et al.* (2019) en conejos.

Si bien la ganancia de peso diario del grupo testigo (7.4 g/d) no evidenció cambios significativos en su valor en toda su curva de crecimiento, resultó ser inferior ( $p < 0.05$ ) a la ganancia de peso registrada por los demás grupos que recibieron alimentación restringida, resultando atribuible al efecto compensatorio logrado por estos, aunque con menor intensidad respecto a lo reportado en machos (Hornick *et al.*, 2000, Fadel *et al.*, 2019). Así, al igual que en los machos, se registró estancamiento del crecimiento y en algunos casos pérdida de peso, dependiendo del nivel de reducción de alimento y de la duración de la fase restrictiva. Sin embargo, la recuperación del ritmo de crecimiento resultó menor, pero con una tendencia similar a lo ocurrido en los machos, donde también resultaron favorecidos los grupos T5 (9.7 g/d) y T4 (9.3 g/d),

donde este último logró alcanzar un peso vivo superior en 42.4 g con respecto al testigo al final del periodo de engorde.

### Maximización de Beneficios

En el Cuadro 7 se presenta los parámetros de los modelos de predicción polinómica utilizados en la estimación de los beneficios económicos maximizados ( $B_{Max}$ ), así como los pesos vivos ( $Q_{Max}$ ) y periodos de engorde que maximizan la función de beneficio del engorde de cuyes de los cuyes sometidos a cinco regímenes de suministro de alimento. Los  $R^2$  ajustado de los modelos de predicción de cada régimen de restricción y sexo resultaron superiores al 96%, siendo significativos sus parámetros en todos los casos ( $p < 0.001$ ). Bajo dicho escenario, Pindyck y Rubinfeld (2018) indican que el ajuste de los datos observados, resultarán ser lo suficientemente eficientes y confiables para predecir el comportamiento de la función producción y, por tanto, válidos los procedimientos de derivación matemática utilizados para la estimación de los valores de maximización de beneficios.



Cuadro 7. Parámetros de los modelos de predicción utilizados y valores de maximización de beneficios en cuyes machos y hembras sometidos a diferentes regímenes de alimentación restringida

Sexo	Tratamiento	$Q^2$	$Q$	Intercepto	R <sup>2</sup> Aj	$Q_{Max}$ (g)	$B_{Max}$ (S/.)	$S_{Max}$ (semanas)
Macho	T1 (sin restricción)	-1.675E-05	0.035	-9.488	0.978	1041.8	8.7	10.4
		<.0001	<.0001	<.0001				
	T2 (14 d + 50%)	-1.311E-05	0.030	-8.915	0.988	1162.1	8.8	13.3
		<.0001	<.0001	<.0001				
	T3 (21 d + 50%)	-1.408E-05	0.032	-9.811	0.992	1140.2	8.5	13.5
	<.0001	<.0001	<.0001					
	T4 (14 d + 25%)	-1.170E-05	0.030	-8.920	0.992	1277.6	10.2	14.6
	<.0001	<.0001	<.0001					
	T5 (21 d + 25%)	-1.309E-05	0.029	-8.560	0.991	1111.5	7.6	14.2
	<.0001	<.0001	<.0001					
Hembra	T1 (sin restricción)	-1.934E-05	0.035	-9.075	0.965	903.6	6.7	9.8
		<.0001	<.0001	<.0001				
	T2 (14 d + 50%)	-2.076E-05	0.037	-10.487	0.965	896.4	6.2	10.5
		<.0001	<.0001	<.0001				
	T3 (21 d + 50%)	-1.916E-05	0.034	-9.577	0.979	885.1	5.4	11.3
	<.0001	<.0001	<.0001					
	T4 (14 d + 25%)	-1.396E-05	0.030	-8.393	0.990	1068.7	7.5	13.1
	<.0001	<.0001	<.0001					
	T5 (21 d + 25%)	-1.572E-05	0.032	-9.324	0.990	1031.1	7.4	12.9
	<.0001	<.0001	<.0001					

### Machos

Una asignación de hasta 25% de la ración *ad libitum* diaria durante 14 días (T4) contribuye a optimizar los beneficios económicos de los cuyes machos en S/ 1.50 adicionales, respecto a lo que se obtendría bajo alimentación *ad libitum* (sin restricción), pero con la desventaja de demandar alrededor de cuatro semanas adicionales de tiempo de engorde, aunque con un resultado de peso vivo superior en 235.8 g, respecto al testigo (T1).

Pese al crecimiento compensatorio manifiesto en los grupos con restricción, los beneficios económicos máximos estimados fue-

ron similares al testigo, excepto T4, incluso registrándose pérdida de eficiencia económica en T5, que recibió un 25% de la ración diaria por 21 días.

Si bien los cuyes bajo restricción suelen reportar mayores tasas de recuperación de sus pesos vivos, permitiéndoles incluso alcanzar y superar el peso vivo registrado por el grupo testigo antes de la semana 11 y poco después de la semana 12 por parte de los grupos T4 y T2, respectivamente; no resultaron suficientes como para alcanzar el tiempo de engorde previsto por T1 para maximizar sus beneficios económicos, los cuales estuvieron por encima de las tres semanas.

### Hembras

Los valores de maximización de beneficios económicos obtenidos en las hembras fueron inferiores a lo registrado por los machos, con brechas por encima de los S/ 2.0 a favor de los machos en la mayoría de los casos, a excepción de las hembras de T5 cuyo diferencial de maximización fue de solo S/ 0.20 respecto a lo registrado en el grupo de machos sometidos al mismo nivel de restricción. Las ventajas económicas en favor de los cuyes machos coinciden con los reportes económicos indicados por Yugra y Huiza (2018).

Si bien los méritos económicos de las hembras resultaron inferiores a lo registrado en los machos, los patrones de maximización de beneficios fueron similares en ambos sexos, dado que el grupo T4 también fue el que presentó la mejor respuesta económica con respecto a T1 (S/ 0.80). Por otro lado, a diferencia de los machos T5, las hembras T5 lograron una ventaja económica de S/ 0.70 por encima del testigo.

Respecto al peso vivo y tiempo de engorde requeridos para maximizar los beneficios, las hembras reportaron menores valores respecto a los machos en sus correspondientes regímenes de restricción; tendencia que resulta similar a lo reportado por Jiménez *et al.* (2000) y Flores *et al.* (2018). En el caso de los grupos T1 y del T4 que obtuvieron la mejor respuesta económica, se observó que superaron en 138.2 y 208.9 g a los correspondientes pesos vivos de las hembras de su mismo nivel, pero con la salvedad de que requirieron 0.6 y 1.5 semanas de tiempo adicional para conseguir maximizar sus respectivos beneficios económicos.

### General

Se puede indicar, con base a los resultados obtenidos, que los cuyes machos son más sensibles a la pérdida de peso y a los efectos fisiológicos negativos derivados de la

supresión temporal de alimento, agudizándose cuanto más prolongado es el periodo de estrés nutricional, situación que también suele evidenciarse en otras especies (Olazábal, 2009; Suryanarayana y Prasad, 2014, Flores *et al.*, 2018; Fadel *et al.*, 2019). Esto se sustenta en el hecho de que los machos que tuvieron una restricción equivalente al 25% de la dieta diaria registraron mayores pérdidas de peso con relación a las hembras con el mismo nivel de restricción.

Se pudo constatar que una restricción con el nivel referido, pero con una temporalidad mayor a 14 días ocasiona una disminución de la capacidad de respuesta compensatoria de los cuyes, sobre todo en los machos, tal como ha sido reportado (Hornick *et al.*, 2000; Skiba, 2005; Flores *et al.*, 2018; Fadel *et al.*, 2019). Asimismo, estos autores señalan que los animales subalimentados intensamente suelen padecer de alteraciones endocrinológicas de efectos negativos permanentes, aspecto que no pudo ser constatado en el presente estudio debido a la naturaleza de la presente investigación.

Por tanto, los resultados obtenidos en el grupo T4, sugieren que una mayor intensidad de restricción del alimento en términos de reducción de la proporción de la dieta *ad libitum* suministrada, pero con una menor temporalidad, sería la estrategia alimentaria a seguir para optimizar los beneficios económicos durante el engorde de cuyes.

## CONCLUSIONES

- Los cuyes machos son más sensibles a la pérdida de peso cuanto más intensa es la restricción de alimento, pero muestran una mejor respuesta compensatoria en su crecimiento durante la restitución de la alimentación *ad libitum*.
- Una restricción del consumo de alimento balanceado de 25% de la ración diaria por un periodo de 14 días contribuye a optimizar los beneficios económicos del

engorde de cuyes machos y hembras, respecto a lo que se obtendría bajo alimentación *ad libitum*.

- Cuanto más intensa (25% de la ración diaria) y prolongada (21 días) resulta ser la restricción de alimento, se requerirá mayores periodos de engorde para conseguir maximizar sus respectivos beneficios económicos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Estación Experimental Agropecuaria de Yauris por los recursos físicos y logísticos brindados, así como al Instituto de Investigación de la Universidad Nacional del Centro del Perú por el estímulo financiero ofrecido para concretar el presente estudio.

### LITERATURA CITADA

1. **Agnihotri MK, Mishra SK, Prasad S, Yadav S. 2017.** Compensatory growth in animals: physiological basis, molecular mechanisms and implications for production. *Res Vet Sci* 113: 135-141.
2. **Cachaldora P, Losada B, Méndez J, Prieto C, Gullon J, Blas Beorlegui, Juan Carlos de, García Rebollar Pila. 2011.** Efecto de una restricción alimenticia después del destete sobre la mortalidad y los rendimientos productivos de conejos en cebo. En: XXXVI Symposium de Cunicultura de ASESCU. Peñíscola, España.
3. **Dalmau A, Abdel-Khalek AM, Ramon J, Piles M, Sanchez JP, Velarde A, Rafel O. 2015.** Comparison of behaviour, performance and mortality in restricted and ad libitum-fed growing rabbits. *Animal* 9: 1172-1180. doi: 10.1017/S1751731115000270
4. **Fadel MM, El-Iraqi KG, Ghandour RA, Foad MA. 2019.** Feed restriction regimens effects on growth and physiological performance of fattening rabbits. *J Egypt Vet Med Assoc* 79: 791-802.
5. **Flores LM, Moscoso JE, Camero J, Angulo-Tisoc J, Jeri JC, Del Solar JM. 2018.** Optimal slaughter moment for guinea pig (*Cavia porcellus*) reared under different feed systems. *Compend Cienc Vet* 8: 7-15. doi: 10.18004/compend.cienc.vet.2018.08.01.07-15
6. **Flores L. 2021.** Evaluación del crecimiento compensatorio en el cuy (*Cavia porcellus*). Tesis de Médico Veterinario. Lima, Perú: Univ. Nacional Mayor de San Marcos. 38 p.
7. **Heyer A, Lebrecht B. 2007.** Compensatory growth response in pigs: effects on growth performance, composition of weight gain at carcass and muscle levels, and meat quality. *J Anim Sci* 85: 769-778. doi: 10.2527/jas.2006-164
8. **Hornick JL, Van Eenaeme C, Gérard O, Dufrasne I, Istasse L. 2000.** Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domest Anim Endocrin* 19: 121-132. doi: 10.1016/S0739-7240(00)00072-2
9. **Hou C, Bolt KM, Bergman A. 2011.** A general model for ontogenetic growth under food restriction. *P R Soc B* 278: 2881-2890. doi: 10.1098/rspb.2011.0047
10. **Jiménez R, Bojórquez C, San Martín F, Carcelén F, Pérez A. 2000.** Determinación del momento óptimo económico de beneficio de cuyes alimentados con alfalfa vs. una suplementación con afrechillo. *Rev Inv Vet Perú* 11: 45-51. doi: 10.15381/rivep.v11i1.6790
11. **Khan RU, Naz S, Javdani M, Nikousefat Z, Selvaggi M, Tufarelli V. 2019.** Compensatory growth in poultry: a review. *World's Poultry Sci J* 75: 451-466.
12. **Nkrumah JD, Crews DH, Basarab JA, Price MA, Okine EK, Wang Z, et al.. 2007.** Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. *J Anim Sci* 85: 2382-2390. doi: 10.2527/jas.2006-657

13. **O'Doherty JV, O'Connell MK, Callan JJ, Boland TM, Sweeney T. 2019.** The effect of nutrient restriction and realimentation on skeletal muscle satellite cell and mitochondrial numbers and IGF I concentrations in plasma and skeletal muscle of growing pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr* 103:
14. **Olazábal J, San Martín F, Ara M, Franco F. 2009.** Crecimiento compensatorio de alpacas: efecto de diferentes niveles de restricción energética. *Rev Inv Vet Perú* 20: 171-177. doi: 10.15381/rivep.v20i2.603.
15. **Pindyck RS, Rubinfeld DL. 2018.** *Microeconomía*. 7° ed. Madrid, España: Pearson. 888 p.
16. **Quiroz B. 2016.** *Microeconomía*. *J Chem Inf Modeling* 53: 169.
17. **Skiba G. 2005.** Physiological aspects of compensatory growth in pigs. *J Anim Feed Sci* 14: 191-203. doi: 10.22358/jafs/70362/2005
18. **Suryanarayana MVAN, Prasad BS. 2014.** Impact of feed restriction and compensatory growth in sheep. *Int J Food Agric Vet Sci* 4: 28-32.
19. **Vergara V. 2008.** Avances en nutrición y alimentación en cuyes. En: XXXI Reunión científica Anual de la Producción Peruana de Producción Animal - APPA. Lima, Perú.
20. **Weisbach DA, Hemel DJ, Nou J. 2018.** The marginal revenue rule in cost-benefit analysis. *Tax Notes* 160: 1507-1528.
21. **Wood JD, Nute GR, Richardson RI, Whittington FM, Southwood O, Plastow G, Mansbridge R, et al.. 2004.** Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Sci* 67: 651-67. doi: 10.1016/j.meatsci.-2004.01.007
22. **Yugra NB, Huiza DM. 2018.** Determinación de costos de producción y rentabilidad en la agroproducción de granjas de cuyes en Moquegua. *Rev Cienc Tecnol Desarrollo* 4: 151-166. doi: 10.37260/rctd.v4i0.131