



1

Facultad de Ciencias Agropecuarias

ISSN L 2644-3856

Revista Investigaciones Agropecuarias

Volumen 2, N°1. pp. 1-17
Diciembre 2019 - Mayo 2020

Panamá

Recepción: 3 de abril de 2019

Aceptación: 17 de agosto de 2019

EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE DENSIDAD DE NUTRIENTES SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y METABOLISMO ENERGÉTICO DE POLLOS DE ENGORDE

Mario Isaac Arjona Smith^{1*}, Víctor Guevara²

¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá

² Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Zootecnia, Departamento de Nutrición, escuela de Posgrado, Perú

 * m_arjona32@hotmail.com, vguevara@molina.edu.pe

RESUMEN

La necesidad de tener modelos matemáticos disponibles que faciliten la selección de los niveles de nutrientes más económicos llevó a evaluar en el presente estudio el impacto de dietas con diferentes densidades de nutrientes sobre el comportamiento productivo y el metabolismo energético de pollos de carne. Se utilizaron 100 pollos machos de un día de la raza Cobb® distribuidos a razón de 5 aves por batería bajo un diseño en bloque completo al azar. Los tratamientos fueron dietas para inicio y crecimiento formuladas según la NRC (1994), con (2900, 3000, 3100, 3200, 3300 Kcal EM/kg) manteniendo la relación caloría-aminoácido. En la etapa de inicio hubo una relación directa del peso vivo y ganancia de peso con respecto a los tratamientos y una relación inversa para el consumo alimenticio y conversión alimenticia; en la etapa de crecimiento, el peso vivo presentó similar comportamiento que, en la etapa de inicio, mientras que los demás parámetros no mostraron una tendencia clara. Los requerimientos de densidad de nutrientes estimados para lograr los máximos biológico y económico en cada etapa presentaron diferencias. En la utilización de la energía, la grasa retenida tendió a aumentar con respecto al aumento en los niveles de densidad de nutrientes de la dieta, mientras que el porcentaje de energía retenida como proteína no presentó variaciones significativas con respecto a los tratamientos. La energía retenida total por su parte no mostró una tendencia clara con el incremento de la densidad de nutrientes para las etapas de inicio y crecimiento.

PALABRAS CLAVES: densidad de nutrientes, energía retenida, broilers.

**EFFECT OF DIFFERENT LEVELS OF NUTRIENT DENSITY ON PERFORMANCE AND
ENERGETIC METABOLISM OF BROILERS CHICKENS**

ABSTRACT

The present study was conducted to evaluate the impact different dietary nutrient densities on the performance and energy metabolism of broiler chickens. One hundred a day old male Cobb® chickens were used. A completely randomized block design was used and treatments were replicated four times with five chicks each. Starter and grower diets were formulated to meet NRC (1994) requirements, with levels of (2900, 3000, 3100, 3200, 3300 Kcal ME / kg) maintaining the calorie-aminoacid ratio. Live weight and weight gain were increased and feed intake and feed conversion were decreased by nutrient density in the starter and grower stage. Nutrient density levels to achieve the biological and economic maximum showed differences between them in starter and grower phase. Energy retained as fat showed an upward trend as nutrient density levels of the diet were increased. Energy retained as protein did not show a significant variation with the levels of nutrient density. On the other hand, total energy retained did not show a clear trend when nutrient density was increase in the starter and grower stages.

KEYWORDS: nutrient density, retained energy, broilers.

INTRODUCCIÓN

La alta demanda a nivel mundial de carne de pollo y el corto ciclo de producción de estos animales, ha permitido el avance científico y tecnológico de esta especie. Las mejoras genéticas realizadas, hacen que los animales presenten mejores desempeños productivos, mayor calidad de carne sin descuidar la rentabilidad de la producción.

El nivel de densidad de nutrientes en las dietas incide directamente sobre la tasa de crecimiento y consumo de alimento y, por lo tanto, en la rentabilidad de la producción del pollo de engorde. La NRC (1994) declaró que sería deseable tener modelos matemáticos disponibles que faciliten la selección de los niveles de nutrientes más económicos. Si bien se han realizado trabajos sobre densidad de nutrientes empleando una función exponencial donde arbitrariamente se ha tomado como requerimiento el 95 % de la asíntota hay pocos estudios donde se ha empleado una función cuadrática para relacionar los niveles de densidad de nutrientes y la retribución económica.

Por lo antes descrito, en este trabajo se evaluó la influencia de dietas con diferentes densidades de nutrientes sobre el peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, rendimiento de carcasa, además de su impacto sobre la rentabilidad y el metabolismo energético mediante la determinación de la utilización de la energía metabolizable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la fase experimental se utilizaron 100 pollos machos de un día de edad de la línea Cobb®. Los animales se distribuyeron en cinco grupos de 20 animales, con cuatro repeticiones de cinco animales cada una, donde cada tratamiento fue asignado a un grupo. La distribución de los animales y asignación de los tratamientos se realizó de manera completamente aleatoria en las baterías.

Los tratamientos fueron dietas formuladas en base a los requerimientos del NRC (1994), considerando la etapa de inicio y de crecimiento. Para cada etapa se prepararon cinco dietas con diferentes niveles de energía (2900, 3000, 3100, 3200, 3300 Kcal EM/kg) manteniendo la relación caloría-aminoácido. La composición porcentual, valor nutricional y análisis químico proximal de las dietas se muestran en las Tablas 1, 2, 3 y 4.

Para la evaluación de parámetros zootécnicos por etapa se evaluó: consumo de alimento, peso vivo (Kg), ganancia de peso, conversión alimenticia, rendimiento de la canal sólo en la etapa de crecimiento.

Para el análisis de laboratorio, las muestras de alimento procedieron de las fórmulas balanceadas que se elaboraron para cada tratamiento. En cuanto a las excretas de los animales, se procedió a hacer la colección en cada repetición de tratamiento por separado, haciendo una mezcla de las heces por tratamiento. La primera colecta de heces se realizó el día 21 por ser el último día en el que los animales consumieron las dietas de inicio y la segunda colecta se realizó el día 24 cuando los animales tenían cuatro días de estar consumiendo las dietas de crecimiento a fin de garantizar el recambio completo de la dieta de inicio por la de crecimiento en el tracto gastrointestinal del pollo. Se empleó la fibra cruda como indicador.

Por otro lado, para la evaluación de la composición corporal de proteína y grasa, se procedió a tomar las muestras a los 21 y a los 42 días, sacrificando cuatro pollos por tratamiento, uno por cada repetición. En lo que respecta al procesamiento de las muestras, se siguió la metodología de Sakomura, Longo, Oviedo-Rondon, Boa-Viagen, y Ferraud. (2005), con la cual los animales fueron sacrificados sin desangrar y luego separados en dos partes siendo una la carcasa que estaba conformada por los huesos, carne, cartílagos, vísceras limpias sin contenido digestivo y piel; mientras que la otra parte estaba conformada por las plumas. Para la colección de las plumas, los animales fueron pesados antes y después del desplume a fin de determinar el peso de dicha muestra. Las carcasas fueron congeladas a -4°C y luego picadas en trozos pequeños para ser combinadas con sus semejantes del mismo tratamiento, siendo posteriormente molidas, secadas a 105°C y mezcladas para su homogenización.

Todas las muestras colectadas fueron analizadas a fin de determinar el contenido de nitrógeno, extracto etéreo, fibra cruda y energía bruta mediante el uso de una bomba calorimétrica.

La energía metabolizable de las dietas (Tablas 2 y 4) fue estimada con la ecuación propuesta por Quiroz (1991).

Para la determinación del máximo biológico, se consideró el parámetro de ganancia de peso con respecto a la densidad de nutrientes de la dieta. Para tal fin se utilizó el método de regresión cuadrática que brinda una función que describe la respuesta a la densidad de nutrientes.

La determinación del máximo económico se basó en el comportamiento del margen económico con respecto a la densidad de nutrientes descrito por una curva de regresión cuadrática. El margen

fue estimado mediante la ecuación de rentabilidad para la cual se requiere básicamente la cantidad de producto avícola, la cantidad de insumos del alimento consumido en función de los niveles de nutriente o densidad energética y los precios de los insumos y del producto (Guevara, 2017).

Utilización de la energía

Para la utilización de la energía se determinó la energía retenida en la ganancia de peso, producción de calor total y del incremento calórico de la dieta, peso corporal metabólico promedio.

Tabla 1. Composición porcentual y valor nutricional calculado de las dietas experimentales para la etapa de Inicio (1-21 días).

Ingrediente	Nivel de Densidad de Nutrientes Kcal/kg de dieta				
	2900	3000	3100	3200	3300
	----- % -----				
Maíz amarillo	60.46	70.2	65.06	59.46	64.96
Torta de soya	25.5	25.75	25.5	25.5	19.16
Hna. Int. de Soya	--	--	3.16	6.51	--
Hna. Pescado	--	--	--	--	8
Aceite Vegetal	--	--	2.11	4.27	4.67
Carbonato de Calcio	1.27	1.27	1.29	1.31	1.23
Fosfato dicálcico	1.76	1.76	1.84	1.92	0.96
NaCl	0.43	0.43	0.45	0.46	0.31
DL-Metionina	0.24	0.24	0.26	0.27	0.23
L-Lisina	0.24	0.24	0.22	0.19	0.39
Premix de minerales y vitaminas	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pulidura de Trigo	10	0	0	0	0
TOTAL	100	100	100	100	100
Costo S/. /Kg	1.26	1.28	1.33	1.37	1.65
	Valor Nutricional Calculado (%)				
Energía Metabolizable, Kcal/Kg	2900	3000	3100	3200	3300
Proteína Total	18.5	18.97	19.55	20.27	20.72
L-Lisina	1.09	1.13	1.17	1.2	1.24
DL-Metionina	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61
Metionina + Cistina	0.82	0.85	0.88	0.91	0.93
Fósforo disponible	0.41	0.42	0.44	0.45	0.46
Calcio	0.92	0.94	0.97	1	1.03
Sodio	0.19	0.19	0.19	0.2	0.21

Tabla 2. Valor nutricional determinado para la etapa de inicio.

Componente	Nivel de Densidad de Nutrientes Kcal/Kg de dieta				
	2900	3000	3100	3200	3300
	----- % -----				
Humedad	11.8	11.51	11.3	10.56	10.41
Proteína Cruda	19.13	19.81	20.37	21.6	21.91
Extracto Etéreo	2.86	3.48	5.82	7.82	9.36
Fibra Cruda	2.62	2.57	2.66	2.38	2.44
Nifex,	60.5	59.49	56.47	54.07	52.17
Cenizas	3.09	3.14	3.38	3.57	3.71
Energía Metabolizable * (Kcal/Kg)	2945.84	3012.24	3155.36	3303.37	3350.94

*Los valores estimados con la ecuación de Quiroz (1991) fueron 2945.84 (2900), 3012.24 (3000), 3155.36 (3100), 3303.37 (3200) y 3350.84 (3300).

Tabla 3. Composición porcentual y valor nutricional calculado de las dietas experimentales para la etapa de crecimiento (22 – 42 días).

Insumo	Nivel de Densidad de Nutrientes Kcal/Kg de dieta				
	2900	3000	3100	3200	3300
	----- % -----				
Maíz amarillo	61.00	71.24	72.8	68.01	67.4
Torta de soya	25.89	22.64	22.67	24.86	21.27
Hna. Pescado	--	--	--	--	3.47
Aceite vegetal	--	--	1.18	3.7	4.96
Carbonato de Calcio	1.36	1.36	1.39	1.41	1.39
Fosfato dicálcico	1.18	1.18	1.28	1.34	0.95
NaCl	0.31	0.31	0.32	0.34	0.27
DL-Metionina	0.08	0.09	0.12	0.13	0.12
L-Lisina	0.08	0.08	0.14	0.11	0.07
Premix de minerales y vitaminas	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Sub Producto Trigo	10	3	--	--	--
TOTAL	100	100	100	100	100
Costo S/. /Kg	1.22	1.22	1.25	1.29	1.43
	Valor Nutricional Calculado (%)				
Energía Metabolizable Kcal/Kg	2900	3000	3100	3200	3300
Proteína Total	17.5	17.74	17.53	18.12	18.55
L-Lisina	0.90	0.94	0.97	1.00	1.03
DL-Metionina	0.38	0.39	0.41	0.43	0.44
Metionina + Cistina	0.64	0.67	0.69	0.71	0.74
Fósforo disponible	0.33	0.33	0.34	0.35	0.36
Calcio	0.84	0.84	0.87	0.9	0.93
Sodio	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15

Tabla 4. Valor nutricional determinado para la etapa de crecimiento.

Componente	Valor nutricional determinado crecimiento				
	2900	3000	3100	3200	3300
	----- % -----				
Humedad	12.21	11.42	11.01	10.6	10.12
Proteína Cruda	19.24	19.56	20.02	21.2	21.62
Extracto Etéreo	2.87	3.67	5.78	8.32	9.46
Fibra Cruda	2.69	2.61	2.66	2.74	2.94
Nifex	59.8	59.46	57.06	53.53	52.10
Cenizas	3.19	3.28	3.47	3.61	3.76
Energía Metabolizable * (Kcal/Kg)	2905.30	3002.22	3150.72	3255.31	3307.04

*Los valores estimados con la ecuación de Quiroz (1991) fueron 2905.30 (2900), 3002.22 (3000), 3150.72 (3100), 3255.31 (3200) y 3307.04 (3300).

Análisis estadístico

Las variables estudiadas fueron analizadas mediante estadística descriptiva y regresión cuadrática además del ANOVA. Posterior a esto se realizó una prueba de rangos múltiples de Tukey, utilizando los procedimientos de SAS (SAS Institute, 1999). Para la regresión, se analizó la ganancia de peso en función de la densidad energética y la energía retenida por unidad de peso metabólico en función de la energía metabolizable consumida por unidad de peso metabólico.

Análisis de Regresión

Para la estimación de parámetros se utilizó el procedimiento de regresión cuadrática en la cual cada punto de la curva corresponde al promedio del tratamiento. Se utilizó la densidad de nutrientes formulada ya que al comparar la energía metabolizable determinada y estimada a partir del análisis proximal con la ecuación de Quiroz (1991), se verificó que la desviación de los valores formulados fue menor de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la densidad de nutrientes en el desempeño productivo de los pollos de carne

En la etapa de inicio, para la variable peso vivo, la prueba de comparación de medias por Tukey (Tabla 5), muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el tratamiento con 2900 Kcal EM/ Kg dieta y los tratamientos que van de 3000 a 3300 Kcal EM/Kg dieta, siendo estos últimos los que presentaron el mayor peso vivo. Para esta variable, se presenta una tendencia al alza a medida que aumenta la densidad energética de la dieta, lo cual coincide con las observaciones realizadas por Waldroup, Mitchell, Payne y Johnson. (1976) y Saleh, Watkins, Waldroup y Waldroup. (2004) en pollos alimentados con dietas con diferente contenido energético manteniendo la relación de nutrientes a energía constante.

La ganancia de peso de los pollos en la etapa de inicio presentó el mismo comportamiento que el peso vivo (Tabla 5), un comportamiento similar en la ganancia de peso durante la etapa de inicio fue observado por Williams (2001) quien reporta que el efecto de la densidad de nutrientes en la ganancia de peso de los 3100 a los 3400 Kcal EM/Kg dieta, describe tendencias lineales y cuadráticas crecientes. Classen y Campbell (1990) señalan que esta mejora en la ganancia de peso puede deberse a que las líneas modernas de pollos han sido seleccionadas para consumir alimentos hasta su máxima capacidad a fin de aprovechar los niveles de energía dietarios. Sobre esto, Lesson y Summers (2001), indican que múltiples estudios demuestran que el desempeño productivo de los pollos es mejor cuando las dietas son altas en densidad de nutrientes.

Con respecto al consumo de alimento, las diferencias significativas encontradas (Tabla 5), muestran una mayor variabilidad. Estos resultados describen una tendencia a disminuir el consumo con respecto al aumento de la densidad de nutrientes de las dietas que coincide con lo reportado por Rodríguez (2013) quien señala que los mayores consumos de alimento se presentan con los tratamientos de menor densidad energética debido a que las aves consumen alimento suficiente para cubrir su requerimiento de energía metabólica.

En cuanto a la conversión alimenticia se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo el tratamiento con mayor densidad energética el que presentó la menor conversión alimenticia, misma que presentó una relación inversa con los niveles de densidad energética (Tabla 5). De manera similar, Saleh *et al.* (2004) indican que la conversión alimenticia hasta el día 21 presentó

una mejora significativa a medida que aumentaba la densidad de nutrientes de las dietas. Con respecto a esto, Lesson y Summers (2001), indican que existen una variedad de estudios que demuestran que el desempeño productivo de los pollos es mejor cuando las dietas son altas en densidad de nutrientes.

Tabla 5. Efecto de la densidad de nutrientes sobre el desempeño productivo de pollos de carne de 1 a 21 días.

TRATAMIENTOS Kcal/Kg	PESO VIVO ^{oo} (g)	GANANCIA DE PESO ^{oo} (g)	CONSUMO DE ALIMENTO ^{oo} (g)	CONVERSIÓN ALIMENTICIA ^{oo}
2900	748.90 ^b	706.70 ^b	1254.55 ^{ab}	1.78 ^a
3000	858.95 ^a	817.65 ^a	1261.50 ^a	1.54 ^b
3100	915.10 ^a	872.60 ^a	1222.00 ^{ab}	1.40 ^{bc}
3200	928.50 ^a	885.50 ^a	1176.09 ^b	1.33 ^c
3300	941.75 ^a	901.25 ^a	1094.10 ^c	1.22 ^c

^{oo} Promedio de cuatro repeticiones de 5 aves por tratamiento

Promedios en la misma columna con diferente superíndice indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Las conversiones alimenticias más bajas en las densidades altas en el presente estudio pueden deberse a la inclusión de aceite en las dietas de 3100, 3200 y 3300 Kcal EM/Kg (Tabla 5). La adición de grasa en los alimentos, de manera general se traduce en una mayor cantidad de energía productiva, puesto que la oxidación de las grasas es un medio eficiente para obtener energía en las células y su uso anabólico involucra una incorporación directa en el tejido adiposo y en la formación de membranas celulares, para las cuales se requieren lípidos durante el proceso de crecimiento y multiplicación celular como lo indican Salmon y O'Neil (1973).

En la etapa de crecimiento al análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para la variable peso vivo ($p < 0.05$), mientras que para las variables: ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y rendimiento de carcasa no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 6).

Con respecto al peso vivo, el tratamiento con densidad de nutrientes de 2900 Kcal EM/Kg dieta fue el que presentó el menor valor, el mismo que fue comparable al del tratamiento inmediatamente superior y significativamente diferente de los tratamientos con los valores energéticos más altos, dichos resultados se ven apoyados por los de Saleh *et al.* (2004), quienes reportan un comportamiento similar a los 42 días.

La ganancia de peso refleja una tendencia a aumentar a medida que se incrementa la densidad de nutrientes de las dietas, llegando a una meseta en los niveles de 3200 y 3300 Kcal EM/Kg dieta. La tendencia antes descrita se puede observar también en el estudio hecho por Saleh *et al.* (2004) donde la ganancia de peso mejora a medida que aumenta la densidad de nutrientes. Además, la no diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos en el presente estudio, coincide con lo reportado por Williams (2001).

La respuesta observada con respecto al consumo de alimento en la etapa de crecimiento muestra una tendencia a reducir el consumo a medida que se aumenta la densidad de nutrientes de las dietas, tendencia a la cual no se ajusta el valor obtenido con la dieta de 2900 Kcal EM/ Kg dieta con la que se esperaría el mayor consumo. Sin embargo, es menor que el de otras dietas posiblemente debido a que esta dieta es más fibrosa y por ende más voluminosa lo cual hace que la capacidad de ingestión de alimentos de los animales no sea suficiente. La disminución en el consumo como respuesta a dietas de mayores densidades de nutrientes también fue encontrada por (Waldroup *et al.*, 1976; Williams, 2001; Saleh *et al.*, 2004).

La conversión alimenticia, no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) (Tabla 6), pero sí una tendencia descendente a medida que se incrementa la densidad de nutrientes de las dietas lo cual era totalmente esperado debido al comportamiento presentado por los parámetros de ganancia de peso y consumo de alimento para la misma etapa productiva.

Para el rendimiento de carcasa no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 6). Este mismo comportamiento fue encontrado por Rodríguez (2013). Sin embargo, Saleh *et al.* (2004) reportan diferencias significativas para este parámetro, siendo mayores los rendimientos porcentuales encontrados para las dietas con menores densidades energéticas.

Tabla 6. Efecto de la densidad de nutrientes sobre el desempeño productivo de pollos de carne de 22 a 42 días.

TRATAMIENTOS Kcal/Kg	PESO VIVO ^{oo} (g)	GANANCIA DE PESO ^{oo} (g)	CONSUMO DE ALIMENTO ^{oo} (g)	CONVERSIÓN ALIMENTICIA ^{oo}
2900	2555.56b	1806.66a	3693.92a	2.05a
3000	2778.75ab	1919.80a	3880.81a	2.02a
3100	2894.63a	1979.53a	3788.43a	1.92a
3200	2926.44a	1997.94a	3672.95a	1.85a
3300	2939.13a	1997.38a	3525.97a	1.77a

^{oo} Promedio de cuatro repeticiones de 5 aves por tratamiento

Promedios en la misma columna con diferente superíndice indican diferencias significativas (p < 0.05)

Máximo biológico y económico de la densidad de nutrientes (Kcal EM/Kg dieta) en la etapa de inicio, crecimiento

A fin de encontrar el comportamiento en la respuesta de los animales, se analizó la ganancia de peso con respecto a los tratamientos evaluados en el presente estudio, considerando la etapa de inicio, crecimiento, los resultados del análisis de regresión se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Estimación del requerimiento de densidad de nutrientes expresada en EM (Kcal/Kg) de dieta, para alcanzar el máximo biológico.

Etapas productivas en días	Derivada de la Ecuación	Requerimiento de EM (Kcal/Kg)	Máxima ganancia de peso (g)
(1 - 21)	$Y' = -0.003320714 X' + 10.7511643$	3237.60	901.38
(22 - 42)	$Y' = -0.00383886 X' + 12.3600371$	3219.72	2005.14

Como se puede apreciar en las Tablas 7 y 8, los requerimientos de densidad energética para lograr los máximos biológicos y económicos son diferentes en ambas etapas productivas lo cual se ve respaldado por Fisher, Morris y Jenning. (1973) y Guevara, (2004) quienes indican que los requerimientos de los animales varían dependiendo del costo de los nutrientes y del precio del producto.

Pesti, Arres y Miller (1986) indican que con la programación cuadrática se puede determinar los niveles más rentables de proteína y energía según las variaciones en los precios de los ingredientes del alimento. Además, Gonzalez-Alcorta, Dorfman y Pesti. (1994) señalan que establecer lo niveles de proteína cruda y energía ante diferentes panoramas del mercado en lo

referente a los precios de los insumos y del producto, podría aumentar las utilidades en comparación con los niveles fijo que se encuentran en las tablas nutricionales. Guevara (2004) utilizando la densidad de nutrientes en la formulación de alimentos, indicó que la programación no lineal se puede utilizar para definir la combinación óptima de alimentos que maximiza el margen sobre el costo de alimentación lo cual coincide con lo encontrado por (Sterling, Vedenov, Pesti y Bakalli. 2005; Cerrate y Waldroup, 2009). Es muy importante señalar además que la NRC (1994) declaró que sería deseable tener modelos matemáticos disponibles que faciliten la selección de los niveles de nutrientes más económicos.

Tabla 8. Estimación del requerimiento de densidad de nutrientes expresada en EM (Kcal/Kg) de dieta para alcanzar el máximo económico

Etapa productiva en días	Derivada de la Ecuación	Requerimiento de EM (Kcal/Kg)	Máximo margen (S/.)
(1 - 21)	$Y' = -0.000017714 X' + 0.0564343$	3185.81	2.43
(22 - 42)	$Y' = -0.00002 X' + 0.06304$	3152.00	4.45

Efecto de los diferentes niveles de densidad de nutrientes en la utilización de la energía

La utilización de la energía con respecto a las diferentes densidades de nutrientes se muestra en las (Tablas 9 y 10) donde se pueden observar que para la etapa de inicio y crecimiento, la grasa retenida presentó una tendencia al alza con respecto al aumento de los niveles de densidad de nutrientes de la dieta. Farrell (1974) encontró un efecto significativo en el porcentaje de grasa en la carcasa al incrementarse la energía en la dieta, sugiriendo que conforme la tasa de crecimiento se incrementa, la cantidad de grasa y contenido de energía de la carcasa aumentan.

El porcentaje de energía retenida como proteína de la energía metabolizable, presentó un promedio de 18.73 ± 2.45 % para la etapa de inicio y de 19.49 ± 1.46 % para la etapa de crecimiento. Esta poca variación podría significar que, en los pollos bajo las condiciones estudiadas, la retención proteica con respecto al consumo de energía, mantiene en una proporción constante. El comportamiento antes expuesto se ve justificado si se consideran los porcentajes de retención proteica con respecto a la energía metabolizable ingerida presentados por Kalinowski (2012) quien reporta para ambas etapas un valor de 19 % para dietas de 2900

Kcal EM/Kg dieta y de 21 % para dietas de 3200 Kcal EM/Kg dieta comparados a los porcentajes de retención proteica encontrados en el presente estudio que fueron de 16 y 18 % con dietas de 2900 Kcal EM/Kg dieta y de 19 y 20 % con dietas de 3200 Kcal EM/Kg dieta para inicio y crecimiento respectivamente.

La energía retenida total no mostró una tendencia clara con el incremento de la densidad de nutrientes para las etapas de inicio y crecimiento, esto pudo deberse a influencia por el muestreo ya que en el presente estudio se asumió que la composición corporal de los pollos sacrificados y analizados al inicio y al final del ensayo eran representativos de cada unidad experimental, no haciendo un análisis de todos los animales.

Las eficiencias de utilización (k relativa) de la energía metabolizable estimadas de los datos de Guillaume, Scheele y Kussaibati (1979) presentaron valores cercanos a los reportados por Thorbek y Jensen (1985) que van de 65 a 75 % en pollos de 10 a 52 días de edad usando la técnica de análisis de carcasa.

Tabla 9. Utilización de la energía en la etapa de inicio.

METABOLISMO ENERGÉTICO	TRATAMIENTOS EM EN KCAL/Kg				
	2900	3000	3100	3200	3300
W (kg)	0.396	0.450	0.479	0.486	0.491
W ^{0.75}	0.4988	0.5495	0.5756	0.5818	0.5867
Ganancia de peso (g/d)	33.7	38.9	41.6	42.2	42.9
Consumo (Kg)	0.0597	0.0601	0.0582	0.0560	0.0521
Consumo de EM (Kcal)	173.13	180.30	180.42	179.20	171.93
k	0.53	0.58	0.72	0.67	0.72
EN (Kcal)	91.69	104.03	129.00	120.39	123.65
ER (grasa)	21.62	27.00	28.63	28.80	27.34
ER (proteína)	28.19	31.89	35.39	34.70	35.66
ER (Kcal)	49.81	58.89	64.02	63.50	63.00
ENm	41.88	45.14	64.98	56.89	60.65
ENm/W ^{0.75}	83.97	82.14	112.89	97.78	103.38
PC	123.32	121.41	116.40	115.70	108.93
EMm	79.07	78.23	90.88	84.68	84.33
EMm/W ^{0.75}	158.54	142.36	157.89	145.54	143.74
ENp	49.81	58.89	64.02	63.50	63.00
IC	0.47	0.42	0.28	0.33	0.28

W = peso corporal promedio en kilos del inicio y del final de la fase ((peso final + peso inicial)/2); Ganancia de peso = ((peso final – peso inicial)/21); Consumo = consumo del periodo Kg/21; k = relativa calculada a partir de la asumida para la dieta de 3100 Kcal/Kg según Guillaume et al. (1979); EN = ENm + ENp; ER (grasa) = porcentaje de grasa de la ganancia de peso * 9.35; ER (proteína) = porcentaje de proteína de la ganancia de peso * 5.66; ER = ER (g) + ER (p); ENm = consumo de EM * k – ER; PC = consumo de EM – ER; EMm = ENm / k; ENp = ER; IC = 1 - k

El incremento calórico mostró una tendencia a disminuir a medida que aumentó la densidad de nutrientes de las dietas. Farrell (1974) señala que el requerimiento de energía para la actividad de la molleja y propulsión del alimento en el tracto digestivo podría incrementar sustancialmente cuando los pollos consumen mayor cantidad de una dieta con baja energía por lo que la eficiencia de utilización de la energía metabolizable de esta dieta podría ser reducida.

La energía metabolizable para mantenimiento encontrada en el presente estudio en la etapa de inicio y crecimiento, se encuentran para la mayoría de los tratamientos muy cercanas al requerimiento reportado por Robbins y Ballew (1984) de 153 ± 5.6 Kcal EM/Kg^{0.75} para pollos de 8 a 22 días y de 133 ± 4.2 Kcal EM/Kg^{0.75} para pollos de 28 a 42 días. Los valores menores encontrados en la etapa de crecimiento con respecto a la etapa de inicio se deben básicamente a que los pollos presentan un ritmo acelerado de crecimiento sobre todo en la etapa de inicio y son mucho más eficientes en la utilización de la energía, lo cual podría resultar en un mayor requerimiento para mantenimiento en pollos jóvenes comparado a de adultos.

Tabla 10. Utilización de la energía en la etapa de crecimiento.

METABOLISMO ENERGÉTICO	TRATAMIENTOS EM EN KCAL/Kg				
	2900	3000	3100	3200	3300
W (kg)	1.652	1.819	1.905	1.927	1.940
W ^{0.75}	1.4573	1.5662	1.6214	1.6358	1.6441
Ganancia de peso (g/d)	86.0	91.4	94.3	95.1	95.1
Consumo (Kg)	0.1759	0.1848	0.1804	0.1749	0.1679
Consumo de EM (Kcal)	510.11	554.40	559.24	559.68	554.07
k	0.53	0.58	0.72	0.67	0.72
EN (Kcal)	270.15	319.89	399.86	375.99	398.49
ER (grasa)	81.40	108.80	93.18	111.28	103.89
ER (proteína)	92.00	109.51	102.66	115.95	114.09
ER (Kcal)	173.40	218.31	195.85	227.23	217.98
ENm	96.75	101.58	204.01	148.76	180.51
ENm/W ^{0.75}	66.39	64.86	125.82	90.94	109.79
PC	336.71	336.09	363.39	332.45	336.09
EMm	182.69	176.04	285.32	221.43	250.98
EMm/W ^{0.75}	125.36	112.40	175.97	135.36	152.65
ENp	173.40	218.31	195.85	227.23	217.98
IC	0.47	0.42	0,28	0.33	0.28

W = peso corporal promedio en kilos del inicio y del final de la fase ((peso final + peso inicial)/2); Ganancia de peso = ((peso final – peso inicial)/21; Consumo = consumo del periodo Kg/21; k = relativa calculada a partir de la asumida para la dieta de 3100 Kcal/Kg según Guillaume et al. (1979); EN = ENm + ENp; ER (grasa) = porcentaje de grasa de la ganancia de peso * 9.35; ER (proteína) = porcentaje de proteína de la ganancia de peso * 5.66; ER = ER (g) + ER (p); ENm = consumo de EM * k – ER; PC = consumo de EM – ER; EMm = ENm / k; ENp = ER; IC = 1 - k

CONCLUSIONES

- Los niveles de mayor densidad de nutrientes tienden a mejorar el peso vivo, ganancia de peso, consumo y conversión alimenticia, siendo esta mejora más significativa en la etapa de inicio en comparación con la de crecimiento.
- El rendimiento en canal no presenta variaciones importantes ante los niveles de densidad de nutrientes.
- La formulación en base al máximo económico podría sustituir a la tradicional basada en el máximo biológico, logrando con esto que la producción sea más rentable al contemplar los rendimientos decrecientes que presentan los animales como respuesta a la inclusión de los nutrientes de la dieta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cerrate, S., y Waldroup, P. (2009). Maximum profit feed formulation of broilers. *International Journal of Poultry Science*, 8(3), 205-228.
- Classen, H., y Campbell, G. (1990). Improvement of feed utilization through the use of enzyme products. Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium. University of Sidney. Sidney. Australia.
- Farrel, D. (1974). General principles and assumptions of calorimetry. Energy requirements of poultry. *British Poultry Science*, 1-23.
- Fisher, C., Morris, T., y Jennings, S. (1973). A model of description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. *Poultry Science*, 14, 469-484.
- González-Alcorta, H., Dorfman, J., y Pesti, G. (1994). Maximizing profit in broiler production as price change: A simple approximation with practical value. *Agribusiness*, 10, 389-399.
- Guevara, V. (2017). Nutrición avícola e innovación. Actualidad Avipecuaria. Abril, 2017. Lima, Perú.
- Guevara, V. (2004). Use of nonlinear programming to optimize performance response to energy density in broiler feed formulation. *Poultry Science*, 83,147-151.

- Guillaume, J., Scheele, C., Kussaibati, R. (1979). The effects of dietary protein, carbohydrates, fat and fiber on the net availability of metabolizable energy in the chick. Energy Metabolism. I.N.R.A. France.
- Kalinowski, J., (2012). Energía en la nutrición del pollo de carne. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/87abelardo/energia-broiler>
- Leeson, S y Summers, J. (2001). Nutrition of the chicken. 4^a edition. Department of Animal – Poultry Science. University of Guelph. Ontario. Canada.
- National Research Council. (1994). Nutrient Requirements of Poultry. National Academy of Sciences. U.S.A.
- Pesti, G., Arres, R., y Miller, B. (1986). El uso de la respuesta de crecimiento cuadrática para concentraciones de proteína y de energía alimentaria en la formulación del alimento de costo mínimo. Pavipollo. Sci., 64, 1040-1051.
- Quiroz, V. (1991). Validación de los modelos de predicción de la energía metabolizable de dietas de aves a partir de análisis proximal (tesis de grado de Magister Scientiae en Nutrición). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Robbins, K. y Ballew, K. (1984). Utilization of energy for maintenance and gain in broilers and leghorns al two ages. Poultry Science, 63, 1419-1424.
- Rodríguez, J. (2013). Efecto de la variación de densidades nutricionales sobre los parámetros productivos en pollos de carne en Quillabamba-La Convención (Selva Alta) (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Antonia Abad del Cusco. Cusco, Perú.
- Sakomura, N., Lomgo, F., Oviedo-Rondon, E., Boa-Viagem, C., y Ferraudo, A. (2005). Modeling energy utilization and growth parameter description for broiler chickens. Poultry Science, 84, 1363-1369.
- Saleh, E., Watkins, S., Waldroup, A., y Waldroup, P. (2004). Effects of dietary density on performance and carcass quality of male broilers growth for further processing, Poultry Science, 3 (1), 1-10.
- Salmmon, R. y O´neil, J. (1973). The effect of the level and source and of the changes of sources of dietary fat on the fatty acid composition of the depot fat and the thigh and breast meat of turkeys as related to age. Poultry Science, 52, 302-314.

Sterling, K., Vedenov, G., Pesti, G., y Bakalli, R. (2005). Economically optimal dietary crude protein and lysine levels for starting broiler chicks. *Poultry Sci*, 84, 29-36.

Thorbek, G., y Jensen, J. (1985). Influences of ambient temperature 28°C versus 12°C on energy metabolism, chemical composition and calcium-phosphorus metabolism in broilers. Report from the National Institute of Animal Science. 591, 65.

Waldroup, P., Mitchell, R., Payne, J., y Johnson, Z. (1976). Characterization of the response of broiler chickens to diets varying in nutrient density content. *Poultry Sci*, 55, 130-145

Williams, M. (2001). Variación en los parámetros de crecimiento en pollos de carne con diferentes densidades energéticas en la dieta (tesis de grado de Magister Scientiae en Nutrición). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.