

Glicerina cruda, restricción alimenticia y suplementación con aminogut® en pollos de engorde

Avellaneda, Y.¹; Afanador, G.² y Ariza-Nieto, C.²

¹Corporación colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. Mosquera. Colombia.

²Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional. Bogotá. Colombia.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Crecimiento compensatorio.
Desempeño productivo.
Vellosidades intestinales.

ADDITIONAL KEYWORDS

Compensatory growth.
Performance.
Intestinal villi.

INFORMATION

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 15.03.2019
Aceptado/Accepted: 18.03.2022
On-line: 15.04.2022
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
yavellaneda@corpoica.org.co

RESUMEN

El efecto de la suplementación con glutamina y glutamato (aminogut®) durante un periodo de restricción energética en la fase de iniciación y el uso de dietas formuladas con glicerina cruda durante la fase de engorde fue evaluado en pollos de engorde. Se utilizaron 880 pollos de engorde de la estirpe Ross, que fueron sorteados a uno de los siguientes tratamientos: alimentación a voluntad o restricción energética del 15%, del día 4 al 21 de edad, usando dietas con o sin inclusión de aminogut®. Al día 21 de edad se evaluó el desarrollo de la microestructura intestinal. Al día 22 de edad, los pollos fueron nuevamente aleatorizados a uno de los siguientes tratamientos 0, 2.5, 5.0 o 7.5% de glicerina cruda. Semanalmente se midió el peso corporal y los residuales de alimento para calcular el consumo y la conversión alimenticia. La información hasta el día 21 de edad se analizó como un diseño factorial 2x2 y la información de la fase de engorde como un diseño de parcelas divididas. La utilización de aminogut® incrementó ($P < 0.05$) la longitud de las vellosidades del duodeno en 114 μm y mejoró la respuesta productiva en esta fase (+1.2 g/d en ganancia de peso y -0.04 g/g en conversión alimenticia). Los pollos de engorde restringidos pesaron al día 42 de edad 58 g menos ($p < 0.05$) que aquellos alimentados a voluntad, pero registraron una menor ($P < 0.05$) conversión alimenticia (-0.05 g/g) y un menor ($p < 0.05$) valor de relación ventrículo derecho a peso ventricular total (VD/PTV: -0.05). La inclusión de glicerina cruda durante la fase de engorde disminuyó ($P < 0.05$) la relación VD/PTV en 0.05, mientras que la ganancia de peso del grupo que recibió 5.0% de glicerina cruda comparada con el control fue mayor ($P < 0.05$) y se tradujo en un mayor peso final (+52 g). La utilización de un aditivo con glutamina y glutamato durante una restricción alimenticia y el uso de glicerina cruda al 5% mejora el desempeño de pollos de engorde.

Crude glycerin, feed restriction and supplementation with aminogut® in broilers

SUMMARY

Supplementation effect of glutamine and glutamate (aminogut®) during energetic restriction in the initiation phase and glycerin formulated diets during fattening phase were evaluated in broilers. Eight hundred broilers from Ross breed were distributed to one of the following treatments: ad libitum feeding or 15% energy restriction from 4 to 21 days of age, using diets with or without aminogut® inclusion. At day 21 of age the development of intestinal microstructure was evaluated. At day 22 of age, chickens were again randomized to one of the following crude glycerin treatments 0, 2.5, 5.0 or 7.5%. Weekly body weight and feed waste were measured to calculate consumption and feed conversion. Information up to 21 days of age was analyzed as a 2x2 factorial design and fattening phase information as a divided plots design. The use of aminogut® increased ($P < 0.05$) duodenum villi length by 114 μm and improved productive response in initial phase (+1.2 g/d in weight gain and -0.04 g/g in feed gain ratio). The restricted broilers weighed at day 42 of age 58 g less ($p < 0.05$) than those fed ad libitum but recorded lower ($P < 0.05$) feed conversion (-0.05 g / g) and a lower ($p < 0.05$) right ventricular to total ventricular weight ratio value (RV/TV: -0.05). Crude glycerin inclusion during fattening phase decreased ($P < 0.05$) the RV/TV ratio by 0.05, while weight gain of 5.0% crude glycerin group compared to the control was higher ($P < 0.05$) and resulted in higher final weight (+52 g). Use an additive with glutamine and glutamate during feed restriction and 5% crude glycerin improves the performance of broilers.

INTRODUCCIÓN

El sector avícola a nivel global ha tenido un crecimiento significativo en los últimos años (Mottet y Tempio, 2017, p. 245; Alexandratos y Bruinsma, 2012,

p. 74), impulsado por el consumo de carne de pollo y huevo, productos percibidos por los consumidores como fuentes de proteína de alta calidad y bajo costo (Zaheer, 2015, pp. 1211-14). Es importante reconocer

que la competitividad y sostenibilidad del sector avícola esta correlacionada con el precio de la dieta (Altahat et al., 2012, p. 112) y algunos autores reconocen que la energía disponible en el sistema alimentación es el componente que afecta en mayor cuantía la dinámica de desarrollo sectorial (Classen 2017, p. 14). De otra parte, los sistemas de producción de pollo de engorde ubicados en condiciones de altura utilizan esquemas de restricción alimenticia para disminuir la incidencia de ascitis y mejorar la eficiencia productiva de las estirpes modernas que poseen alto potencial de crecimiento (Uribe 2011).

La restricción alimenticia es considerada de acuerdo algunos estudios como una estrategia de alimentación que incrementa la productividad de la industria avícola (Sahraei 2013, p. 202), al mejorar las tasas de crecimiento (Govaerts et al. 2000, p. 359; Santoso, 2002, p. 1322), hacer más eficiente el uso del alimento (Plavnik y Hurwitz, 1991, p. 348; Tůmová et al. 2002, p. 426), promover la actividad física para evitar problemas de piernas (Nielsen et al. 2003, p. 317) y mejorar la calidad de la canal (Yang et al. 2009, p. 224; Omosebi et al. 2014, p. 616). En contraste, otras investigaciones realizadas no permiten ratificar estos beneficios, ya que el peso corporal final de los pollos de engorde restringidos fue menor al de las aves del grupo control, independiente si se realiza una restricción cuantitativa (Larivière et al. 2009, p. 685), o el nivel de alimentación cubre exclusivamente el mantenimiento (Mohebodini et al. 2009, p. 2072), o la alimentación sostiene un 50% de la ganancia de peso corporal en machos (Ozkan et al. 2010, p. 979), o si se utilizan diferentes comidas en el día (Azis et al. 2011, p. 52) o si se utilizan dieta diluidas (Fanooci y Torky 2010, 279). Este volumen importante de investigaciones sugeriría que las estirpes modernas de pollos de engorde, altamente mejoradas por su capacidad para retener proteína, son incapaces de realizar crecimiento compensatorio o requieren en particular de una estrategia específica alimentación para lograr esta respuesta compensatoria en crecimiento durante un ciclo comercial de producción.

El incremento en la producción de glicerina proveniente de la industria del biodiesel (Thompson y He 2006, p. 261) ha influido para que disminuya su precio en el mercado (Yang et al. 2012, p. 1) y ha abierto la posibilidad de uso como recurso energético alternativo en los sistemas de alimentación animal (Beserra et al. 2016, p. 264; Madrid et al. 2013; Silva et al. 2014). El glicerol en monogástricos es absorbido a nivel intestinal casi en su totalidad, a través de absorción pasiva, debido al bajo peso molecular (Kato et al. 2004, pp. 1827-30; Emmanuel et al. 1983, p. 566). La dinámica nutricional del glicerol genera un alto valor de energía efectiva (Emmans, 1994, p. 804) dado el bajo incremento calórico que genera que se genera durante su utilización.

La suplementación de dietas para pollos de engorde con aminoácidos funcionales específicos ha sido investigada (Khajali et al. 2014; Murakami et al. 2012; Porto et al. 2017), pero el mayor interés se ha dado sobre la glutamina, considerado tradicionalmente en los libros de texto como un aminoácido no -esencial, pero que en la actualidad se categoriza como un nutriente condicionalmente esencial en animales bajo condiciones de

estrés (Dai et al. 2011, p. 58). En este sentido, se ha demostrado que la suplementación con glutamina mejora el desarrollo la mucosa intestinal (Jazideh et al. 2014, p. 268; Olubodun et al. 2015, p. 27) y propicia el aumento en el tamaño del timo y los niveles plasmáticos de IgA (Bartell y Batal 2007, p. 1944), lo que permite concluir que la inclusión de este aminoácido puede ayudar a mejorar la respuesta productiva de pollos de engorde bajo diferentes sistemas de alimentación.

En este estudio se evaluó la inclusión de una mezcla de aminoácidos funcionales (Aminogut®, aditivo con altas concentraciones de L-glutamina y L-glutamato) en las dietas de iniciación de pollos de engorde restringidos energéticamente y la posterior inclusión de glicerina cruda de aceite de palma en las dietas de engorde sobre la respuesta productiva en condiciones de altitud.

MATERIALES Y MÉTODOS

UNIDADES EXPERIMENTALES

Para este experimento se utilizaron 880 pollos de engorde de la estirpe ROSS, de un día de edad. La cantidad inicial de repeticiones por tratamiento fue de 20, constituida por corrales con 11 aves (24 pollos/m²). Posteriormente, al día 21, se disminuyó el número de repeticiones para cada combinación experimental a 5, ajustando la densidad de los pollos a 13.3 pollos/m².

AVAL DE COMITÉ DE BIOÉTICA

Los protocolos de manejo animal fueron avalados por el comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (acta 05).

UBICACIÓN

Este estudio se realizó en la Unidad de Avicultura del CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, ubicada a 2516 msnm (4.685222 -74.204722).

GLICERINA

En este estudio se utilizó glicerina cruda de aceite de palma (3547 kcal/kg de EB, 8.2% de humedad, 84.2% de glicerol, 4.5% de cenizas y 19.7 ppm de metanol), en las dietas ofrecidas durante el periodo de engorde y finalización. Se usó un valor de 3340 kcal de EMAn/kg, obtenido en un experimento previo realizado en la misma unidad.

DIETAS EXPERIMENTALES

Se diseñaron dos tipos de dietas, una con concentraciones normales de nutrientes no-calóricos para suministrar a los pollos no restringidos y una concentrada en nutrientes no-calóricos, para los pollos que se restringieron. El objetivo de esta formulación fue que, al restringir el consumo de alimento en el segundo grupo, solo se afectara la ingesta de energía. Adicionalmente, dentro de cada grupo de dietas se incluyó o no Aminogut® al 1% (Tabla I). Después del periodo de restricción, los pollos de cada combinación experimental fueron asignados a uno de los siguientes tratamientos: dieta con 0.0, 2.5, 5.0 o 7.5% de glicerina

Tabla I. Dietas experimentales de iniciación usadas para determinar el efecto de la suplementación con Aminogut® durante un periodo de restricción energética en pollos (Experimental starter diets used to determine the effect of Aminogut® supplementation during a period of energy restriction in chickens).

Ingredientes	Dietas a voluntad		Dietas restricción	
	Control	Aminogut ®	Control	Aminogut ®
Maíz	58.20	58.14	48.40	48.13
Harina de arroz	3.00	3.00	2.93	3.00
Soya cocida	0.00	0.00	10.00	10.00
Torta de soya 45	33.00	31.6	32.04	31.11
Harina de pescado	1.50	1.50	1.50	1.50
Sal (NaCl)	0.30	0.30	0.35	0.35
Bicarbonato de sodio	0.30	0.33	0.25	0.31
Carbonato de Ca	1.00	1.13	1.14	1.14
Fosfato monobásico	1.40	1.73	1.86	1.87
DL-Metionina	0.20	0.31	0.41	0.42
HCL Lisina	0.16	0.21	0.23	0.26
L-Treonina	0.06	0.08	0.11	0.13
Aminogut ®	0.00	1.00	0.00	1.00
Cloruro de colina 60%	0.07	0.07	0.08	0.08
Premezcla vit-min ¹	0.60	0.60	0.70	0.70
Composición calculada				
EM (Mcal/Kg)	2.950	2.950	2.950	2.950
PC (%)	21.3	22.0	24.68	24.88
Ca (%)	1.00	1.10	1.17	1.17
P disponible (%)	0.50	0.55	0.59	0.59
Lisina digestible (%)	1.21	1.21	1.41	1.41
Met+cis digestible (%)	0.86	0.86	1.00	1.00
Costo (USD/Kg)	0.402	0.422	0.430	0.451

¹ Premezcla de vitaminas y minerales que aporta lo siguiente por kilogramo de dieta: vitamina A, 8500 IU; vitamina D3, 3200 IU; vitamina E, 32 IU; vitamina K3, 2.0 mg; tiamina, 4.0 mg; riboflavina, 5.5 mg; niacina, 42 mg; ácido pantoténico, 15 mg; piridoxina, 4.2 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 1.1 mg; vitamina B12, 0.02 mg; colina, 11 mg; Zn, 80 mg; Mn, 70 mg; Fe, 55 mg; Cu, 12mg;l, 1.1 mg; Se, 0.4 mg.

cruda durante el periodo de engorde (Tabla II). Las dietas fueron constituidas básicamente por soya y maíz y se suministraron en harina. Se tomó una muestra de cada dieta para determinar las concentraciones de nitrógeno, energía bruta y cenizas en el laboratorio de Nutrición Animal C.I. Tibaitatá, de Agrosavia.

INSTALACIONES Y MANEJO ANIMAL

Este experimento se llevó a cabo en corrales de baterías verticales, cada uno dotado con criadora eléctrica, comedero lateral y bebedero automático. La temperatura inicial fue de 34°C y se manejó una reducción semanal de 3°C, terminando en una temperatura de 18°C. La iluminación para la primera semana fue continua y a partir de la segunda semana se contó con 16 horas de luz (4 iluminación artificial) y 8 de oscuridad.

PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Los pollos de engorde, durante los cuatro primeros días del ciclo tuvieron acceso sin restricción al alimento. Posteriormente, los grupos de animales restringidos se les ofreció el 85% del consumo que reportó una

simulación con datos históricos de la unidad, el cual se ajustó diariamente, según el nivel promedio de alimento residual que se midió en los comederos. Para determinar el efecto de la restricción alimenticia y la suplementación con aminoácidos funcionales sobre el desarrollo de la mucosa intestinal, se tomó, al día 21 de edad, un pollo de engorde con peso promedio de cada corral, de cinco de las 20 repeticiones por tratamiento. Los animales se sacrificaron por dislocación cervical, se removió el tracto gastrointestinal completo y se colectaron muestras de 2 cm de los segmentos del intestino delgado (ápice del duodeno, mitad del yeyuno y mitad del íleon) que se fijaron en una solución de formalina buffer neutral. Posteriormente, las muestras fueron remitidas a un laboratorio especializado en donde se fijaron, se prepararon laminas teñidas con hematoxilina eosina y se leyeron en un microscopio óptico (Nico) acoplado a un analizador de imágenes, tomando las siguientes dimensiones: altura de la vellosidad, profundidad de la cripta y amplitud de la vellosidad.

Tabla II. Dietas experimentales usadas para determinar el efecto de la inclusión de glicerina durante el periodo de realimentación en pollos de engorde restringidos (Experimental diets used to determine the effect of glycerin inclusion during the refeeding period in restricted broilers).

Ingredientes	Control	Glicerina 2.5	Glicerina 5.0	Glicerina 7.5
Maíz	64.85	61.68	58.53	55.35
Glicerina cruda	0.00	2.50	5.00	7.50
Soya cocida	12.00	12.00	12.00	12.00
Torta de soya 45	17.17	17.71	18.24	18.78
Harina de pescado	1.50	1.50	1.50	1.50
Aceite de soya	0.52	0.66	0.80	0.94
Sal (NaCl)	0.30	0.30	0.30	0.30
Bicarbonato de sodio	0.52	0.51	0.49	0.48
Carbonato de Ca	0.97	0.95	0.94	0.92
Fosfato monobásico	1.15	1.18	1.20	1.23
DL-Metionina	0.18	0.18	0.18	0.19
HCl Lisina	0.14	0.13	0.12	0.11
L-Treonina	0.03	0.03	0.03	0.03
Cloruro de colina 60%	0.07	0.07	0.07	0.07
Premezcla vit-min ¹	0.60	0.60	0.60	0.60
Composición calculada				
EM (Mcal/Kg)	3.100	3.100	3.100	3.100
PC (%)	19.5	19.5	19.5	19.5
Ca (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
P disponible (%)	0.46	0.46	0.46	0.46
Lisina digestible (%)	1.00	1.00	1.00	1.00
Mat+cis digestible (%)	0.72	0.72	0.72	0.72
Costo (USD/Kg)	0.399	0.398	0.397	0.396

¹ Premezcla de vitaminas y minerales que aporta lo siguiente por kilogramo de dieta: vitamina A, 8000 IU; vitamina D3, 2500 IU; vitamina E, 30 IU; vitamina K3, 2.0 mg; tiamina, 1.5 mg; riboflavina, 5.0 mg; niacina, 24 mg; ácido pantoténico, 8 mg; piridoxina, 2.0 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 0.8 mg; vitamina B12, 0.01 mg; colina, 10 mg; Zn, 60 mg; Mn, 64 mg; Fe, 44 mg; Cu, 9 mg; I, 0.9 mg; Se, 0.3 mg.

Después del día 21 de edad, los pollos de engorde se asignaron a los tratamientos con glicerina. Durante el experimento se realizaron pesajes semanales del grupo de pollos de cada repetición y se midió el residual de alimento. Al día 42 de edad se tomaron dos pollos, con el peso promedio de la repetición, y se beneficiaron en una línea de sacrificio comercial, para reportar el rendimiento en canal caliente y el peso de cada una de las fracciones.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La información correspondiente a la fase de iniciación se analizó a través de un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2, dos niveles de oferta energética y con o sin suplementación de Aminogut®. Las variables evaluadas durante la fase de engorde se analizaron como un efecto de arrastre de los tratamientos iniciales y un efecto directo del nivel de glicerina utilizada, correspondiendo así, a un diseño de parcelas divididas, con la interacción del nivel de la energía ofertada y la suplementación con Aminogut®, como parcela principal, y la inclusión de glicerina como la subparcela. Se compararon las medias para los efectos principales con la prueba de TUKEY de SAS® y las

medias ajustadas para la interacción con la opción PDIF de SAS®. Adicionalmente, se realizaron contrastes para evaluar el tipo de efecto del nivel de inclusión de glicerina cruda en las dietas sobre el desempeño productivo. La información fue procesada a través del procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS®, versión 9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La suplementación con una mezcla de glutamina y glutamato (Aminogut®) permitió que los pollos de engorde restringidos mostraran mayor ($p < 0.05$) ganancia de peso y menor ($p < 0.05$) conversión alimenticia durante el periodo de restricción (Tabla III). Cuando se evaluó los efectos principales, se encontró que los pollos restringidos ganaron 3.2 g/d menos ($p < 0.05$) de peso y registraron una diferencia ($p < 0.05$) positiva en conversión alimenticia (0.07 g/g) frente a aquellos alimentados a voluntad. Además, los pollos que recibieron Aminogut®, ganaron 2.6% más de peso y consumieron 0.03 g menos, por cada gramo de peso ganado, frente a aquellos que no fueron suplementados.

Tabla III. Desempeño de pollos de engorde restringidos y suplementados con Aminogut® durante la fase de iniciación (Performance of restricted broiler chickens supplemented with Aminogut® during the starter phase).

Consumo	Aminogut® (%)	Ganancia de peso (g/d)	Conversión alimenticia (g/g)	Supervivencia (%)
A Voluntad	0.0	32.1	1.43	98.5
	1.0	32.3	1.42	96.0
Restringido	0.0	28.4	1.38	96.0
	1.0	29.6	1.32	97.0
EEM		0.24	0.011	1.8
Efecto ¹				
Consumo		***	***	NS
Aminogut®		*	*	NS
Interacción		*	*	NS

¹. *: <0.05; **: <0.001; NS: No significativo

La inclusión de aminoácidos funcionales (Aminogut®) fue evaluada previamente durante el crecimiento temprano en pollos de engorde en condiciones de altitud obteniendo como resultado un incremento en el desempeño productivo de las aves (Avellaneda et al. 2008, p. 80). Otros trabajos, han reportado una respuesta favorable cuando se incluyó glutamina al 1% en pollos de engorde durante la fase de iniciación (Bartell y Batal, 2007, p. 1943; Jazideh et al. 2014, p. 267; Soltan, 2009, p. 64). La respuesta positiva al uso de glutamina y/o glutamato está relacionada con el incremento de sustratos energéticos, que promueven la proliferación de los enterocitos (Wu 1998, p. 1249), como fuente de nitrógeno, para la síntesis de nucleótidos (Newsholme et al. 2003, p. 3) o como regulador metabólico, incrementando la síntesis de proteína (Lobley et al. 2001, p. 2525S).

Estudios que relacionen el desempeño de pollos de engorde con el uso de glutamina o glutamato, durante un periodo de restricción alimenticia, no han sido documentados. Sin embargo, en la literatura se encuentran trabajos que evalúan el retraso al acceso de alimento (ayunos de 24 horas) en pollos de un día,

encontrando respuestas favorables a la suplementación con glutamina, (Gilani et al. 2018, p. 975; Shakeri et al. 2016, p. 126) o con Aminogut® (Zulkifli et al. 2016, p. 2759). Por otro lado, Pinheiro et al. (2004, p. 1548) reporta que al suplementar con una mezcla enzimática (proteasas y amilasas) en pollos de engorde restringidos del día 7 al 14 y Olukomaiya et al. (2015, p. 68) al adicionar 150 ppm de ácido cítrico en el alimento de pollos de engorde restringidos durante tres días por semana del día 15 al 35 de edad, encontraron que la suplementación durante estas fases presentó un efecto positivo sobre la respuesta productiva.

El consumo de energía y la suplementación con Aminogut® durante el periodo de restricción, modificó (P<0.05) la longitud y el área superficial de las vellosidades del duodeno (Tabla IV). Las vellosidades de los pollos alimentados a voluntad midieron 126 µm más (p <0.05) y tuvieron 0.04 mm² más de área superficial, comparado con aquellos que se restringieron. Además, las vellosidades de los pollos que consumieron Aminogut® fueron 114 µm más largas (p <0.05) y tuvieron 0.12 mm² más de superficie que las de aquellos que no fueron suplementados con este aditivo.

Tabla IV. Desarrollo de la microestructura intestinal de pollos de engorde restringidos en energía y suplementados con Aminogut® durante la fase de iniciación (Gut microstructure development of energy-restricted broilers supplemented with Aminogut® during the starter phase).

Segmento/parámetro 0% Aminogut	Restricción		A voluntad		EEM Consumo	Efecto P(<0.05)			
	1% Aminogut	0% Aminogut	1% Aminogut			Aminogut	Interacción		
Duodeno	LV (µm)	1018	1184	1196	1259	31.2	*	*	NS
	PC (µm)	254	267	243	235	11.2	NS	NS	NS
	AS (mm ²)	0.36	0.43	0.41	0.46	0.023	*	*	NS
Yeyuno	LV (µm)	1002	1060	963	947	26.1	NS	NS	NS
	PC (µm)	204	199	201	200	9.6	NS	NS	NS
	AS (mm ²)	0.27	0.30	0.26	0.25	0.015	NS	NS	NS
Íleon	LV (µm)	601	623	624	660	30.1	NS	NS	NS
	PC (µm)	120	126	120	114	4.2	NS	NS	NS
	AS (mm ²)	0.13	0.12	0.13	0.13	0.010	NS	NS	NS

LV: Longitud de las vellosidades; PC: Profundidad de las criptas; AS: Área superficial de las vellosidades. *: <0.05; NS: No significativo

La literatura reporta un incremento en la microestructura intestinal al incluir glutamina y/o glutamato en la dieta, lo que se refleja en la mayor longitud de las vellosidades (Luketi et al. 2016, p. 325; Moghaddam y Alizadeh-Ghamsari 2013, pp. 4-5; Olubodun et al. 2016, p. 27), y puede estar relacionado con la mayor eficiencia productiva, como se encontró en el presente trabajo. Por otro lado, varios trabajos han demostrado que la restricción alimenticia altera la funcionalidad del tracto gastrointestinal, al disminuir el peso relativo del yeyuno y del íleon (Wijtten et al. 2010, p. 1435) o reducir el tamaño de las vellosidades del duodeno (Yamauchi et al. 1995, p. 243). En este sentido, la utilización de aminoácidos con actividad funcional puede regular el desarrollo intestinal, como se registró en este trabajo.

Como ninguna interacción fue significativa para las variables evaluadas durante la fase de engorde, solo se presentan los efectos principales (Tablas V y VI). El consumo de alimento del día 22 al 42 de edad se vio afectado ($p < 0.05$) por el consumo de glicerina cruda, ya que los pollos del grupo control consumieron en promedio 5.0 g menos ($p < 0.05$) de alimento al día, comparado con los alimentados con glicerina al 2.5 o 7.5. Además, los pollos de engorde alimentados con 5.0% de glicerina cruda ganaron más peso (+2.9 g/d; $p < 0.05$) que aquellos pollos que no recibieron glicerina o la recibieron al 7.5%.

El incremento del consumo de alimento asociado al consumo de glicerina cruda también fue descrito por Romano et al. (2014, p. 104), atribuyendo esta respuesta a un incremento en la palatabilidad de las dietas. Sin embargo, contrasta con la respuesta reportada por Jung y Batal, (2011, p. 523), quienes observaron supresión del consumo de alimento en niveles de 5 y 7.5% de glicerina cruda y con los resultados de Mandalawi et al. (2014, p. 2859) en donde la utilización de glicerina cruda en niveles del 10% disminuyó el consumo de alimento. Por otro lado, los resultados encontrados en la ganancia de peso para el grupo que recibió dietas

con 7.5% de glicerina, son contrarios a los reportados en otros estudios, en donde hasta el 10% de inclusión no afectó el crecimiento de los pollos de engorde (Abd-Elsamee et al. 2010, p. 291; McLea et al. (2011, p. 372). Sin embargo, Cerrate et al., (2006, p. 1005), encontraron una disminución en el desempeño productivo cuando se usó glicerina al 10%, por problemas de flujo en comedero, similar resultado al reportado por Avellaneda et al. (2009, p. 3). La respuesta cuadrática a la inclusión de glicerina, encontrada en este estudio, coincide con los reportes de Bernardino et al. (2015, p. 1264), con un óptimo de inclusión cercano al 3.5%, el de Avellaneda et al. (2009, p. 3) de 3.9%, y es similar a la tendencia observada en los resultados mostrados por Sehu et al. (2012, p. 200), con óptimos alrededor de 5% de inclusión. La respuesta positiva encontrada al consumo de glicerina se puede asociar al incremento en el aporte de energía neta respecto a los recursos que reemplaza, ya que la relación energía efectiva/energía metabolizable de la glicerina es 1, mientras que para el maíz es de 0.87 (AVINESP, 2014).

Los pollos de engorde restringidos durante la fase inicial consumieron menos alimento (-3.4 g; $p < 0.05$) y registraron una ganancia de peso similar ($p > 0.05$) durante el periodo de engorde, comparado con aquellos que no fueron restringidos (Tabla V), lo que originó un menor valor de conversión alimenticia para el grupo restringido frente al grupo alimentado a voluntad (1.91 vs 1.97; $p < 0.05$). Cuando se hizo un ajuste al consumo y la ganancia de peso en función del peso promedio de la fase, teniendo en cuenta que los pollos de engorde restringidos iniciaron con menor peso la fase de engorde, se observó que estos consumieron la misma cantidad de alimento que aquellos alimentados a voluntad, pero ganaron 6.3% más peso ($p < 0.05$). El efecto positivo de la restricción alimenticia sobre la eficiencia de uso del alimento en pollos de engorde ha sido reportado por otros autores (Jahanpour et al. 2014, p. 91; Trocino et al. 2015, p. 2999) y puede ser justificado a través de una disminución en los gastos energéticos para

Table V. Desempeño de pollos durante la fase de engorde alimentados con glicerina luego de una restricción alimenticia y suplementación con Aminogut® (Performance of chickens during the fattening phase fed with glycerin after a feed restriction and supplementation with Aminogut®)

Factor	Nivel	Consumo (g/d)	Consumo (g/d/g de peso vivo)	Ganancia de peso (g/d)	Ganancia de peso (g/d/g de peso vivo)	Conversión alimenticia (g/g)
Consumo de energía	A voluntad	136 a	0.096	69.1	0.048 b	1.97 b
	Restricción	132 b	0.098	69.2	0.051 a	1.91 a
	EEM	0.79	0.0007	0.60	0.0002	0.018
	Efecto	*	NS	NS	*	*
Aminogut ®	Si	134	0.096	69.2	0.050	1.93
	No	133	0.098	70.1	0.050	1.92
	EEM	0.79	0.0007	0.60	0.0002	0.018
	Efecto	NS	NS	NS	NS	NS
Glicerina	0.0	131 b	0.096 b	68.0 b	0.049 b	1.93 ab
	2.5	135 a	0.097 b	69.2 ab	0.050 b	1.95 ab
	5.0	133 ab	0.096 b	71.0 a	0.051 a	1.88 a
	7.5	137 a	0.100 a	68.1 b	0.049 b	2.01 b
	EEM	1.08	0.001	0.76	0.003	0.024
	Efecto	*	*	*, C	*, C	*, C

Valores con diferente letras dentro de columna para cada factor experimental indican diferencias significativas. *: $p < 0.05$; NS: No significativo; C: Efecto cuadrático.

mantenimiento debido a un menor tamaño corporal (Talpaz et al. 1988, p. 383). Sin embargo, otros trabajos reportan que la eficiencia de uso del alimento no se ve afectada por la aplicación de una restricción alimenticia (Butzen et al. 2013, p. 254; Ghanem 2014, p. 2747), efecto asociado a un incremento en el consumo de alimento que permitió sostener las tasas de crecimiento.

Los efectos de la inclusión de Aminogut® observados hacia el final de la fase de iniciación (mejor ganancia de peso y conversión alimenticia) desaparecieron en el periodo de engorde (Tabla V), tal como lo han reportado otros estudios usando glutamina (Martinez et al. 2012, p.1711; Souza et al. 2017, p. 221; Zavarize et al. 2011, p. 917). Sin embargo, en el trabajo de Ribeiro et al. (2015, p. 95) los efectos de incluir glutamina o Aminogut®, en las dietas de iniciación persisten hasta el final de ciclo de engorde.

La restricción alimenticia o el uso de glicerina cruda disminuyeron ($p < 0.05$) el valor del índice cardiaco en los pollos de engorde (Tabla VI), que su vez, se puede asociar con los valores de supervivencia observada. El valor registrado para los pollos de engorde alimentados a voluntad o sin inclusión de glicerina en las dietas es cercano a 0.3 y es señal de hipertrofia ventricular derecha o ascitis (Wideman 2000, p. 22), esto indica que la restricción alimenticia logra disminuir la presión metabólica sobre el sistema cardiorrespiratorio, como lo evidenció Boostani et al. (2010, p. 174) o Bölükbasi et al. (2005, p. 328) cuando alimentaron con dietas en harina, comparado con el uso de dietas peletizadas. Por otra parte, en el trabajo de Saber (2016, p. 4) no se observaron diferencias significativas en el valor de IC entre los tratamientos con restricción alimenticia y el control, sin embargo, la mortalidad por ascitis fue mayor en este último grupo, cuyo IC al momento del sacrificio fue de 0.27. Reportes de beneficios sobre el

sistema cardiorrespiratorio en aves, por el uso de glicerina, no fueron identificados, pero en humanos, se ha observado una respuesta favorable en situaciones de alto gasto metabólico, en donde se registró una disminución de la tasa cardiaca, un incremento del llenado cardiaco y un mantenimiento del volumen plasmático (Easton, Turner y Pitsiladis 2007, pp. 83-5; Goulet et al. 2008, p. 267).

Cuando se evalúa el ciclo completo de producción (Tabla VI), se encuentra que los pollos de engorde restringidos pesaron 58 gramos menos ($p < 0.05$) al día 42 de edad, comparado con el grupo alimentado a voluntad, sin embargo, estas aves consumieron menos ($p < 0.05$) alimento, lo que se tradujo en una menor ($p < 0.05$) conversión alimenticia. Esta respuesta también ha sido reportada por diferentes investigadores (Benyi et al., 2011, p. 873-4; Jahanpour et al. 2014, p. 91; Trocino et al. 2015, p. 2999). El menor consumo de alimento observado en los pollos restringidos pudo obedecer a que las dietas se ofrecieron en harina y como lo menciona Lippens et al., (2009, p. 39) la textura del alimento es un factor determinante sobre el comportamiento ingestivo de las aves y así sobre la respuesta compensatoria durante la fase de realimentación. Por otra parte, la duración del periodo de restricción aplicada en este estudio y que representa el 40% del tiempo del ciclo de producción, pudo incidir en los resultados de desempeño observados, ya que algunos autores coinciden en que periodos de restricción mayores a 12 días, impiden que los pollos alcancen el peso de sus contrapartes alimentadas a voluntad (McMurty et al. 1988, p. 70; Zubair y Leeson 1996, p. 727) o por otro lado, faltó tiempo del ciclo de producción para que pudieran compensar satisfactoriamente, como lo sugiere Benyi et al. (2011, p. 875).

Table VI. Desempeño de pollos de engorde durante un ciclo de producción alimentados con glicerina luego de una restricción alimenticia y suplementación con Aminogut® (Performance of broilers during a glycerin-fed production cycle following feed restriction and Aminogut® supplementation).

Factor	Nivel	Supervivencia (%)	VD/VT	Conversión (g/g)	Peso final (g)	Costo parcial (USD/ave)	Utilidad bruta (USD/ave)
Consumo de energía	A voluntad	96.2	0.29 b	1.70 b	2163 a	1.591	0.590
	Restricción	97.5	0.24 a	1.64 a	2104 b	1.552	0.605
	EEM	1.45	0.009	0.012	13.1	0.024	0.008
	Efecto	NS	*	*	*	NS	NS
Aminogut®	Si	97.0	0.27	1.65	2148	1.575	0.616
	No	96.7	0.26	1.69	2120	1.568	0.578
	EEM	1.45	0.009	0.012	13.1	0.024	0.08
	Efecto	NS	NS	NS	NS	NS	+
Glicerina (%)	0.0	94.5	0.30 b	1.66 ab	2114 b	1.532	0.554
	2.5	96.0	0.26 a	1.67 ab	2136 ab	1.566	0.605
	5.0	98.0	0.25 a	1.64 a	2169 a	1.578	0.654
	7.5	99.0	0.25 a	1.71 b	2116 b	1.610	0.576
	EEM	2.06	0.013	0.016	18.6	0.042	0.12
Efecto	NS, L	*, L	*, C	*, C	*, C	NS, L	+, C

Valores con diferente letras dentro de columna para cada factor experimental indican diferencias significativas. *: $p < 0.05$; NS: No significativo; L: Efecto lineal; C: Efecto cuadrático.

El rendimiento en la canal y el porcentaje de peso de cada una de las fracciones no afectado por ninguno de los factores experimentales evaluados en este estudio. En promedio el rendimiento de la canal caliente fue de 64.8%, el de la pechuga 34.1%, el de la pierna-pernil de 32.1 y la grasa abdominal de 1.51%. Sin embargo, la implementación de la restricción alimenticia se ha propuesto como una metodología para reducir el contenido de grasa de la canal (Yang et al. 2009, p. 224; Omosebi et al. 2014, p. 616), aunque en este estudio no se observó diferencia en esta variable.

El costo parcial de producción (alimentación y pollito de un día) fue estadísticamente similar ($p > 0.05$) entre los niveles de los factores experimentales evaluados. Sin embargo, el costo por pollo de engorde producido fue 0.039 USD menor en el grupo restringido, comparado con aquellos alimentados a voluntad. Por otro lado, el costo de producción por pollo se incrementó linealmente con el consumo de glicerina cruda, pero la utilidad bruta tendió ($p < 0.1$) a ser mayor en los pollos alimentados con las dietas que contenían glicerina al 5%. Trabajos en donde se reporte el beneficio económico de la implementación de una restricción alimenticia son pocos, sin embargo, Shamma et al. (2014, p. 977) encontraron que las estrategias de restricción implementadas (retiro de los comederos 4 o 6 horas al día) disminuyeron el consumo de alimento e incrementaron la ganancia de peso, lo que afectó significativamente la eficiencia económica relativa, además, Simeon (2015, p. 4) reportó una disminución en los costos del 1.22%, al restringir pollos de engorde al 85% del consumo observado a voluntad.

CONCLUSIONES

La utilización de dietas con 5% de glicerina cruda durante la fase de engorde, luego de una restricción energética, mejoró la respuesta productiva de los pollos de engorde. Además, la inclusión de este recurso disminuyó en 16% la hipertrofia ventricular derecha, lo que puede permitir una mejor adaptación de las aves en condiciones de altitud. Por otra parte, la utilización de un aditivo que contiene glutamina y glutamato incrementó en 5.3% la longitud de las vellosidades del duodeno y mejoró la respuesta en crecimiento durante un periodo de restricción alimenticia, por lo cual, se podría pensar en el enriquecimiento de dietas con aditivos funcionales para complementar el uso de estrategias de restricción alimenticia. Finalmente, los pollos de engorde restringidos energéticamente no lograron compensar el peso corporal, pero registraron 3.5% menos de conversión alimenticia y 17.2% menos relación VD/VT.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias y Ecopetrol por la financiación del proyecto "Utilización de glicerina y otros subproductos del proceso de producción de biodiesel en sistemas de alimentación de aves y cerdos" y a Bio D S.A. por la provisión de la glicerina utilizada en este estudio.

Los autores también agradecen a CI DISAN por proporcionar el aditivo Aminogut® para la evaluación en este estudio.

BIBLIOGRAFIA

- Abd-Elsamee, M, Abdo, Z, Manylawi, M & Salim, I 2010 'Use of crude glycerin in broiler diets', *Egyptian Poultry Science*, vol. 30, no. 1, pp. 281-95. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113051703>.
- Alexandratos, N and Bruisma, J 2012 'World agriculture towards 2030/2050, the 2012 revision' ESA Working Paper No. 12-03. Rome, FAO. p. 147. <http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf>.
- Aliahat, E, AL-Sharafat, A and Altarawneh, M 2012 'Factors affecting profitability of layer hens enterprises', *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, vol. 7, no. 1, p. 106-13. <https://thescipub.com/pdf/10.3844/ajabssp.2012.106.113>.
- Avellaneda, Y, Rodríguez, D, Afanador, G & Ariza, C 2009 'Efecto de la inclusión de glicerina cruda sobre el desempeño productivo de hembras de pollos de engorde en la Sabana de Bogotá', *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol. 22, p. 3. <http://bdigital.ces.edu.co:8080/repositorio/bitstream/10946/3043/1/17.pdf>
- Avellaneda, Y, Hernández, J, Ariza C y Afanador G 2008 'Efecto de la suplementación de L-glutamina y L-glutamato (Aminogut®) sobre el crecimiento temprano de pollos de engorde', *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, vol. 55, pp. 77-90. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remez/article/view/10428/14243>.
- Avinesp 2014 'Modelo de predição de crescimento e exigências nutricionais' UNESP, Software, Jaboticabal-SP, Brasil.
- Azis, A, Abbas, H, Heryandib, Y and Kusnadib, E 2011 'Compensatory growth and production efficiency of broiler chickens exposed to feeding time restriction', *Media Peternakan*, pp. 50-7. <http://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/45643/3168-8061-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Bartell, S and Batal A 2007 'The effect of supplemental glutamine on growth performance, development of the gastrointestinal tract, and humoral immune response of broilers', *Poultry Science*, vol. 86, pp. 1940-7. <https://academic.oup.com/ps/article/86/9/1940/1582042>.
- Benyi, K, Acheompong-Boateng, O and Norris D 2011 'Effect of strain and different skip-a-day feed restriction on growth performance of broiler chickens', *Tropical Animal Health and Production*, vol. 43, pp. 871-6.
- Bernardino, V, Borges, P, Fonseca, R, Minati, E, Makiyama, L, Silva, R, de Oliveira, D and Januzzi, L 2015 'Sources and levels of glycerin for broilers from 22 to 35 days', *African Journal of Agricultural Research*, vol. 10, no. 11, pp. 1259-1265. http://www.academicjournals.org/article/article1426860450_Bernardino%20et%20al.pdf.
- Beserra, VA, Cesar, AS and Peres, AAC. 2016 'Adocao da glicerina bruta na dieta animal e seu impacto no produto final', *Archivos de Zootecnia*, vol. 65, no. 250, pp. 259-66. <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/article/view/498/475>.
- Bölkübası, S, Aktas M and Güzel, M 2005 'The effect of feed regimen on ascites induced by cold temperatures and growth performance in male broilers', *International Journal of Poultry Science*, vol. 4, no. 5, pp. 326-329. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.571.9040&rep=rep1&type=pdf>.
- Boostani, A, Ashayerizadeh, A, Manmoodian, F and Kamalzadeh, A 2010 'Comparison of the effects of several feed restriction periods to control ascites on performance, carcass characteristics and hematological indices of broilers', *Brazilian Journal of Poultry Science*, vol. 12, no. 3, pp. 171-177. <http://www.scielo.br/pdf/rbca/v12n3/06.pdf>.
- Butzen, FM, Ribeiro, AML, Vieira, MM, Kessler, AM, Dadalt, JC and Della, MP 2013 'Early feed restriction in broilers. I-Performance, body fraction weights, and meat quality', *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 22, pp. 251-9. <https://academic.oup.com/japr/article/22/2/251/709970>.
- Cerrate, S, Yan, F, Wang, Z, Coto, C, Sacakli, P & Waldroup, P 2006 'Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers', *International Journal of Poultry Science*, vol. 6, no. 11, pp. 1001-7. <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ijps/2006/1001-1007.pdf>.
- Classen, H 2017 'Diet energy and feed intake in chickens' *Animal Feed Science and Technology*, vol. 233, p. 13-21. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840116300931?via%3Dihub>.
- Dai, SF, Gao, F, Zhang, WH, Song, SX, Xu, XL and Zhou, GH 2011 'Effects of dietary glutamine and gamma-aminobutyric acid on performance, carcass

- characteristics and serum parameters in broilers under circular heat stress' *Animal Feed Science and Technology*, vol. 168, p. 51-60.
- Easton, C, Turner, S and Pitsiladis, Y 2007 'Creatine and glycerol hyperhydration in trained subjects before exercise in the heat', *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, vol. 17, pp. 70-91.
- Emmans, G 1994 'Effective energy: a concept of energy utilization applied across species', *British Journal of Nutrition*, vol. 71, pp. 801-21. <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S0007114594001868>.
- Emmanuel, B, Berzins, R and Robblee, A 1983 'Rates of entry of alanine and glycerol and their contribution to glucose synthesis in fasted chickens' *British Poultry Science*, vol. 24, no. 4, pp. 565-71.
- Fanooci, M and Torki, M 2010 'Effects of Qualitative Dietary Restriction on Performance, Carcass Characteristics, White Blood Cell Count and Humoral Immune Response of Broiler Chicks' *Global Veterinaria*, vol. 4, no. 3, pp. 277-82. [http://www.idosi.org/gv/gv4\(3\)10/13.pdf](http://www.idosi.org/gv/gv4(3)10/13.pdf).
- Ghanem, HM 2014 'Impact of breed and feed restriction on some productive and carcass traits in broiler chickens', *International Journal of Science and Research*, vol. 3, no. 12, pp. 2745-51. <https://www.ijsr.net/archive/v3i12/U1VCMTQxMDI1.pdf>.
- Gilani, S, Howarth, GS, Tran, CD, Kiteessa, SM, Forder, REA, Barekattain, R and Hughes, RJ 2018 'Effects of delayed feeding, sodium butyrate and glutamine on intestinal permeability in newly hatched broiler chickens', *Journal of Applied Animal Research*, vol. 46, no. 1, pp. 973-6. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1443109>.
- Goulet, E, Rousseau, S, Lamboley, C, Plante, G and Dionne, I 2008 'Pre-exercise hyperhydration delays dehydration and improves endurance capacity during 2h of cycling in a temperate climate' *Journal of Physiological Anthropology*, vol. 27, no. 5, pp. 263-71.
- Govaerts, T, Room, G, Buyse, J, Lippens, M, Groote, G and Decuyper, E 2000 'Early and temporary quantitative food restriction of broiler chickens. 2. Effects on allometric growth and growth hormone secretion', *British Poultry Science*, vol. 41, no. 3, pp. 355-62.
- Jahanpour, H, Seidavi, A and Qotbi, AA 2014 'Effects of intensity and duration of quantitative restriction of feed on broiler performance', *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, vol. 65, no. 2, pp. 83-98.
- Jazideh, F, Farhoomand, P, Daneshyar, M and Najafi, G 2014 'The effects of dietary glutamine supplementation on growth performance and intestinal morphology of broiler chickens reared under hot conditions' *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, vol. 38, pp. 264-270. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/131863>.
- Jung, B and Batal, AB 2011b 'Nutritional and feeding value of crude glycerin for poultry. 2. Evaluation of feeding crude glycerin to broilers' *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 20, pp. 514-27. <https://academic.oup.com/japr/article/20/4/514/771406/Nutritional-and-feeding-value-of-crude-glycerin>.
- Kato, T, Hayashi, Y, Inoue K & Yuasa, H 2004 'Function characterization of the carrier-mediated transport system for glycerol in everted sacs of the rat small intestine' *Biological Pharmacology Bulletin*, vol. 27, no. 11, pp. 1826-30. https://www.jstage.jst.go.jp/article/bpb/27/11/27_11_1826/_pdf.
- Khajali, F, Heydary, Moghaddam, M, Hassanpour, H 2014 'An L- Arginine supplement improves broiler hypertensive response and gut function in broiler chickens reared at high altitude' *International Journal of Biometeorology*. Vol. 58, p. 1175-9.
- Larivière, J, Vandenheede, M and Leroy, P 2009 'Effects of food restriction on rearing performance and welfare of a slow-growing chicken breed: a behavioral approach' *International Journal of Poultry Science*, vol. 8, no. 7, pp. 684-688. <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ijps/2009/684-688.pdf>.
- Lippens, M, Delezie, E, Maertens, L and Huyghebaert, G 2009 'Influence of feed texture and early quantitative feed restriction on performance, growth development and carcass composition of two broiler strains' *Archives für Geflügelkunde*, vol. 73, no. 1, pp. 29-40. https://www.european-poultry-science.com/artikel.dll/m08-07mk_NDIxODg-5NQ.PDF?UID=FA53B7F8665BBF31B193B72070B9D8309F6A6DC1B23A.
- Lobley GE, Hoskin SO and Mcneil CJ 2001 'Glutamine in animal science and production' *Journal of Nutrition*, vol. 131, pp. 2525S-31S. <https://academic.oup.com/jn/article/131/9/2525S/4687566>.
- Luquetti, BC, Fernandez, MF, Lunedo, R, Borges, DM, Furlan, RL and Macari, M 2016 'Effects of glutamine on performance and intestinal mucosa morphometry of broiler chickens vaccinated against coccidiosis', *Scientia Agricola*, vol.73, no.4, pp. 322-7. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0114>.
- Madrid, J, Villodre, C, Valera, L, Orengo, J, Martínez, S, López, M, Megías, M and Hernández, F 2013 'Effect of crude glycerin on feed manufacturing, growth performance, plasma metabolites, and nutrient digestibility of growing-finishing pigs' *Journal of Animal Science*, vol. 91, no. 8, pp. 3788-95.
- Mandalawi, HA, Kimiaetalab, MV, Obregon, V, Menoyo, D & Mateos, GG 2014 'Influence of source and level of glycerin in the diet on growth performance, liver characteristics, and nutrient digestibility in broilers from hatching to 21 days of age' *Poultry Science*, vol. 93, pp. 2855-63. https://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/ps/93/11/10.3382_ps.2014-04156/3/2855.pdf.
- Martinez, KLA, Leandro, NSM, Café, MB, Stringhini, JH, Araújo, ICS and Andrade, MA 2012 'Suplementação de glutamina em dietas elaboradas com ingredientes de origem vegetal e animal para pintos de corte', *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol. 64, pp. 1707-16. <http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v64n6/41.pdf>.
- McLea, L, Ball, M, Kilpatrick, D and Elliott, C 2011 'The effect of glycerol inclusion on broiler performance and nutrient digestibility', *British Poultry Science*, vol. 52, no. 3, pp. 368-75.
- McMurty, J, Plavnik, I, Rosebrough, R, Steele, N and Proudman, J 1988 'Effect of early feed restriction in male broiler chicks on plasma metabolic hormones during feed restriction and accelerated growth' *Comparative Biochemistry and Physiology*, vol. 91, no. 1, pp. 67-70.
- Moghaddam, HN and Alizadeh-Ghamsari, AH 2013 'Improved performance and small intestinal development of broiler chickens by dietary L-glutamine supplementation', *Journal of Applied Animal Research*, vol. 41, no. 1, pp. 1-7. <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2012.738214>.
- Mohebodini, H, Dastar, B, Shams, M and Zerehdaran, S 2009 'The comparison of early feed restriction and meal feeding on performance, carcass characteristics and blood constituents of broilers chickens' *Journal of Animal and Veterinary Advances*, vol. 8, no. 10, pp. 2069-74. <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/javaa/2009/2069-2074.pdf>.
- Mottet A and Tempio G. 2017. Global poultry production: current state and outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*. 73(2): 245-256.
- Murakami, AE, Fernandes, JIM, Hernandez, L, Santos, TC 2012 'Effects of starter diet supplementation with arginine on broiler production performance and on small intestine morphometry' *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Vol. 32, p. 259-66. <http://www.scielo.br/pdf/pvb/v32n3/a14v32n3.pdf>.
- Nielsen, B, Litherland, M and Nøddegaard, F 2003 'Effect of qualitative and quantitative feed restriction on the activity of broiler chickens', *Applied Animal Behavior Science*, vol. 83, pp. 309-323.
- Newsholme, P, Procopio, J, Ramos, MM, Pithon-Curi, TC and Curi, R 2003 'Glutamine and glutamate—their central role in cell metabolism and function', *Cell Biochemistry and Function*, vol. 21, pp. 1-9. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cbf.1003>.
- Olukomaiya, O, Adeyemi, O, Sogunle, O, Abioja, M and Ogunsola, I 2015 'Effect of feed restriction and ascorbic acid supplementation on growth performance, rectal temperature and respiratory rate of broiler chicken' *The Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 25, no. 1, pp. 65-71. <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-25-01/10.pdf>.
- Olubodun, JO, Zulkifli, I, Farjam, AS, Hair-Bejo, M and Kasim, A 2015 'Glutamine and glutamic acid supplementation enhances performance of broiler chickens under the hot and humid tropical condition', *Italian*

- Journal of Animal Science*, vol. 14, pp. 25-9. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4081/ijas.2015.3263>.
- Omosabi, DJ, Adeyemi, OA, Sogunle, MO, Idowu, OMO and Njoku, CP 2014 'Effects of duration and level of feed restriction on performance and meat quality of broiler chickens' *Archivos de Zootecnia*, vol. 63, no. 244, pp. 611-621. <http://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v63n244/art5.pdf>.
- Ozkan, S, Takma, C, Yahav, S, Soğut, B, Turkmüt, L, Erturun, H and Cahaner, A 2010 'The effects of feed restriction and ambient temperature on growth and ascites mortality of broilers reared at high altitude' *Poultry Science*, vol. 89, pp. 974-85. https://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/ps/89/5/10.3382/ps.2009-00293/2/poultrysci89-0974.pdf.
- Pinheiro, D, Cruz, V, Sartori, J and Paulino, MV 2004 'Effect of early restriction and enzyme supplementation on digestive enzyme activities in broilers', *Poultry Science*, vol. 83, pp. 1544-50. <https://pdfs.semanticscholar.org/bac9/f3c49023eb247c69f9e39491d037bc243b10.pdf>.
- Plavnik, I and Hurwitz, S 1991 'Response of broiler chickens and turkey poults to food restriction of varied severity during early life', *British Poultry Science*, vol. 32, no. 2, pp. 343-52.
- Porto, ML, Givisiez, PEN, Saraiva, EP, Costa, FGP, Moreira, Filho ALB, Andrade, MFS, Brandão, PA, Guerra, RR 2015 'Glutamic acid improves body weight gain and intestinal morphology of broiler chickens submitted to heat stress' *Brazilian Journal of Poultry Science*, vol. 17, no. 3, p. 355-62. <http://www.scielo.br/pdf/rbca/v17n3/1516-635X-rbca-17-03-00355.pdf>.
- Ribeiro Jr, V, Albino, LFT, Rostagno, HS, Hannas, M, Ribeiro, CLN, Vieira, RA, de Araújo, WAG, Pessoa, GBS, Messias, RKG and da Silva, DL 2015 'Effects of Dietary L-Glutamine or L-Glutamine plus L-Glutamic Acid supplementation programs on the performance and breast meat yield uniformity of 42-d-old broilers', *Brazilian Journal of Poultry Science*, special issue, pp. 93-8. <http://www.scielo.br/pdf/rbca/v17nspe/1516-635X-rbca-17-spe-00093.pdf>.
- Romano, GG, Menten, JFM, Freitas, LW, Lima, MB, Pereira, R, Zavarize, KC & Dias CTS 2014 'Effects of glycerol on the metabolism of broilers FED increasing glycerine levels', *Brazilian Journal of Poultry Science*, vol. 16, no. 1, pp. 97-106. <http://www.scielo.br/pdf/rbca/v16n1/v16n1a14.pdf>.
- Saber, SN 2016 'Effect of quantitative feed restriction on carcass characteristics and some blood parameters in broilers chickens' *International Research Journal of Biological Sciences*, vol. 5, no. 10, pp. 1-6. <http://www.isca.in/IJBS/Archive/v5/i10/1.ISCA-IJBS-2016-022.pdf>.
- Sahraei, M 2013 'Improvement production efficiency and carcass quality through feed restriction programs in broiler chickens' *Biotechnology in animal husbandry*, vol. 29, no. 2, pp. 193-210. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1450-9156/2013/1450-91561302193S.pdf>.
- Santoso, U 2002 'Effects of Early Feed Restriction on the Occurrence of Compensatory Growth, Feed Conversion Efficiency, Leg Abnormality and Mortality in Unsexed Broiler Chickens Reared in Cages', *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, vol. 15, no. 9, pp. 1319-25. http://www.ajas.info/upload/pdf/15_210.pdf.
- SAS Institute, 2008. SAS Users Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sehu, A, Kucukersan, S, Coskun, B, Koksali, BH & Cital, OB 2012 'Effects of dietary glycerol addition on growth performance, carcass traits and fatty acid distribution in cloacal fat in broiler chickens', *Revue de Médecine Vétérinaire*, vol. 163, no. 4, pp. 194-200. https://pdfs.semanticscholar.org/ea62/82b8ea38df57fd238063284d6e5343bff596.pdf?_ga=2.181438503.1285182694.1533677738-315474147.1533677738.
- Shakeri, M, Zulkufli, I, Oskoueian, E, Shakeri, M, Oskoueian, A and Ebrahimi, M 2016 'Response to dietary supplementation of glutamine in broiler chickens subjected to transportation stress', *Journal of the Faculty of Veterinary Medicine Istanbul University*, vol. 42, no. 2, pp. 122-31.
- Silva, VO, Lopes, E, Andrade, EF, Sousa, RV, Zangeronimo, MG & Pereira, LJ 2014 'Uso de co-productos del biodiesel (Glicerol) como fuentes alternativas de energía en la alimentación animal: una revisión sistemática' *Archivos de Medicina Veterinaria*, vol. 46, pp. 111-20.
- Simeon, o 2015 'Effects of strain and feed restriction at starter phase on performance of broiler chickens in the humid tropics', *International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, vol. 2, no. 1, pp. 1-5. <https://www.article.aascit.org/file/pdf/9230759.pdf>.
- Soltan, MA 2009 'Influence of dietary glutamine supplementation on growth performance, small intestinal morphology, immune response and some blood parameters of broiler chickens', *International Journal of Poultry Science*, vol. 8, pp. 60-8. <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ijps/2009/60-68.pdf>.
- Talpaz, H, Hurtwitz, S, de la Torre, J and Sharpe, P 1988 'Economic optimization of a growth trajectory for broilers' *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 70, no. 2, pp. 382-390.
- Thompson, J and He B 2006 'Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks', *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 22, no. 2, pp. 261-65. https://www.biofuelscoproducts.umn.edu/sites/biodieselfeeds.cfans.umn.edu/files/2006-thompson-characterization_of_crude_glycerol_from_biodiesel_production.pdf.
- Trocino, A, Piccirillo, A, Birolo, M, Radaelli, G, Bertotto, D, Filiou, E, Petracci, M and Xiccato, G 2015 'Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens', *Poultry Science*, vol. 94, pp. 2996-3004. <https://doi.org/10.3382/ps/pev296>.
- Tůmová, E, Skřivan, M, Skřivanová, V and Kacerošská, L 2002 'Effect of early feed restriction on growth in broiler chickens, turkeys and rabbits', *Czech Journal of Animal Science*, vol. 47, no. 10, pp. 418-28. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.619.1233&rep=rep1&type=pdf>.
- Uribe, AJ, Valencia, JE, Morales, P, Triana, S y Velandia, D. 2011. Restricción alimenticia en pollos de engorda en explotaciones comerciales. XXII Congreso Latinoamericano de Avicultura, Buenos Aires, Argentina.
- Wideman RF 2000 'Cardio-pulmonary hemodynamics and ascites in broiler chickens' *Avian and poultry biology reviews*, vol. 11, no. 1, pp. 21-43.
- Wijten, P, Hangoor, E, Sparla, J and Verstegen, M 2010 'Dietary amino acid levels and feed restriction affect small intestinal development, mortality, and weight gain of male broilers', *Poultry Science*, vol. 89, pp. 1424-39. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00626>.
- Wu, G 1998 'Intestinal mucosal amino acid catabolism', *Journal of Nutrition*, vol. 128, pp. 1249-52. <https://doi.org/10.1093/jn/128.8.1249>.
- Yamauchi, K, Yamamoto, K and Isshiki, Y 1995 'Morphological alterations of the intestinal villi and absorptive epithelial cells in each intestinal part in fasted chickens', *Japanese Poultry Science*, vol. 32, pp. 241-51. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpsa1964/32/4/32_4_241/_pdf-char/en.
- Yang, F, Hanna, M and Sun, R 2012 'Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production', *Biotechnology for Biofuels*, vol. 5, pp. 1-10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3313861/>.
- Yang, YX, Guo, J, Yoon, SY, Jin, Z, Choi, JY, Piao, XS, Kim, BW, Ohh, SJ, Wang MH and Chae, BJ 2009 'Early energy and protein reduction: effects on growth, blood profiles and expression of genes related to protein and fat metabolism in broilers', *British Poultry Science*, vol. 50, no. 2, pp. 218-27.
- Zaheer, K 2015 'An updated review on chicken eggs: production, consumption, management aspects and nutritional benefits to human health', *Food and Nutrition Sciences*, vol. 6, p. 1208-20. https://file.scirp.org/pdf/FNS_2015101618020384.pdf.
- Zavarize, KC, Sartori, JR, Pelicia, VC, Pezzato, AC, Araujo, PC, Stradiotti, AC and Madeira, LA 2011 'Glutamine and nucleotide supplementation in broiler diets in alternative breeding system', *Archivos de Zootecnia*, vol. 60, no. 232, pp. 913-20. <http://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v60n232/art8.pdf>.

Zubair, AK and Leeson, S 1996 'Changes in body composition and adipocyte cellularity of male broilers subjected to varying degrees of early-life feed restriction', *Poultry Science*, vol. 75, pp. 719–28. https://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/ps/75/6/10.3382/ps.0750719/2/poultrysci75-0719.pdf.

Zulkifli, I, Shakeri, M and Soleimani, AF 2016 'Dietary supplementation of L-glutamine and L-glutamate in broiler chicks subjected to delayed placement', *Poultry Science*, vol. 95, pp. 2757–63. <https://academic.oup.com/ps/article/95/12/2757/2656888>.