



Eficiencia productiva en pollos de engorda Cobb 500 y Ross 308 alimentados con dietas sorgo-soya reducidas en proteína †

[Productive efficiency in broiler chicken Cobb 500 and Ross 308 fed with sorghum-soybean meal diets reduced in crude protein]

Armando García-Reyna^{*1}, Arturo Cortés-Cuevas^{*1}, Gabriela Gómez-Verduzco² and Ernesto Ávila-González¹

¹Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia - Universidad Nacional Autónoma de México. Calle Manuel M. López s/n, Zapotitlán Tláhuac, Tláhuac, 13300 Ciudad de México, CDMX. México. Email: cortescuevasarturo@yahoo.com, armandgar78@gmail.com

^{*}Corresponding author

SUMMARY

Background. Reducing crude protein (CP) in broiler diets using the ideal protein concept requires the addition of synthetic amino acids (AA) to maintain productive and economic efficiency in broiler chickens. **Objective.** To evaluate the live performance and carcass characteristics in two broiler strains fed sorghum-soybean meal-based diets with 2% of reduced crude protein during each feeding phase. **Methodology.** Six hundred unsexed Cobb 500 and six hundred unsexed Ross308 one-day-old broiler chicks were used. A completely randomized design with four treatments and 6 replicates of 50 chicks each was employed. Treatments were: 1. Cobb 500 normal diet, 2. Cobb 500 2% CP reduced diet, 3. Ross 308 normal diet, 4. Ross 308 2% PC reduced diet. Four-phase feeding programs were established: 1 to 10 d, 11 to 21 d, 22 to 42 d and 43 to 49 d. All diets met the nutritional recommendations of each strain. Synthetic amino acids (methionine, lysine and threonine) were supplemented to fulfill these nutritional recommendations. **Results.** The feed conversion ratio (FCR) improved ($P<0.05$) when using the normal diets in both strains. The mortality rate attributable to ascites syndrome was similar ($P>0.05$) between diets in both strains. The 2% reduction in crude protein (CP) decreased ($P<0.05$) the carcass yield in both strains and breast yield only in the Cobb 500 strain. Skin yellowness ($P<0.05$) was reduced in the Ross 308 strain, while no change ($P>0.05$) was observed when CP was reduced in the Cobb 500 strain. The European Production Efficiency Factor (EPEF) was similar ($P>0.05$) between diets in the Cobb 500 strain at 42 and 49 days of age. In the case of the Gross Profit Margin (GPM), no changes ($P>0.05$) were reported between the normal and reduced diets at 49 days and for the carcass sale in both strains. **Implications:** Feed costs decreased to 3.2% CP, which implied a recuperation opportunity to evaluate the gross profit margin (GPM), at 49 days and in the carcass, in both strains. **Conclusions:** The supplementation of three synthetic amino acids (Lys, Met, and Thr) in diets with a 2% reduction in crude protein failed to maintain poultry productivity, although a profitable opportunity exists for the sale of chickens at 49 days in both strains.

Key words: Performance; strains; protein reduction; amino acids; feed cost.

RESUMEN

Antecedentes: La reducción de proteína cruda (PC) en la dieta del pollo de engorda mediante el concepto de proteína ideal, requiere la adición de aminoácidos (AA) sintéticos, para mantener la eficiencia productiva en el pollo de engorda. **Objetivo:** Evaluar parámetros productivos y características de la canal, en dos estirpes de pollo de engorda alimentados con dietas sorgo+soya con dietas reducidas en 2% de PC en cada fase. **Metodología:** Se utilizaron 600 pollitos mixtos de la estirpe Cobb 500 y 600 pollitos mixtos de la estirpe Ross 308. Se empleó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos, con 6 repeticiones de 50 pollos cada una. Los tratamientos fueron: 1. Cobb 500, dieta normal, 2. Cobb 500, dieta reducida en 2% PC, 3. Ross 308, dieta normal, 4. Ross 308, dieta reducida en 2% PC. Se manejaron 4 fases alimenticias: 1 a 10 d, 11 a 21 d, 22 a 42 d y de 43 a 49 d. Se consideró la suplementación de tres AA limitantes (DL-Metionina, L-Lisina y L-Treonina) para formular con el mismo perfil de AA entre dietas normales y reducidas en 2% de PC en cada fase. **Resultados:** Se reportó un mejor ($P<0.05$)

† Submitted January 6, 2026 – Accepted April 13, 2026. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6776>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = A. García-Reyna: <https://orcid.org/0000-0001-7049-4243>; A. Cortés-Cuevas: <https://orcid.org/0000-0002-9509-3750>; G. Gómez-Verduzco: <https://orcid.org/0000-0002-7630-5316>; E. Ávila-González: <https://orcid.org/0000-0002-6036-1321>

desempeño en índice de conversión (IC) al utilizar las dietas normales en ambas estirpes. El porcentaje de mortalidad por síndrome ascítico (SA) fue similar ($P<0.05$) entre dietas en ambas estirpes. La reducción de 2% de PC afectó ($P<0.05$) los rendimientos de la canal en ambas estirpes y el de pechuga sólo en la estirpe Cobb 500. En pigmentación de la piel se reportó un mayor amarillamiento ($P<0.05$) al reducir la proteína en la estirpe Ross 308 y sin cambios ($P>0.05$) al reducir la PC en Cobb 500. El EPEF (Factor de Eficiencia de Producción Europea) fue similar ($P>0.05$) entre dietas en la estirpe Cobb 500 a los 42 y 49 días de edad. Para el caso del margen de ganancia bruto (MGB), se reportó sin cambios ($P>0.05$) entre dieta normal y reducida a los 49 d y por venta en canal en ambas estirpes. **Implicaciones:** Los costos de alimentación redujeron en un 3.2% al reducir la PC, lo que implicó una recuperación al evaluar el MGB a los 49 d y en canal, en ambas estirpes. **Conclusiones:** La suplementación de tres AA limitantes (Lis, Met, Tre) en dietas reducidas en dos unidades porcentuales de PC, no impidió que se afectara la producción, aunque con oportunidad rentable de vender los pollos en pie a los 49 d en ambas estirpes.

Key words: Rendimiento productivo; estirpes; reducción de proteína; aminoácidos; costo de alimento.

INTRODUCCIÓN

El pollo de engorda actual crece más rápido y es más eficiente, gracias al mejoramiento genético en sus características cárnicas, con un incremento de hasta de 80% y 30% en los músculos pectoral mayor y pectoral menor, respectivamente (Zuidhof *et al.*, 2014; Khajali, 2022). Para que se exprese este rendimiento, es necesario cubrir los requerimientos proteicos del pollo de engorda, basado en el concepto de proteína ideal, que recomienda la inclusión de AA con base a su valor digestible y la adición de AA sintéticos (Baker, 2009; Vieira *et al.*, 2016). La reducción de PC en la dieta cobra importancia porque permite reducir el uso de ingredientes proteicos, disminuir los costos de alimentación, reducir la excreción de N en excretas y como estrategia de control del síndrome ascítico, considerado un trastorno metabólico que algunas estirpes modernas con alta tasa de crecimiento están predispuestas, más cuando son criadas a grandes altitudes con baja cantidad de oxígeno (Arce-Menocal *et al.*, 2009; Kalia *et al.*, 2017; Kidd *et al.*, 2021). De esta forma, el nutricionista tiene la tarea de cubrir el balance exacto de los AA esenciales, considerando su digestibilidad en los diferentes ingredientes (Baker, 2009; Vieira *et al.*, 2016). Algunas investigaciones comprobaron que es factible reducir el porcentaje de PC dietética, sin afectar el comportamiento productivo, siempre que se asegure un perfil de AA ideal en la dieta (Vieira *et al.*, 2007; Coneglian *et al.*, 2010; Vieira *et al.*, 2016). La mayor parte de los estudios han comprobado esta reducción de proteína en dietas formuladas con soya y granos como el maíz y el trigo, aunque falta más información sobre la combinación de la pasta de soya con el sorgo, considerado un buen sustituto del maíz en México y otros países (Gheorghe *et al.*, 2017; Selle *et al.*, 2018; Gidado *et al.*, 2020). Por todo lo anterior, se realizó esta investigación para comprobar si dos estirpes de pollos alimentados con dietas reducidas en proteína y suplementadas con los tres primeros AA limitantes (metionina, lisina y treonina), pueden obtener parámetros productivos, características de la canal, así como otros indicadores de productividad,

equiparables a los obtenidos en pollos alimentados con dietas formuladas con los niveles recomendados de proteína cruda según el manual de cada estirpe, Cobb 500 y Ross 308. (Ross, 2009)

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del estudio

La investigación se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación, Extensión y Producción Avícola (CEIEPAV) de la Facultad de Medicina Veterinaria Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, localizado en la alcaldía de Tláhuac en la CDMX, a una altura de 2250 msnm, en el paralelo 19°17' latitud norte y el meridiano 99°02'30'' longitud oeste. La temperatura promedio anual es de 18°C.

Aves y manejo

Se utilizaron 600 pollitos de engorda de la estirpe Cobb 500 y 600 pollitos de la estirpe Ross 308, de 1 día de edad, mixtos, con un peso promedio de 44 g, provenientes de reproductoras de edad similar (47 semanas) y vacunados contra la enfermedad de Gumboro y Marek. Se alojaron en una caseta de ambiente natural con corrales de piso de cemento, cama de viruta, densidad de 10 aves/m², crianza en túnel, programa de luz natural de 11 h diarias en promedio y calor artificial las primeras cuatro semanas. Al d 10, se vacunaron contra la enfermedad de Newcastle.

Dietas y diseño experimental

La dieta basal se elaboró con base en sorgo y pasta de soya, conforme a la formulación al mínimo costo, siguiendo las recomendaciones nutricionales para cada fase del manual de cada estirpe. Se consideraron cuatro fases de alimentación: Iniciación (1 a 10 d de edad), Crecimiento (11 a 21 d de edad), Finalización (22 a 42 d de edad) y de Retiro (43 a 49 d de edad). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Cada tratamiento consto de 6 repeticiones con

50 pollos cada una, teniendo un total de 300 pollos en cada tratamiento: T1 = Cobb 500, dieta normal; T2 = Cobb 500, dieta reducida en 2% de PC; T3 = Ross 308, dieta normal; T4 = Ross 308, dieta reducida en 2% de PC. Se consideró la suplementación de tres AA limitantes (DL-Metionina, L-Lisina y L-Treonina) para formular con el mismo perfil de AA entre dietas normales y reducidas en 2% de PC, en cada fase (Tabla 1 y 2). El agua y el alimento (presentación en harina), se ofrecieron al libre acceso.

Parámetros productivos

Al término de cada semana se obtuvo el peso de los pollos de cada tratamiento, así como el consumo de

alimento (CA). Con estos datos, se calculó la ganancia de peso GP = Peso final – Peso inicial, el índice de conversión ajustado a mortalidad IC = $[(\text{alimento consumido en kg}) \times (\text{aves promedio})^{-1}] \times (\text{GP en kg})^{-1}$ y la uniformidad de los pesos mediante el coeficiente de variación CV = $(\text{desviación estándar} \times 100) \times (\text{promedio del peso})^{-1}$. También se registró la mortalidad general y la mortalidad por Síndrome ascítico (SA) esta última fue determinada por examen postmortem estableciendo un criterio mínimo de 3 hallazgos patológicos para atribuir la causa de muerte a este síndrome: acumulación de líquido abdominal (ascitis), hidropericardio e hipertrofia cardíaca derecha (López *et al.*, 1991).

Tabla 1. Composición de las dietas experimentales normal y reducida en PC para la estirpe Cobb 500.

Ingrediente, kg	Iniciación		Crecimiento		Finalización		De Retiro	
	Normal	Reducida	Normal	Reducida	Normal	Reducida	Normal	Reducida
Sorgo	597.4	653.3	645.9	701.5	653.3	708.9	683.5	739.1
Pasta de soya	325.7	273.0	274.4	221.8	251.0	198.4	225.3	172.7
Aceite vegetal	26.02	19.73	32.80	26.69	45.19	39.00	43.03	36.84
Ortofosfato 1820	18.75	18.99	18.00	18.27	16.73	16.97	15.39	15.64
Carbonato de Ca	16.81	16.91	14.90	15.03	14.06	14.16	13.48	13.59
Sal (NaCl)	5.39	5.40	4.62	4.63	4.63	4.64	4.38	4.39
DL-Metionina	2.71	3.29	2.64	3.08	2.77	3.21	2.58	3.02
L-Lisina HCL	1.74	3.14	2.12	3.67	2.33	3.89	2.46	4.02
L-Treonina	1.51	2.18	.372	1.21	.579	1.41	.692	1.53
Cloruro colina 60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.800	.800
Premezcla vit-min ¹	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Nicarbacina	0.500	0.500	0.500	0.500	-	-	-	-
Monensina	-	-	-	-	0.500	0.500	0.500	0.500
Bacitracina	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Antioxidante (BHQ ²)	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Pigmento (luteína)	-	-	-	-	5.35	5.35	5.35	5.35
Total (kg)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Costo \$/Ton ²	7153	6909	7075	6839	7525	7286	7365	7127
Composición calculada, %								
EM, Kcal/kg	2988	2988	3083	3083	3176	3176	3176	3176
Proteína %	21.00	19.00	19.00	17.00	18.00	16.00	17.00	15.00
Lisina dig. %	1.08	1.08	0.99	0.99	0.95	0.95	0.89	0.89
Metionina dig. %	0.45	0.46	0.42	0.43	0.42	0.43	0.39	0.40
Met+Cis dig. %	0.80	0.80	0.75	0.75	0.74	0.74	0.69	0.69
Treonina dig. %	0.79	0.79	0.61	0.63	0.62	0.62	0.60	0.60
Triptófano dig. %	0.23	0.21	0.21	0.19	0.20	0.17	0.19	0.16
Arginina dig. %	1.20	1.06	1.06	1.02	0.99	0.95	0.92	0.78
Ca %	1.05	1.05	0.96	0.96	0.90	0.90	0.85	0.85
P disponible %	0.50	0.50	0.48	0.48	0.45	0.45	0.42	0.42

¹Vitaminas y minerales por Ton de alimento: vit A, 12,000,000 UI; vit D₃, 2,500,000 UI; vit E, 15,000 UI; vit K, 2.0g; vit B₁, 2.25g; vit B₂, 7.5g; vit B₆, 3.5g; vit B₁₂, 20mg; ácido fólico, 1.5g; biotina, 125mg; ácido pantoténico, 12.5g; niacina, 45g; hierro, 50g; zinc, 50g; manganeso, 110g; cobre, 12g; yodo, 0.30g; selenio, 0.20g; cobalto, 0.20g.

²Butilhidroquinona. ³Precios vigentes (CONAFAB, 2025) del sorgo (\$4800/t) y pasta de soya (8500/t).

Características de la canal y cortes primarios

A los 49 días de crianza, se eligieron al azar 40 aves por tratamiento, se identificaron, se pesaron y fueron sacrificadas, previo ayuno de 8 h. Cada ave se sometió al protocolo de sacrificio: 1) colgado en cadena transportadora; 2) insensibilizado, bajo los parámetros de 25 V, 0.25 A y 460 Hz, CC del tipo pulsátil; 3) desangrado cervical; 4) escaldado en agua a 53°C durante 1 min; 5) desplume mecánico y 6) evisceración manual. Se obtuvieron los pesos y rendimientos de la grasa abdominal y canal (sin cabeza, sin patas) (Rubio *et al.*, 2005). Se midieron las unidades de amarillamiento (b*) en la zona aptérica lateral izquierda, mediante un fotolorímetro de reflectancia Minolta CR-400 (Castañeda, 2005). Para el peso y rendimiento de los cortes de mayor valor comercial (músculos de la pechuga, pierna con muslos) se utilizaron 20 canales

por tratamiento, que sirvieron además para obtener el rendimiento magro de piernas con muslos. Luego, se obtuvieron muestra de 200 g de carne, 6 muestras de pechuga y 6 muestras de piernas+muslos por cada tratamiento y se realizó la determinación de proteína cruda (PC) mediante el método Kjeldahl y extracto etéreo (EE) con éter dietílico como disolvente (AOAC, 2002) en el laboratorio de bromatología de la FMVZ-UNAM.

Contenido de humedad y nitrógeno en excretas

A los 49 d, se recolectaron 6 muestras de excretas (100 g cada una) por tratamiento para determinar el contenido de nitrógeno (N) y humedad, mediante el método señalado por la AOAC (2002). Los análisis fueron realizados en el laboratorio de bromatología de la FMVZ-UNAM.

Tabla 2. Composición de las dietas experimentales normal y reducida en PC para la estirpe Ross 308.

Ingrediente, kg	Iniciación		Crecimiento		Finalización		De Retiro	
	Normal	Reducida	Normal	Reducida	Normal	Reducida	Normal	Reducida
Sorgo	526.3	582.2	573.7	629.6	619.9	675.8	677.0	732.9
Pasta de soya	381.2	328.6	330.2	277.5	279.4	226.8	226.5	173.9
Aceite vegetal	41.36	35.08	52.01	45.71	54.52	48.23	50.69	44.40
Ortofosfato 1820	18.55	18.79	16.37	16.61	15.17	15.41	14.44	14.68
Carbonato de Ca	16.69	16.79	13.90	14.01	13.37	13.47	12.60	12.70
Sal (NaCl)	4.34	4.35	3.83	3.84	3.85	3.86	3.86	3.87
DL-Metionina	3.69	4.13	3.12	3.56	2.45	2.89	2.49	2.92
L-Lisina HCL	2.55	4.11	1.90	3.46	1.39	2.94	2.31	3.87
L-Treonina	1.22	1.90	.880	1.56	.545	1.22	.922	1.60
Cloruro colina 60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.800	.800
Premezcla vit ¹	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Nicarbacina	0.500	0.500	0.500	0.500	-	-	-	-
Monensina	-	-	-	-	0.500	0.500	0.500	0.500
Bacitracina	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Antioxidante (BHQ ²)	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Pigmento (luteína)	-	-	-	-	5.35	5.35	5.35	5.35
Total (kg)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Costo \$/Ton ³	7736	7491	7703	7457	7771	7525	7521	7276
Composición calculada								
EM, Kcal/kg	3025	3025	3150	3150	3200	3200	3225	3225
Proteína %	23.00	21.00	21.00	19.00	19.00	17.00	17.00	15.00
Lisina dig. %	1.27	1.27	1.10	1.10	0.94	0.94	0.90	0.90
Metionina tot %	0.70	0.71	0.62	0.63	0.53	0.55	0.51	0.52
Metionina dig. %	0.58	0.59	0.50	0.51	0.40	0.42	0.38	0.39
Met+Cis dig. %	0.94	0.94	0.84	0.84	0.73	0.73	0.70	0.70
Treonina dig. %	0.83	0.83	0.73	0.73	0.63	0.63	0.58	0.59
Triptófano dig. %	0.26	0.23	0.23	0.21	0.21	0.19	0.19	0.16
Arginina dig. %	1.34	1.31	1.14	1.06	0.99	0.92	0.92	0.78
Ca %	1.05	1.05	0.90	0.90	0.85	0.85	0.80	0.80
P disponible %	0.50	0.50	0.45	0.45	0.42	0.42	0.40	0.40

¹Vitaminas y minerales por tonelada de alimento: vit A, 12,000,000 UI; vit D₃, 2,500,000 UI; vit E, 15,000 UI; vit K, 2.0g; vit B₁, 2.25g; vit B₂, 7.5g; vit B₆, 3.5g; vit B₁₂, 20mg; ácido fólico, 1.5g; biotina, 125mg; ácido pantoténico, 12.5g; niacina, 45g; hierro, 50g; zinc, 50g; manganeso, 110g; cobre, 12g; yodo, 0.30g; selenio, 0.20g; cobalto, 0.20g.

²Butilhidroquinona. ³Precios vigentes (CONAFAB, 2025) del sorgo (\$4800/t) y pasta de soya (\$8500/t).

Análisis productivo y económico

Se determinó el Factor de Eficiencia de Producción Europea (EPEF, por sus siglas en inglés), dada por la ecuación (Dotas *et al.*, 2021): $EPEF = [(100 - \text{mortalidad en \%} \times \text{Peso vivo final en kg}) \times (\text{IC} \times \text{días de edad})^{-1}] \times 100$. De acuerdo con Mavromati *et al.* (2018) este indicador es aceptable cuando alcanza un valor por arriba de 260. Asimismo, se estimó el margen de ganancia bruto (MGB), como indicador de rentabilidad para determinar el porcentaje de cada peso de venta ganado una vez cubiertos los costos de alimentación, de gran utilidad en la toma de decisiones relacionadas a la forma de comercialización del producto (pollo vivo, entero o procesado). La fórmula que se utilizó fue basada en lo descrito por Dozier III *et al.* (2006) como % del precio de venta: $MGB (\%) = [(\text{Precio de venta} - \text{Costo de alimentación}) \times (\text{Precio de venta})^{-1}] \times 100$.

Análisis estadístico

Los datos de las variables en estudio se sometieron a un ANOVA de una vía. Se verificaron la normalidad y la homocedasticidad de las variables y en casos necesarios, se transformaron los datos a una expresión angular, previo al análisis, mediante la fórmula arco seno de la raíz cuadrada de la proporción. Se estableció un nivel de significancia de P menor a 0.05 para todas las pruebas. Se utilizó el programa estadístico JMP v. 11.

RESULTADOS

La ganancia de peso se vio afectada ($P < 0.05$) al reducir la PC de la dieta en pollos de la estirpe Cobb 500 a los 49 d (Tabla 3 y 4). En cuanto al IC, la reducción de dos unidades porcentuales de proteína mostró un aumento ($P < 0.05$) del 4.8% y 5.2% en comparación a la dieta normal, en la estirpe Cobb 500

y Ross 308 respectivamente, debido al menor peso de las aves. La mortalidad general y mortalidad por SA no mostraron ($P > 0.05$) diferencia estadística entre dietas normales y reducidas para cada estirpe (Tabla 3 y 4). Respecto al rendimiento de la canal (Tabla 5 y 6) fue mayor ($P < 0.05$) con la dieta normal en ambas estirpes, mientras que para el rendimiento en pechuga fue mayor en pollos Cobb 500 con dieta normal. Para la composición tisular (centesimal) el rendimiento de músculo y hueso no mostró diferencias ($P > 0.05$) por reducción de proteína en la dieta de ambas estirpes. En pigmentación (Tabla 5 y 6) de la piel se reportó un mayor amarillamiento ($P < 0.05$) al reducir la proteína en la estirpe Ross 308 y sin cambios ($P > 0.05$) al reducir la proteína en Cobb 500, ya que canales más pequeñas se concentran más los pigmentos. El porcentaje de PC y EE en la carne no cambió ($P > 0.05$) al reducir la proteína en ambas estirpes (Tabla 5 y 6). En la Tabla 7, se observó una menor humedad ($P < 0.05$) en las excretas al reducir 2 puntos porcentuales en la estirpe Cobb 500 y en cuanto a la cantidad de nitrógeno excretado, disminuyó numéricamente en la estirpe Ross 308 al reducir la PC, con $P = 0.099$.

Al evaluar la productividad con el EPEF (Tabla 8), se observó un menor ($P < 0.05$) valor al día 35 en pollos alimentados con dietas reducidas en PC y sin diferencias ($P > 0.05$), a los 42 y 49 d de edad, entre dietas. En el caso de la estirpe Ross 308, el EPEF fue mayor ($P < 0.05$) a los 35, 42 y 49 d de edad, al usar dietas normales. Para el caso del MGB en pollo en pie la reducción de proteína en la dieta disminuyó su valor ($P < 0.05$) a los 35 en los pollos Cobb 500. En el caso de Ross 308 fue mayor ($P < 0.05$) a los 35 y 42 d al reducir la proteína y sin diferencias ($P > 0.05$) a los 49 d entre dietas. El MGB por venta de pollo en canal y en pechuga, sólo existió diferencia ($P < 0.05$) entre dieta normal y dieta reducida en PC en la estirpe Ross 308.

Tabla 3. Parámetros productivos obtenidos en pollos de engorda Cobb 500 alimentados con 2 dietas (Normal y Reducida en Proteína Cruda) después de 49 días de experimentación.

Dietas	Consumo de alimento (g)	Ganancia de peso (g)	Índice de Conversión (g/g)	Mortalidad por S.A. (%)	Mortalidad general (%)	CV* (%)
Normal	5643.7	2856.0a	1.98 ^a	11.66	21.0	7.66
Reducida	5643.2	2703.1b	2.09 ^b	9.00	14.7	8.24
EEM	60.2	51.1	0.028	2.86	3.76	0.45
P	0.995	0.045	0.013	0.517	0.246	0.377

Literales distintas (a, b) en la misma columna muestran diferencias estadísticas ($P < 0.05$). * CV = coeficiente de variación de los pesos. EEM= error estándar de la media.

Tabla 4. Parámetros productivos obtenidos en pollos de engorda Ross 308 alimentados con 2 dietas (Normal y Reducida en Proteína Cruda) después de 49 días de experimentación.

Dietas	Consumo de alimento (g)	Ganancia de peso (g)	Índice de Conversión (g/g)	Mortalidad por S.A. (%)	Mortalidad general (%)	CV* (%)
Normal	5560.9	2974.7	1.87 ^a	3.33	6.0	7.61
Reducida	5591.8	2858.3	1.96 ^b	5.00	7.0	8.02
EEM	90.3	64.8	0.020	1.39	1.79	0.65
P	0.811	0.221	0.005	0.406	0.698	0.662

Literales distintas (a, b) en la misma columna muestran diferencias estadísticas ($P < 0.05$). * CV = coeficiente de variación de los pesos. EEM= error estándar de la media.

Tabla 5. Características porcentuales de la canal y cortes primarios en pollos Cobb 500 alimentados con 2 dietas (Normal y Reducida en Proteína Cruda) después de 49 d de experimentación.

Dietas	Canal ¹	Pechuga ¹	Pectoral superficial ²	Pectoral profundo ²	Piernas + muslos ³	Grasa abdominal
Normal	71.0a	21.8a	24.6a	5.7a	21.7	1.1
Reducida	69.7b	19.8b	23.04b	5.4b	21.2	1.0
EEM	0.21	0.40	0.32	0.09	0.26	0.056
P	0.001	0.001	0.001	0.031	0.901	0.664
Composición de piernas³			Composición de muslos³		Piernas + Muslos	
	Músculo	Hueso	Músculo	Grasa visible	Hueso	Relación M:H
Normal	71.4	26.5	78.5	4.5	13.9	3.8
Reducida	69.9	27.8	77.3	5.3	15.2	3.4
EEM	1.13	0.95	0.93	0.47	0.49	0.13
P	0.328	0.325	0.347	0.305	0.072	0.088
Amarillamiento (b)		Pechuga		Piernas+Muslos		
		PC	EE	PC	EE	
Normal	42.92	23.31	3.09	18.90	7.60	
Reducida	43.54	23.57	2.52	19.11	8.01	
EEM	0.57	0.57	0.21	0.57	0.33	
P	0.431	0.754	0.079	0.456	0.383	

Literales distintas (a, b) en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas con $P < 0.05$. PC = proteína cruda. EE = extracto etéreo. EEM= error estándar de la media. ¹ rendimiento (%) calculado respecto al peso vivo previo a sacrificio; ² Rendimiento de músculos pectorales. ³ El porcentaje de músculo, hueso y grasa visible se obtuvo respecto al peso de piernas y muslos seleccionados al azar.

DISCUSIÓN

La reducción de 2 unidades porcentuales en las dietas de pollo de la estirpe Cobb 500 y Ross 308 incrementó el IC, a pesar de suplementar los 3 primeros AA limitantes (Lis, Met, Tre), contrario a lo obtenido por Saleh *et al.* (2021) que al reducir la PC también en 2 unidades porcentuales y manteniendo el mismo nivel de estos AA (Lis, Met, Tre), en fase de iniciación y crecimiento, de 1 a 35 d, las aves obtuvieron un mismo rendimiento productivo (GP, CA e IC) a la dieta control. Otros estudios explican que una reducción a partir de 3% de proteína en la dieta requiere la adición de otros AA como Arginina, Triptófano y AA ramificados para no afectar el rendimiento productivo (Belloir *et al.*, 2017; Ullrich *et al.*, 2018). Al agregar esos AA, la adición de AA libres incrementa entre 3.4 y 9.5 g/kg, tal como

reportaron Chrystal *et al.* (2020) al reducir la PC en dietas maíz-harina de soya, de 1.5 a 3%. En el presente estudio se consideró la adición de los tres primeros AA limitantes, a partir de AA sintéticos comerciales y disponibles en el mercado, teniendo en cuenta estudios que avalan que dicha suplementación permite obtener un mismo rendimiento productivo al reducir la PC en las dietas, sin que se eleve el costo del alimento, no obstante el precio de algunos AA sintéticos en el mercado aún es muy variable para incluirlos en toda formulación (Belloir *et al.*, 2017; Ullrich *et al.*, 2018; Saleh *et al.*, 2021). Sin embargo, es el presente estudio se incrementó el costo del alimento por kg de peso vivo, debido a una disminución del crecimiento. Sharifi *et al.* (2015) mencionaron que la deficiencia de Arg al reducir la PC dietaria, en iniciación y en crecimiento, en pollos Ross 308 a 2100 msnm, mostraron una reducción en

óxido nítrico (NO), cuyo precursor es la Arg de este vasodilatador que se opone a la hipertensión pulmonar, lo que se determinó como la causa de mayor mortalidad en las aves alimentadas con dietas reducidas en PC. En dicho experimento sólo proporcionaron Lis y Met como AA libres en las dietas reducidas, sin embargo, la utilización de antioxidantes compensó la deficiencia de Arg al observar que su adición mejoró la producción de ON, variable que no se realizó en el presente estudio. Por otra parte, las dietas reducidas en PC resultaron altas en glutatión peroxidasa, en corazón y pulmones, asociado al estrés oxidativo al que se sometieron los pollos con la reducción de proteína. Lo anterior puede explicar los resultados en el presente estudio, en el que la reducción de PC afectó el rendimiento productivo en la estirpe Cobb 500 y Ross 308 a una altura similar de 2250 msnm, aunque en el presente estudio, la mortalidad por SA no fue diferente entre dietas. Se ha reportado que puede haber estirpes más adaptadas a condiciones de gran altitud, que aunado a

una menor tasa de crecimiento pueden incluso manifestar un mejor rendimiento productivo, con reducción de mortalidad por SA (Kalia *et al.*, 2017). Chrystal *et al.* (2020) indicaron una mayor mortalidad en pollos, cuando disminuyeron la PC en un 5%, con efecto variable sobre el IC, cuando adicionaron 9 a 10 AA esenciales. En una de las pruebas al sustituir la soya por un concentrado de proteína de suero, como fuente de proteína de más rápida digestión, se mejoró el IC, pero se incrementó la mortalidad, aunque no detallaron la mortalidad por SA. Arce-Menocal *et al.* (2009) y Kalia *et al.* (2017) mencionaron que el SA está más ligado a la tasa acelerada de crecimiento en etapas tempranas, lo cual se ha buscado reducir, induciendo el retraso del crecimiento mediante la restricción alimenticia, la presentación del alimento (Cortés *et al.*, 2006; Brickett *et al.*, 2007;) y sin mucho éxito en programas alimenticios relacionados con la proporción de AA en la dieta (Brickett *et al.*, 2007; Woyengo *et al.*, 2010;).

Tabla 6. Características porcentuales de la canal y cortes primarios en pollos Ross 308 alimentados con 2 dietas (Normal y Reducida en Proteína Cruda) después de 49 d de experimentación.

Dietas	Canal ¹	Pechuga ¹	Pectoral superficial ²	Pectoral profundo ²	Piernas + muslos ²	Grasa abdominal
Normal	71.32a	21.3	23.8	5.5	22.9	1.1
Reducida	70.40b	20.4	23.4	5.3	22.9	1.0
EEM	0.27	0.34	0.35	0.11	0.27	0.049
P	0.025	0.119	0.410	0.163	0.989	0.475
		Composición de piernas³		Composición de muslos³		Piernas + Muslos
	Musculo	Hueso	Músculo	Grasa visible	Hueso	Relación M:H
Normal	70.6	27.3	77.9±1.0	4.7	15.6	3.5
Reducida	71.1	25.9	79.0±1.0	5.0	14.1	3.8
EEM	0.93	0.73	1.01	0.53	0.62	0.13
P	0.679	0.169	0.426	0.718	0.122	0.096
Amarillamiento (b)		Pechuga PC		Piernas+Muslos PC		EE
Normal	39.12a		24.42	2.37	20.27	8.34
Reducida	44.08b		23.46	2.82	20.09	8.81
EEM	0.737		0.71	0.35	0.82	0.37
P	0.001		0.361	0.382	0.887	0.397

Literales distintas (a, b) en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas con $P < 0.05$. PC = proteína cruda. EE = extracto etéreo. EEM= error estándar de la media. ¹ Rendimiento (%) calculado respecto al peso vivo previo a sacrificio; ² Rendimiento de músculos pectorales. ³ El porcentaje de músculo, hueso y grasa visible se obtuvo respecto al peso de piernas y muslos seleccionados al azar.

Tabla 7. Contenido de Humedad y Nitrógeno en excretas de pollos.

	Ross 308				Cobb 500			
	Normal	Reducida	EEM	P	Normal	Reducida	EEM	P
Humedad, %	79.2	78.6	0.25	0.127	80.4a	79.3b	0.16	0.009
Nitrógeno, %	5.68	5.22	0.18	0.099	5.08	5.10	0.10	0.739

Literales distintas (a, b) en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas con $P < 0.05$. EEM= error estándar de la media.

Tabla 8. Factor de Eficiencia de Producción Europea (EPEF) y Margen de ganancia bruto (MGB) por kg de producto (en pie, pollo en canal y carne de pechuga).

	Ross 308				Cobb 500			
	Normal	Reducida	EEM	P	Normal	Reducida	EEM	P
<i>Pollo en pie a los 35 d</i>								
EPEF	300.9a	264.5b	9.46	0.013	252.9a	224.9b	7.39	0.014
Costo alim /kg	13.02a	13.53b	0.17	0.044	13.38a	13.97b	0.11	0.001
MGB ² , %	62.7a	61.3b	0.48	0.045	61.7a	60.0b	0.32	0.001
<i>Pollo en pie a los 42 d</i>								
EPEF	328.5a	292.3b	5.69	0.001	252.4	244.03	11.34	0.605
Costo alim /kg	13.02a	13.47b	0.08	0.001	13.42	13.93	0.18	0.061
MGB ² , %	62.8a	61.5b	0.24	0.001	61.6	60.6	0.47	0.121
<i>Pollo en pie a los 49 d</i>								
EPEF	309.5a	280.6b	7.54	0.013	233.6	228.0	8.46	0.644
Costo alim /kg de peso vivo	14.19	14.39	0.15	0.365	14.43	14.73	0.20	0.321
MGB, %	59.4	58.8	0.42	0.359	58.7	57.9	0.58	0.323
<i>Pollo en canal</i>								
Cost alim / kg	18.29	19.75	0.51	0.051	19.87	19.81	0.44	0.918
MGB, %	66.7	64.0	0.93	0.051	63.7	64.0	0.83	0.796
<i>Pechuga</i>								
Cost alim / kg	61.28a	68.25b	1.74	0.008	64.93	69.35	1.88	0.101
MGB, %	58.5a	53.8b	1.17	0.008	54.1	52.2	1.37	0.053

Literales distintas (a, b) en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas con $P < 0.05$. EEM= error estándar de la media. ¹Costo total de la dieta = Sumatoria del costo del alimento por fase, obtenido a partir de los costos por kg de alimento: Iniciación RossN (\$7.73/kg), RossR (\$7.49/kg), CobbN (\$7.15/kg), CobbR (\$6.90/kg); Crecimiento RossN (\$7.70/kg), RossR (\$7.45/kg), CobbN (\$7.07/kg), CobbR (\$6.83/kg); Finalización RossN (\$7.77/kg), RossR (\$7.45/kg), CobbN (\$7.07/kg), CobbR (\$6.83/kg); de Retiro RossN (\$6.46/kg), RossR (\$6.30/kg), CobbN (\$6.35/kg), CobbR (\$6.20/kg). ²MGB = ganancia bruta respecto al costo de ventas = $[(\text{precio/kg producto} - \text{costo alimento/kg producto}) \times (\text{precio/kg producto})^{-1}] \times 100$ (Ingalls *et al.*, 2009)⁸⁴. Precios del Mercado local vigentes (SNIIM, 2025): \$35/kg pollo en pie, \$55/kg pollo en canal, \$148/kg carne de pechuga.

Con relación al rendimiento de la canal, Saleh *et al.* (2021) no reportó cambios en rendimientos (g/100 PV) en canal y en pechuga en pollos Cobb 500, al reducir 2% la PC en un ciclo de engorda de 35 d. Belloir *et al.* (2017), también reportaron un mismo rendimiento en canal luego de reducir 3% de PC. Anteriormente, Laudadio *et al.* (2012), registraron un menor rendimiento cárnico tanto en pechuga (*pectoral major*) como en piernas (*peroneous longus*), pero sin cambios en rendimiento de la canal, al reducir 2 y 4 puntos porcentuales de PC en la dieta. Tratándose de la carne de pechuga, se sabe que el requerimiento de lisina implica un mayor ajuste al requerido para ganancia de peso (Sterling *et al.*, 2006), de tal manera que es posible que el aumento de lisina cristalina en las dietas reducidas en PC compensó lo encontrado en pechuga de pollos con dieta normal, aunque sólo en la estirpe Ross 308. Por su parte, Corzo *et al.* (2010) señalaron que la estirpe Cobb 500 respondió de manera directamente proporcional al aumento en la proporción de AA. Esto no demostró diferencias en peso y rendimiento de la canal, aunque si mejores resultados en carne de pechuga y grasa abdominal, con un mayor y un menor rendimiento para cada uno de ellos al utilizar dietas con alta proporción de AA,

que se reflejó con una diferencia de 2.5 a 3 puntos porcentuales de PC. Estos mismos autores, propusieron un nivel óptimo de arginina digestible en etapa de finalización de 0.98%, 1.00% y 1.05% para ganancia de peso, peso de canal y peso de pechuga respectivamente, lo que refuerza la necesidad de optimizar los niveles de arginina al reducir la PC en las dietas de pollos de engorda. Por otra parte, Belloir *et al.* (2017) indicaron un aumento en el porcentaje de grasa abdominal a partir del 2 y 3% de reducción de proteína y Zhang *et al.* (2021) observaron este incremento, al reducir en un 20% la adición de AA no fijos a los 42 y a los 56 d de edad, equivalente para su estudio en una reducción mayor al 3% de PC. Esto es importante cuando se desea obtener mayor pigmentación amarilla en la piel, para satisfacer preferencias visuales de algunos consumidores al adquirir productos avícolas. El mayor contenido de grasa de la canal tiene correlación positiva con la concentración de xantofilas depositadas en la piel (Oscar *et al.*, 1995). En el presente estudio, el amarillamiento de la piel aumentó al reducir la PC dietaria en la estirpe Ross 308, aunque no fue posible asociarlo al contenido de grasa abdominal, grasa visible en el muslo o por el contenido de extracto

etéreo de la carne. Selle *et al.* (2022) explicaron que la digestión del almidón del trigo es más rápida que la digestión del almidón de maíz, por ende, puede mejorar el rendimiento y disminuir la lipogénesis “*de novo*”, lo cual puede reducir la cantidad de grasa en dietas reducidas en PC respecto a dietas que usan maíz o sorgo, lo que puede favorecer la presencia de un mayor engrasamiento al utilizar sorgo en dietas con reducción de proteína, como en el presente estudio, sin embargo, el uso del sorgo no fue un factor que influyera en un aumento evidente de grasa abdominal, entre dieta normal y dieta reducida. En la composición tisular (músculo, hueso y grasa visible) no se observaron diferencias por la reducción de PC en la dieta, tal como fue determinado en un estudio previamente, en la carne de pechuga al reducir la PC y aumentar la proporción de AA en pollos Cobb 500, aunque los autores si observaron un aumento en el porcentaje de PC en los muslos (Corzo *et al.*, 2010). Por otra parte, algunos autores (Belloir *et al.*, 2017; Ullrich *et al.*, 2018; Chrystal *et al.*, 2020), han señalado que, por cada unidad porcentual de PC reducida, es posible disminuir 13% la excreción de N en excretas, 9 % la emisión de amoníaco y 2% la humedad en cama, así como Brink *et al.* (2022) midieron un 30% menos de NH₃ en la cama y 35% menos de ácido úrico en excretas. En el presente experimento, se reportó 4% menos de liberación de N en excretas en la estirpe Ross 308 y 0.7% menos de humedad en estirpe Cobb 500, por cada unidad porcentual de PC reducida en la dieta. En el caso de los estudios que reportaron mayor porcentaje de excreción de nitrógeno se incluyeron AA libres a una alta proporción por arriba del perfil ideal de AA (Belloir *et al.*, 2017; Macelline *et al.*, 2021).

Al revisar el EPEF, que contempla IC, mortalidad y peso final, se mantuvo el mismo EPEF a los 35, 42 y 49 d en Cobb 500, sin importar la reducción de 2 unidades porcentuales de PC, lo que se conjugó bien con el MGB al final del ciclo de engorda (49 d). Esto no sucedió en la estirpe Ross 308 que mostró un menor valor de EPEF a los 35, 42 y 49 d al reducir la PC. Cabe explicar que un valor aceptable de EPEF debe superar un valor de 260, que en el caso de Cobb 500 no fue superado, en ambas dietas, sin embargo, el objetivo principal era establecer si el indicador se afectaba por la dieta. En cuanto al análisis económico, se ha observado que un máximo crecimiento y peso aunado a la eficiencia alimenticia, no puede asegurar el máximo retorno económico, particularmente cuando los precios de las fuentes proteicas son elevados (Pesti, 2009; Hirai *et al.*, 2019), por lo que la reducción de PC es una decisión que puede estar sujeta al precio de los insumos (energéticos y proteicos), ya que cuando estos precios se elevan, pueden hacer más notorio el beneficio de esta estrategia nutricional (Vieira *et al.*, 2004). En ese sentido, la forma de comercializar el pollo de

engorda, puede ayudar a incrementar la ganancia bruta, en cuanto se mejora el rendimiento de la canal y el de los cortes primarios (pechuga, piernas con muslos), y dependiendo de los precios en el mercado. En la presente investigación se observó que, empleando dietas reducidas en 2 unidades porcentuales de proteína, se disminuyen los costos del alimento en un 3.2%, aunque se ha indicado que se pueden reducir de 3.5 a 5% los costos por kg de alimento en cada una de las etapas productivas (Rahman *et al.*, 2002; Dozier III *et al.*, 2006). Lo anterior se reflejó en un mismo costo de alimento por kg de producto (pollo en pie a los 49 d, pollo en canal), aunque variable en pollo en pie a los 35 y 42 d que al ser menor lo producido, el costo de alimento por kg de producto fue mayor cuando se redujo la PC en la dieta. Corzo *et al.* (2010) mostraron un costo menor de alimento por kg de peso vivo y por kg de peso en canal, aunque un costo más alto por kg de pechuga pollos alimentados con dietas con baja proporción de AA, evaluados con precios altos de soya en el momento de la investigación. Hirai *et al.* (2019) obtuvieron un mejor MGB por kg de pollo procesado (pechuga, alas, piernas y muslos) al utilizar dietas altas y muy altas en AA a los 33 y 36 d de edad, respectivamente; alta proporción de AA (iniciación Lis 1.28%, crecimiento Lis 1.15% y finalización Lis 1.03%), y muy alta proporción de AA (iniciación Lis 1.39%, crecimiento Lis 1.26% y finalización Lis 1.12%). La inclusión de AA sintéticos implica una absorción más rápida de estos AA que los AA de la proteína intacta, lo cual optimiza una mejor retención de N y un aumento en la digestibilidad de AA (Vieira *et al.*, 2016; Liu y Selle, 2017) con lo que se puede hipotetizar que, si estos AA cristalinos son incluidos en mayor proporción al perfil ideal de AA en dietas reducidas en PC sobre las dietas normales, puede existir mayor probabilidad de obtener los mismos rendimientos.

CONSIDERACIONES

A pesar de que los costos de alimentación disminuyeron, debido principalmente a una disminución en el uso de pasta de soya, hasta un 20% en la fase de finalización y retiro, no compensó económicamente el menor rendimiento productivo de las aves al reducir la PC en la dieta a los 35 y 42 en ambas estirpes, aunque si con aparente oportunidad por similar MGB en venta de pollo en pie a los 49 d y en canal, en ambas estirpes. El concepto de proteína ideal implica formular la proteína con base a AA digestibles, para lo cual se requiere la adición de AA sintéticos, sujeto a disponibilidad, no obstante, se buscó elaborar dietas comerciales y económicamente viables, razón por la cual se suplementaron 3 AA limitantes (Lis, Met y Tre). Así mismo se buscó dar un enfoque integral al estudio, incluyendo parámetros que estuvieran asociados con el bienestar animal

(mortalidad por SA) y con el impacto ambiental (N excretado), pero hubo limitación en el recurso para evaluar más muestras representativas, que pueden ampliarse en futuras investigaciones.

CONCLUSIONES

La suplementación de tres aminoácidos limitantes (Lis, Met, Tre) en dietas reducidas en dos unidades porcentuales de PC, no impidió que se afectara algunos parámetros productivos. Por otra parte, la reducción de PC disminuyó el rendimiento de la canal y la pechuga en los pollos Cobb 500, sin disminuir la calidad de la carne (PC y EE); además de que la reducción de PC mejoró el amarillamiento de la piel en la estirpe Ross 308, lo que puede ser una oportunidad técnica y comercial cuando se busca este atributo. Se puede inferir que la reducción de proteína cruda pese a su efecto negativo en la producción puede tener oportunidad rentable de venta del pollo en pie a los 49 d en ambas estirpes al evaluar el MGB.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al MC. Jorge Miguel-Iriarte y MC. Alma Selene Vázquez-Delgado por su contribución en este estudio, así como al personal del CEIEPAv-FMVZ-UNAM.

Funding. This research was conducted with institutional support from UNAM. No external funding was received for the development of this study.

Conflict of interest. The author declare that they have no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. The research was previously submitted for its execution through an application approved by the Institutional Subcommittee for the Care and Use of Animals in Experimentation (SICUAE) attached to the Postgraduate Program in Animal Health and Production Science of the FMVZ-UNAM.

Data availability. Data available from the corresponding author Arturo Cortes-Cuevas, upon reasonable request.

Author contribution statement (credit): **A. García-Reyna** – Conceptualization, Formal Analysis, Investigation, Writing. **A. Cortés-Cuevas** – Project administration, Supervision, Investigation, Methodology. **G. Gómez-Verduzco** – Conceptualization, Methodology, Writing-review. **E. Ávila-González** – Funding acquisition, Formal Analysis, Writing-review and editing.

REFERENCES

- A.O.A.C. Official Methods of Analysis. 2002. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Arce-Menocal, J., Ávila-González E., López-Coello C., Garibay-Torres, L. and Martínez-Lemus LA., 2009. Body weight, feed particle size, and ascites incidence revisited. *Journal Applied Poultry Research*, 18, pp. 465-471. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00095>
- Baker, D.H., 2009. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. *Amino Acids*, 37, pp. 29-41. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0198-3>
- Belloir, P., Méda, B., Lambert, W., Corrent, E., Juin, H., Lessire, M. and Tesseraud, S., 2017. Reducing the CP content in broiler feeds: impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Animal*, 11 (11), pp. 1881-1889. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000660>
- Brickett, K.E., Dahiya, J.P., Classen, H.L., Annet, C.B. and Gomist, S., 2007. Impact of nutrient density, feed form, and photoperiod on the walking ability and skeletal quality of broiler chickens. *Poult Science*, 86 (10), pp. 2117-2125. <https://doi.org/10.1093/ps/86.10.2117>
- Brink, M., Janssens, G.P.J., Demeyer, P., Bagci, Ö. and Delezie, E., 2022. Reduction of dietary crude protein and feed form: Impact on broiler litter quality, ammonia concentrations, excreta composition, performance, welfare, and meat quality. *Animal Nutrition*, 9, pp. 221-303. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.12.009>
- Castañeda, M. P., Hirschler, E. M. and Sams, R. 2005. Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poultry Science*, 84 (1), pp. 143-147. <https://doi.org/10.1093/ps/84.1.143>
- Chrystal, P.V., Moss, A.F., Khoddami, A., Naranjo, V.D., Selle, P.H. and Liu, S.Y., 2020. Impacts of reduced-crude protein diets on key parameters in male broiler chickens offered maize-based diets. *Poultry Science*, 99, pp. 505-516. <https://doi.org/10.3382/ps/pez573>
- Cobb-Vantress. Cobb500: Broiler performance and nutrition supplement. Siloam Springs, AR:

- Cobb-Vantress; 2009.
- CONAFAB - Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal A.C., 2025. Comparativo de precios indicativos de materias primas (Lab Jalisco).
- Coneglian, J.L.B., Vieira, S.L., Berres, J. and Freitas, D.M.R., 2010. Responses of fast and slow growth broilers fed all vegetable diets with variable ideal protein profiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 9 (2). <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000200015>
- Cortés, C.A., Estrada, C.A. and Ávila, G.E., 2006. Productividad y mortalidad por síndrome ascítico en pollos de engorda alimentados con dietas granuladas o en harina. *Técnica Pecuaria en México*, 44 (2). <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1745>
- Corzo, A., Schilling, M.W., Loar II, R.E., Mejia, L., Barbosa, L.C.G.S. and Kidd, M.T., 2010. Responses of Cobb x Cobb500 broilers to dietary amino acid density regimens. *Journal of Applied Poultry Research*, 19, pp. 227-236. <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00172>
- Dotas, V., Gourdouvelis, D., Hatzizisis, L., Kaimakamis, I., Mitsopoulos, I. and Symeon, G., 2021. Typology, structural characterization and sustainability of integrated broiler farming system in Epirus, Greece. *Sustainability*, 13, pp.13084. <https://doi.org/10.3390/su132313084>
- Dozier III, W.A., Gordon, R.W., Anderson, J., Kidd, M.T., Corzo, A. and Branton, S.L., 2006. Growth, meat yield, and economic responses of broilers provided three- and four-phase schedules formulated to moderate and high nutrient density during a fifty-six-day production period. *Journal of Applied Poultry Research*, 15, pp. 312-325. <https://doi.org/10.1093/japr/15.2.312>
- Gheorghe, A., Habeanu, M., Olteanu, M., Turcu, R. P. and Dragomir, C. 2017. Effects of dietary sorghum, and triticale on performance, carcass traits and meat pH in broiler chickens. *Food and Feed Research*, 44 (2), pp. 181-187. <https://doi.org/10.5937/FFR1702181G>
- Gidado, A.S., Oguntove, M.A. and Akintunde, A.R., 2020. Evaluation of maize-sorghum mixture-based diets supplemented with exogenous enzyme on growth response, haematology and serum biochemical indices of starter broiler chickens. *Nigerian Journal of Animal Production*, 47 (4), pp. 158-166. <https://doi.org/10.51791/NJAP.V47I4.84>
- Hirai, R.A., Coto, C., Caldas, J., McDaniel, C.D. and Wamsley, K.G.S., 2019. Evaluating the response of Cobb MV x Cobb 500 broilers to varying amino acid density regimens for a small bird program. *Journal of Applied Poultry Research*, 28 (4), pp. 943-962. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz055>
- JMP Statistical Discovery LLC., 2025. JMP® version 11 [Software informático]. Cary, Carolina del Norte.
- Kalia, S., Barthi, V.K., Gogoi, D., Giri, A. and Kumar, B., 2017. Studies on the growth performance of different broiler strains at high altitude and evaluation of probiotic effects on their survivability. *Scientific Reports*, 7 (46074). <https://doi.org/10.1038/srep46074>
- Khajali, F., 2022. Managing broiler production challenges at high altitude. *Veterinary Medicine and Science*, 8 (4), pp. 1519-1527. <https://doi.org/10.1002/vms3.784>
- Kidd, M.T., Maynard, C.W. and Mullenix, G.J., 2021. Progress of amino acid nutrition for diet protein reduction in poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12 (45). <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00568-0>
- Laudadio, V., Passantino, L., Perillo, A., Lopresti, G., Passantino, A., Khan, R.U. and Tufarelli, V., 2012. Productive performance and histological features of intestinal mucosa of broiler chickens fed different dietary protein levels. *Poultry Science*, 91 (1), pp. 265-270. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01675>
- Liu, S.Y. and Selle, P.H., 2017. Starch and protein dynamics in low-protein diets supplemented with crystalline amino acids. *Animal Production Science*, 57, pp. 2022-2256. <https://doi.org/10.1071/AN17296>
- López, C.C., Arce, M.J., Avila, G.E. and Vasquez, P.C., 1991. Investigaciones sobre el síndrome ascítico en pollos de engorda. *Ciencia Veterinaria*, 5, pp. 1-48. <https://share.google/WJTW3R8prZbRqWg9n>
- Macelline, S.P., Chrystal, P.V., Greenhalgh, S.,

- Toghyani, M., Selle, P.H. and Liu, S.Y., 2021. Evaluation of dietary crude protein concentrations, fishmeal, and sorghum inclusions in broiler chickens offered wheat-based diet Box-Behnken response surface design. *PloS ONE*, 16 (11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260285>
- Mavromati, E., Sena, L., Gjeta, Z. and Mavromati, J., 2018. Assessing the economic efficiency in some broiler farms through the European Production Efficiency Factor (EPEF). *European Academic Research*, VI (9), pp. 5354-5362. <https://share.google/IIH46jp88qkBP7T40>
- Oscar, T.P., Mitchell, D.M., Engster, H.M., Malone, B.R. and Watson, W.M., 1995. Growth performance, carcass composition, and pigmentation of broilers fed supplemental nickel. *Poultry Science*, 74 (6), pp. 976-982. <https://doi.org/10.3382/ps.0740976>
- Pesti, G.M., 2009. Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broiler feeds in biological performance. *Journal of Applied Poultry Research*, 18 (3), pp. 477-486. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00105>
- Rahman, M.S., Abib, P.A., Basak, B., Uddin, T.S., and Kumar, B.S., 2002. Effect of feeding low protein diets on the performance of broiler during hot-humid season. *International Journal of Poultry Science*, 1 (1), pp. 35-39.
- Ross., 2009. Ross broiler management handbook. Aviagen. Accessed Apr. 22, <http://www.aviagen.com>.
- Rubio-García, M. E., Rubio-Lozano, M. S., Ponce-Alquicira, E., Rosario.Cortés, C., Nava, G. M. and Castañeda-Serrano, M. P. 2015. Improving appearance and microbiologic quality of broiler carcasses with an allostatic modulator. *Poultry Science*, 94 (8), pp. 1957-1963. <https://doi.org/10.3382/ps/pev144>
- Saleh, A.A., Amber, K.A., Soliman, M.M., Soliman, M.Y., Morsy, W.A., Shukry, M. and Alzawqari, H., 2021. Effect of Low Protein Diets with amino acids supplementation on growth performance, carcass traits, blood parameters and muscle amino acids profile in broiler chickens under high ambient temperature. *Agriculture*, 11, pp.185. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020185>
- Selle, P.H., Macelline, S.P., Greenhalgh, S., Chrystal, P.V. and Liu, S.Y., 2022. Identifying the shortfalls of crude protein-reduced, wheat-based broiler diets. *Animal Nutrition*, 11, pp. 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.07.009>
- Selle, P.H., Moss, A.F., Truong, H.H., Khoddami, A., Cadogan, D.J., Godwin, I.D. and Liu, S.Y., 2018. Outlook: Sorghum as a feed grain for Australian chicken-meat production. *Animal Nutrition*, 4, pp. 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.08.007>
- Sharifi, M.R., Khajali, F. and Hassanpour, H., 2015. Antioxidant supplementation of low-protein diets reduced susceptibility to pulmonary hypertension in broiler chickens raised at high altitude. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100 (1), pp. 69-76. <https://doi.org/10.1111/jpn.12333>
- SNIIM - Sistema Nacional de Información de Mercados., 2025. Secretaría de Economía, Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>
- Sterling, K.G., Pesti, G.M. and Bakalli, R.I., 2006. Performance of different broiler genotypes fed diets with varying levels of dietary crude protein and lysine. *Poultry Science*, 85 (6), pp. 1045-1054. <https://doi.org/10.1093/ps/85.6.1045>
- Ullrich, C., Langeheine, M., Brehm, R., Taube, V., Siebert, D. and Visscher, C., 2018. Influence of reduced protein content in complete diets with a consistent arginine-lysine ratio on performance and nitrogen excretion in broilers. *Sustainability*, 10 (3827). <https://doi.org/10.3390/su10113827>
- Vieira, S.L., Lemme, A., Goldenberg, D.B. and Brugalli, I., 2004. Responses of growing broilers to diets with increased sulfur amino acids to lysine ratios at two dietary protein levels. *Poultry Science*, 83 (8), pp. 1307-1313. <https://doi.org/10.1093/ps/83.8.1307>
- Vieira, S.L., Reali, O.A., Berres, J., Moreira, D.F., Coneglian, J.L.B. and Martínez, P.J.E., 2007. Responses of female broilers from two strain crosses to diets with differing ideal protein profiles. *Ciencia Rural*, 37 (6), pp. 1753-1759. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600039>
- Vieira, S.L., Stefanello, C. and Cemin, H.S., 2016. Lowering the dietary protein levels by the use of synthetic amino acids and the use of a

- mono component protease. *Animal Feed Science and Technology*, 221, pp. 262-266. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.001>
- Woyengo, T.A., Golian, A., Bennet, C., Muc, H. and Guenter, W., 2010. Performance of two 1970s and Ross308 broiler strains fed drug-free low protein and recommender-protein diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 19 (2), pp. 101-111.
- Zhang, B., Zhang, X., Wes Shilling, M., Li, X., Tabler, G.T., Peebles, E.D. and Zhai, W., 2021. Effects of broiler genetic strain and dietary amino acid reduction on meat yield and quality (part II). *Poultry Science*, 100(4). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101033>
- Zuidhof, M.J., Schneider, B.L., Carney, V.L., Korver, D.R. and Robinson, F.E., 2014. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978 and 2005. *Poultry Science*, 93, pp. 2970-2982. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>