

Efectos de genotipo, consumo de alimento y día de medición en las variables metabolizables de gallos

Effects of genotype, feed intake and day of measurement on metabolizable variables of roosters

Eissy Pérez-Rosas² , Fernando González-Cerón² , Arturo Pro-Martínez¹ , Berenice Hernández-Blancas¹ , José Isidro Alejos-De la Fuente² , Eliseo Sosa-Montes^{2*} 

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. Montecillo, CP. 56230. Municipio de Texcoco, Estado de México, México.

²Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, CP. 56230. Municipio de Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: eliseososa@yahoo.com.mx

Artículo científico

Recibido: 14 de mayo de 2024

Aceptado: 28 de abril 2025

RESUMEN. Se realizó un estudio para conocer la interacción del genotipo de gallos (Criollo y Sasso) con el consumo de alimento (100 y 50 g día⁻¹) y los efectos del día de medición (1 a 7 días consecutivos) en las variables metabolizables (g día⁻¹ o cal día⁻¹, y %): proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y energía (expresada además en kcal g⁻¹ de dieta). Fueron 84 observaciones por variable, 6 del genotipo Criollo, 6 del Sasso, 7 días: (6 + 6)×7 bajo dos diseños completamente aleatorizados, factor tiempo con 7 niveles (días de medición) y arreglo factorial 2×2 (dos genotipos por dos niveles de consumo). Los días 1 a 4 casi todas las variables fueron similares ($p > 0.05$) pero mayores ($p < 0.05$) que sus valores en los días 5 a 7. Contrariamente a las demás variables de respuesta, que no cambiaron o disminuyeron, del día 1 al 4 el extracto etéreo metabolizable aumentó. Los gallos Criollos metabolizaron más proteína que los Sasso, quienes metabolizaron más lípidos que los primeros. Todas las variables de respuesta fueron mayores cuando el consumo fue de 100 g día⁻¹ que cuando fue de 50 g día⁻¹. Aunado al manejo de más de 4 días, el consumo disminuido de alimento también provoca estrés por lo que se recomienda hacer la medición de energía y nutrientes metabolizables de las dietas, los dos primeros días después del proceso de adaptación y entrenamiento, y que los gallos consuman por lo menos 100 g de alimento por día.

Palabras clave: Criollo, consumo de alimento, estrés, manejo, Sasso.

ABSTRACT. A study was conducted to determine the interaction of genotype (Creole and Sasso roosters) with feed intake (100 and 50 g day⁻¹) and the effects of evaluation day (1 to 7 consecutive days) on the metabolizable variables (g day⁻¹ or cal day⁻¹, and %): crude protein, ether extract, crude fiber, and energy (also expressed in kcal g⁻¹ of diet). There were a total of 84 observations per variable, 6 Creole, 6 Sasso, 7 days: (6 + 6)×7 under two completely randomized designs, time factor with 7 levels (days of evaluation) and 2×2 factorial arrangement (two genotypes per two levels of intake). On days 1 to 4, almost all variables were similar ($p > 0.05$) but higher ($p < 0.05$) than their values on days 5 to 7. Contrary to the other response variables, which did not change or decreased, from day 1 to 4, the metabolizable ether extract increased. Creoles metabolized more protein than Sasso roosters, which metabolized more lipids than Creoles. All response variables were higher when the feed intake was 100 g day⁻¹ than when it was 50 g day⁻¹. In addition to the management of more than 4 days, low feed intake also causes stress, so it is recommended to evaluate energy and metabolizable nutrients in the diets during the first two days after the adaptation and training process, and that the roosters consume at least 100 g of feed per day.

Keywords: Creole, feed consumption, stress, Sasso, management.

Como citar: Pérez-Rosas E, González-Cerón F, Pro-Martínez A, Hernández-Blancas B, Alejos-De la Fuente JI, Sosa-Montes E (2025) Efectos de genotipo, consumo de alimento y día de medición en las variables metabolizables de gallos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4125. DOI: 10.19136/era.a12n2.4125.

INTRODUCCIÓN

Al momento de evaluar la eficiencia de una dieta en el animal, existe el concepto de energía metabolizable, también se puede hablar de proteína, grasa, fibra, carbohidratos, y cualquier otro nutriente que es absorbido por el organismo. Estos nutrientes metabolizables pueden expresarse por día, en % o por gramo de alimento consumido. Al respecto, Pirgozliev *et al.* (2024) mencionan este concepto de nutrientes metabolizables para pollos de engorda. Mientras que, Anwar *et al.* (2023) y Abella *et al.* (2024) mencionan valores de calor de combustión, materia seca, fibra cruda, proteína, lípidos y cenizas metabolizables. También se reportan datos de materia seca, calcio y fósforo metabolizables (Adekoya y Adeola 2023). Estos nutrientes son fáciles de analizar químicamente y pueden evaluarse con los métodos biológicos rápidos propuestos para la medición de la energía metabolizable aparente (EMA) o verdadera (EMV).

La energía metabolizable en aves se ha venido estudiando desde hace varios años (Li *et al.* 2024, Ye *et al.* 2024, Noblet *et al.* 2024, Aguirre *et al.* 2024). Estos autores citan los trabajos pioneros de Hill, Sibbald y Farrell y sus colaboradores, mismos que datan de más de 40 años. Paralelamente se ha estudiado en relación con el metabolismo del nitrógeno, fósforo y calcio (Dias *et al.* 2023, Adekoya y Adeola 2023). Se han propuesto la energía metabolizable aparente (EMAn), verdadera (EMV) y a balance cero de nitrógeno (EMAn o EMVn), las cuales se han evaluado para aves jóvenes como pollitos (Khalil *et al.* 2023, Abella *et al.* 2024), o aves adultas como gallos maduros (Li *et al.* 2023). La energía metabolizable se ha medido haciendo recolección total de heces o usando marcadores inertes como óxido de cromo, dióxido de titanio, cenizas insolubles en ácido u óxido férrico (Macie *et al.* 2020, Adekoya y Adeola 2023, Eshtejarani *et al.* 2024, Reid *et al.* 2024), y se ha medido haciendo alimentación forzada, restringida o *ad libitum* (Li *et al.* 2024, Wu *et al.* 2020).

Hay controversia respecto al uso de EMA o EMAn ésta última subestima el valor de energía del alimento por lo que se sugiere formular con EMA en lugar de EMAn (Abdollahi *et al.* 2021). Las EMVs requieren estimar por regresión o coleccionar las excretas de gallos en ayuno, cuyo calor de combustión es la energía metabólica y endógena (Aguirre *et al.* 2024, Wu *et al.* 2020). También se pueden usar muestras del contenido ileal para la determinación de la energía digestible (Xavier *et al.* 2024) o medir la energía retenida en el cuerpo del animal (Barzegar *et al.* 2020). Estos métodos requieren el sacrificio de animales y el segundo mide más bien la energía neta de crecimiento o de mantenimiento. Sánchez-Peña *et al.* (2017) mencionan que el valor de EMA de una dieta depende de muchos factores como edad, tipo de ingrediente, genotipo, frecuencia de alimentación, sexo y consumo de alimento. Jiang *et al.* (2024), encontraron que las aves adultas poseen más habilidad para metabolizar la energía de los ingredientes que las jóvenes.

En el presente trabajo no se utilizó alimentación forzada, los valores obtenidos son aparentes (no verdaderos) y no se utilizaron gallos en ayuno. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar la energía y los nutrientes metabolizados de una dieta en cantidad (g día^{-1} o cal día^{-1}) y en porcentaje usando dos genotipos de gallos (Criollo y Sasso) y dos niveles de consumo (100 y 50 g día^{-1}), asimismo conocer el efecto del tiempo de medición (1 a 7 días) en los nutrientes metabolizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aves

Se utilizaron seis gallos Criollos mexicanos y seis gallos de raza Sasso de 29 semanas de edad alojados en jaulas individuales (1×1×1 m, a un m del piso), con comedero y bebedero, y una charola de plástico debajo de cada jaula para la recolección de excretas. El peso promedio de los Criollos fue 2.29 ± 0.172 y el de los Sasso 2.75 ± 0.265 kg, ambos numéricamente parecidos entre sí, aunque estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Las jaulas están dentro de una caseta que posee cortinas móviles y ambiente natural. Todos los animales se manejaron siguiendo las recomendaciones del Comité de Bienestar Animal del Colegio de Posgraduados (COLPOS 2016).

Recolección de excretas y consumo

Se utilizó el método de recolección total de excretas (Wu *et al.* 2020, Eshtejarani *et al.* 2024), cuyas impurezas se retiraron usando pinzas de disección cada 24 h por 7 días. Las excretas recolectadas se colocaron en bolsas de plástico a 0 °C. Previo a su secado (50 °C) y para evitar pérdidas de nitrógeno, se agregó 1 cm³ de ácido sulfúrico 1 N por cada 10 g de excretas para obtener un pH alrededor de 5, y posteriormente se molieron por malla de 1 mm resultando un polvo fino. Después de entrenar y adaptar los gallos a las dietas durante 2 días (Li *et al.* 2023, Wu *et al.* 2020), los siguientes 4 se ofrecieron 100 g de alimento a cada gallo y 50 g otros 3 días más. El agua se proporcionó siempre *ad libitum*.

Nutrientes metabolizables o variables de respuesta

En las excretas y en el alimento, se determinaron proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y calor de combustión con base a las metodologías del Análisis Proximal y de Van Soest (AOAC 1990, Van-Soest *et al.* 1991). Estas determinaciones sirvieron para calcular los nutrientes metabolizables inicialmente en g día⁻¹ o en kcal día⁻¹ y después en %: (nutriente en el alimento en %×consumo en g o kcal - nutriente en las excretas en %×excretas en g o kcal)/100%. Los valores anteriores relacionados a la cantidad de nutrientes en el alimento consumido (100%) sirvieron para calcular los nutrientes metabolizables en % y divididos entre el número de días, quedaron en g o kcal día⁻¹. Además, dividiendo la energía metabolizada entre el consumo en g, se calculó la EMA de la dieta en kcal g⁻¹. Todas éstas se consideran las variables de respuesta a los distintos factores en estudio (día de evaluación, genotipo y consumo de alimento).

Sitios experimentales

Las aves estuvieron en la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados y las determinaciones químicas se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Ambas instituciones ubicadas en el Municipio de Texcoco, Estado de México, México.

Dieta

En la Tabla 1 se muestra la dieta utilizada, 50% de harina de trébol blanco y 50% de una dieta basal. La dieta se proporcionó en forma de pellets. Los análisis calculados se realizaron con base a Rattray y Joyce (1974), Berardo (1997), Cammell *et al.* (1986), Stypiñsk (1993) y NRC (1994).

Tabla 1. Dieta otorgada de la cual se ofrecieron 100 o 50 g por gallo por día.

Ingredientes	Contenido, % BTO	Nutrientes (calculados)	Contenido, % BS
Trébol	50.00	Energía metabolizable	2.75
Maíz Amarillo, grano	29.09	Proteína cruda	21.80
Pasta de soya	13.38	Fibra cruda	10.02
Olote de maíz	5.44	Extracto etéreo	3.30
Ortofosfato de calcio	0.76	Cenizas	7.94
Carbonato de calcio	0.58	Humedad	12.19
Sal común	0.18	Lisina	0.96
Bicarbonato de sodio	0.05	Metionina	0.35
L-Lisina-HCl	0.15	Metionina + Cistina	0.56
DL-Metionina	0.12		
L-Treonina	0.08		
Vitaminas y Minerales ¹	0.20		
Total	100.00		

¹Por kilogramo de dieta basal (sin trébol): vitamina A, 12.000 UI; vitamina D3, 1.000 UI; vitamina E, 60 UI; vitamina K, 5.0 mg; vitamina B2, 8.0 mg; vitamina B12, 0.030 mg; ácido pantoténico, 15 mg; niacina, 50 mg; ácido fólico, 1.5 mg; colina, 300 mg; biotina, 0.150 mg; tiamina, 3.0 mg; hierro, 50.0 mg; zinc, 110 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 12.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo, 1.0 mg.

Tratamientos y diseño experimental

Se establecieron dos diseños completamente aleatorizados, uno con arreglo factorial 2×2, con 6 repeticiones, consumo (100 y 50 g) y genotipo (Criollo y Sasso). Otro diseño fue de un solo factor (tiempo de medición de 1 a 7 días). La unidad experimental fue un gallo, con 6 repeticiones de cada genotipo y 7 días en observación. Por tanto, el número total de observaciones fue 6 gallos×2 genotipos×7 días = 84.

Análisis estadísticos

Las medias del factor genotipo se compararon con la prueba F de Fisher ($p < 0.05$) y así se hizo con las medias del factor consumo. Las medias de los 7 tratamientos del factor tiempo fueron separadas por medio de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el paquete estadístico SPSS® (2011)

RESULTADOS

Efectos del factor tiempo

En la Tabla 2 se presentan los efectos del factor tiempo en todas las variables metabolizables de respuesta evaluadas. Los días 1 a 4 casi todas las variables fueron similares ($p > 0.05$) pero mayores que sus valores en los días 5 a 7. Es decir, al avanzar el día de evaluación, la mayoría de las variables disminuyeron ($p < 0.05$). Por ejemplo, de los días 1 a 7, la PC metabolizable disminuyó ($p < 0.05$)

11.9 g día⁻¹ y la EMA disminuyó ($p < 0.05$) 197.2 kcal día⁻¹ y varió ($p < 0.05$) de 12.76 a 13.23 en los días 1 a 4 y de 1.33 a 2.93 g día⁻¹ en los días 5 a 7 (Tabla 2).

Tabla 2. Efectos del tiempo de medición en la energía y los demás nutrientes metabolizables.

Variable	Día						
	1	2	3	4	5	6	7
Proteína cruda (PC) metabolizable, g día ⁻¹	13.23 ^{a*}	13.80 ^a	12.76 ^a	12.96 ^a	1.66 ^b	2.93 ^b	1.33 ^b
PC metabolizable, %	56.77 ^a	59.22 ^a	56.43 ^a	57.33 ^a	14.83 ^b	25.89 ^{ab}	11.73 ^b
Extracto etéreo (EE) metabolizable, g día ⁻¹	1.03 ^b	1.04 ^b	1.74 ^a	1.68 ^a	0.69 ^c	0.79 ^c	0.77 ^c
EE metabolizable, %	80.67	80.90	86.87	83.70	69.22	78.72	76.33
Fibra cruda (FC) metabolizable, g día ⁻¹	6.62 ^{ab}	6.98 ^a	5.82 ^{bc}	5.64 ^c	0.33 ^e	1.81 ^d	1.79 ^d
FC metabolizable, %	61.01 ^a	64.33 ^a	58.56 ^a	56.71 ^a	6.70 ^c	36.44 ^b	35.95 ^b
Energía metabolizable (EM), kcal día ⁻¹	328.0 ^a	329.5 ^a	304.7 ^b	305.6 ^b	106.16 ^d	131.61 ^c	130.80 ^c
EM, %	82.71 ^a	83.09 ^a	80.47 ^a	80.72 ^a	56.08 ^c	69.53 ^b	69.10 ^b
EM, kcal g ⁻¹ de dieta	3.28 ^a	3.29 ^a	3.05 ^a	3.05 ^a	2.12 ^c	2.63 ^b	2.62 ^b

*Letras distintas en un mismo renglón indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

La EMA de la dieta ofrecida los días 1 a 2 produjo el siguiente valor de EMA: 3.29 kcal g⁻¹ y la de los días 3 y 4 resultó ser de 3.05 kcal g⁻¹, valores estadísticamente iguales ($p > 0.05$). Mientras que la EMA en kcal día⁻¹ y la FC en g día⁻¹ disminuyeron del día 1 al 7, el extracto etéreo metabolizable en g día⁻¹ aumentó del día 1 al 4, y posteriormente disminuyó ($p < 0.05$).

Efectos del factor genotipo

En la Tabla 3 se muestran los efectos del factor genotipo, los gallos Criollos superaron a los Sasso en proteína cruda metabolizable, tanto en g día⁻¹ como en %. Contrariamente, el genotipo comercial metabolizó mejor el extracto etéreo, o los lípidos en g día⁻¹.

Tabla 3. Efectos del genotipo en la energía y los demás nutrientes metabolizables.

Variable	Genotipo	
	Criollo	Sasso
Proteína cruda (PC) metabolizable, g día ⁻¹	9.13 ^{a*}	5.84 ^b
PC metabolizable, %	47.06 ^a	26.99 ^b
Extracto etéreo (EE) metabolizable, g día ⁻¹	0.99 ^b	1.12 ^a
EE metabolizable, %	78.88	79.12
Fibra cruda (FC) metabolizable, g día ⁻¹	3.95	3.66
FC metabolizable, %	44.34	42.32
Energía metabolizable (EM), kcal día ⁻¹	222.48	217.76
EM, %	73.38	73.28
EM, kcal g ⁻¹ de dieta	2.83	2.80

*Letras distintas en un mismo renglón indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

Efectos del factor consumo

En la Tabla 4 se muestran los efectos del factor consumo de alimento. Todas las variables metabolizables de respuesta fueron mayores ($p < 0.05$) cuando el consumo fue de 100 g día⁻¹ que cuando fue de 50 g día⁻¹.

Tabla 4. Efectos del consumo en la energía y los demás nutrientes metabolizables.

Variable	Consumo, g día ⁻¹	
	100	50
Proteína cruda (PC) metabolizable, g día ⁻¹	13.00 ^a	1.98 ^b
PC metabolizable, %	56.57 ^a	17.49 ^b
Extracto etéreo (EE) metabolizable, g día ⁻¹	1.36 ^a	0.75 ^b
EE metabolizable, %	83.25 ^a	74.76 ^b
Fibra cruda (FC) metabolizable, g día ⁻¹	6.30 ^a	1.31 ^b
FC metabolizable, %	60.29 ^a	26.36 ^b
Energía metabolizable (EM), kcal día ⁻¹	317.38 ^a	122.86 ^b
EM, %	81.75 ^a	64.90 ^b
EM, kcal g ⁻¹ de dieta	3.17 ^a	2.46 ^b

*Letras distintas en un mismo renglón indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

Interacciones entre los factores genotipo×consumo

La interacción de estos dos factores solo fue significativa ($p < 0.05$) en la variable extracto etéreo metabolizable (g día⁻¹). Esta variable fue similar entre genotipos cuando el consumo de alimento fue 50 g día⁻¹, pero cuando fue de 100 g día⁻¹, el genotipo Sasso retuvo o metabolizó más gramos de extracto etéreo por día (Figura 1). En esta figura también se observa que cuando los gallos consumieron 50 g día⁻¹ el extracto etéreo metabolizable fue menor ($p < 0.05$) que cuando consumieron 100 g día⁻¹ de alimento.

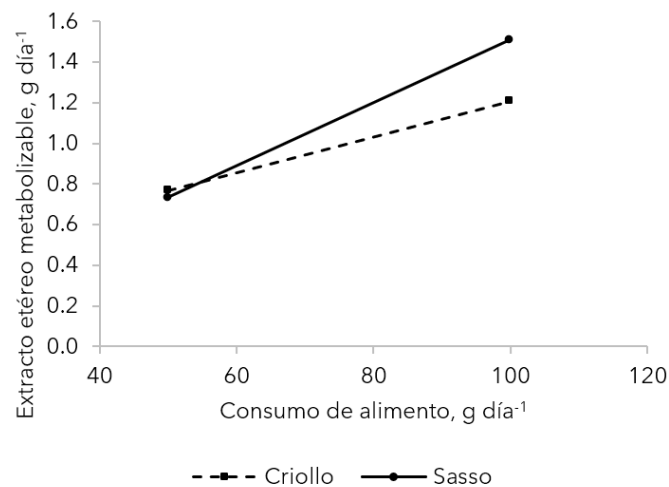


Figura 1. Interacción de los factores genotipo y consumo de alimento en la variable extracto etéreo metabolizable en g día⁻¹. Esta fue la única interacción significativa ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

Efectos del factor tiempo

Al medir EMA y EMAn, Macie *et al.* (2020) reportaron que las aves de mayor edad son más eficientes en la utilización de la energía de la dieta. En el presente estudio, todas las aves fueron adultas por lo que la disminución de los nutrientes metabolizables no se debió a la edad. Respecto a los tiempos para la recolección de excretas, Schang y Hamilton (1982) recomiendan 3 días para ensayos de EMV y 2 días para ensayos de EMA, y sugieren un periodo de recolección de excretas de 2 días para obtener mediciones precisas. En el presente estudio, la EMA en kcal día⁻¹ disminuyó ($p < 0.05$) a partir del día 3 de medición (Tabla 2). Esto probablemente se debió a que la dieta ofrecida los días 1 y 2 resultó con menos cenizas (7.77%) que la ofrecida los días 3 y 4 (8.01%) y como es sabido, las cenizas no contienen energía (Usman *et al.* 2020).

Los mayores valores de los nutrientes metabolizables los días 1 a 4 con respecto a los de los días 5 a 7, se deben a que durante este último periodo experimental los gallos tenían más manejo que en el primero y como es sabido el manejo causa estrés (Adhikari *et al.* 2020) que a su vez disminuyó la EMA y otros nutrientes metabolizables. El aumento de extracto etéreo metabolizable (g día⁻¹), el día 3, probablemente se debe a que el animal tiende a compensar el estrés de la falta de energía (kcal día⁻¹) aumentando su capacidad de metabolizar lípidos e incrementando su habilidad para retenerlos. Bartz *et al.* (2018) mencionan que el estrés calórico disminuye el desarrollo productivo y Li *et al.* (2024) mencionan que aumenta la deposición de lípidos. En este estudio no se produjo un estrés calórico si no un estrés de manejo. Los lípidos producen colesterol, que es el precursor de corticosterona en la corteza adrenal (Ieko *et al.* 2019) y cuyos niveles aumentan en pollos estresados durante más de 60 segundos (Bedanova *et al.* 2007, Scanes *et al.* 2020). No obstante, este primer aumento de lípidos metabolizables entre los días 1 a 4, de los días 5 al 7 se perdió mucho de la capacidad para metabolizar los nutrientes evaluados (Tabla 2). Al respecto, Wu *et al.* (2020) recomiendan usar el mismo tipo de aves cuando se miden EMA de ingredientes. En este trabajo se usó el mismo gallo en días consecutivos. Mientras que Sibbald y Morse (1982) recomiendan un gallo por jaula. A partir de los resultados del presente estudio y en concordancia con Schang y Hamilton (1982) y Li *et al.* (2024), quienes recomiendan un periodo de 2 días, se recomienda realizar el ensayo de EMA y de los demás nutrientes metabolizables, entre el primero y el cuarto día consecutivos después de la adaptación de los gallos a la dieta, de preferencia los días 1 y 2, para minimizar el estrés del manejo.

Efectos del factor genotipo

La mayor proteína cruda (en g día⁻¹ y %) y el menor extracto etéreo metabolizable (en g día⁻¹) de los Criollos respecto a los gallos Sasso (Tabla 3), coinciden con Paredes y Vásquez (2020), quienes indicaron que la genética del ave criolla incrementa el rendimiento productivo, y que la grasa abdominal fue mayor en el genotipo comercial que en el Criollo. Por su cercanía genética con el ave roja de la jungla, ancestro de las aves domésticas, los gallos criollos utilizaron con mayor eficiencia la proteína que la grasa del alimento. Comparadas con sus correspondientes genotipos comerciales, se ha demostrado que el ave roja de Malasia posee mayor concentración de espermatozoides (Malik *et al.* 2013), que las aves nativas de Tailandia poseen menos grasa, colesterol y triglicéridos

(Chaiwang *et al.* 2023), y que las de México producen mayor peso de yema y espesor de cascarón (Sosa-Montes *et al.* 2022).

Debido a su rusticidad bien conocida (Adamu *et al.* 2019), los gallos Criollos mostraron alta disponibilidad de proteína para formar anticuerpos y poder sobrevivir (Solanki y Devi 2020), y así superar el estrés del manejo durante todos los días de evaluación. Por lo que, el genotipo Criollo mostró mayor capacidad para utilizar la proteína que el Sasso (Tabla 3).

Efectos del factor consumo

El consumo de 100 g día⁻¹ produjo valores más cercanos a los de la literatura consultada. Por ejemplo, usando pollos de engorda, Lasek *et al.* (2020) reportaron valores de proteína cruda metabolizable para grano de maíz que fueron más altos (76% contra 56.57% con 100 g día⁻¹ de consumo del presente estudio), esto es debido probablemente a que la dieta (Tabla 1) contenía 50% de trébol. Estos mismos autores reportaron, 57.5% de extracto etéreo metabolizable, valor más bajo que el del presente estudio que fue 83.25% con 100 g día⁻¹ de consumo (Tabla 4). Santos *et al.* (2015) reportaron valores de 90.4% como proteína y 93.3% como extracto etéreo metabolizables del maíz. El mayor valor de lípidos metabolizables (en cal día⁻¹ y en %, Tabla 4) cuando los gallos consumieron 100 g día⁻¹ de alimento (con respecto a 50 g día⁻¹) probablemente incrementó la EMA, que a su vez aumentó los valores de los demás nutrientes metabolizables ($p < 0.05$). De igual forma, Alvarenga *et al.* (2013) mencionan que el efecto extra calórico de los lípidos consumidos aumenta la disponibilidad de los nutrientes del alimento.

Ante un consumo tan reducido de 50 g, la utilización de la energía y de todos los demás nutrientes se vio comprometida. Esto concuerda con Sibbald (1980) quien recomienda para los bioensayos, que los gallos adultos no consuman menos de 30 g, ya que ello disminuiría la energía metabolizable aparente en kcal g⁻¹. Sibbald y Morse (1982) usaron niveles crecientes de consumo de alimento 10 a 70 g por animal por día.

La AME depende de la edad, la especie y el consumo de alimento (Barzegar *et al.* (2020). Sibbald (1975) informó que la EMA se aproxima a la EMV a medida que aumenta el consumo de los gallos adultos. Esta aproximación de la EMA a la EMV se demuestra fácilmente tomando límites a la ecuación de Sibbald (1976) y mencionada por Wu *et al.* (2020):

$$EMV = (GEal - GEex + GEen)/CA$$

Donde EMV = EMV del alimento, GEex = calor de combustión de la excreta, GEen = calor de combustión de las pérdidas endógenas, CA = consumo de alimento.

Al tomar el límite, cuando CA se hace muy grande el término GEen/CA se aproxima a cero por lo que $EMV = (GEal - GEex)/CA = EMA$, es decir, la EMV resulta igual a la EMA. Contrariamente, cuando el consumo tiende a cero, predomina el valor -GEex que hace negativa a la EMA. Lo primero fue demostrado experimentalmente por Sibbald (1975) y por Wolynetz y Sibbald (1984), lo segundo se prueba experimentalmente en el presente estudio. Esto se puede generalizar a cualquier tipo de ingrediente metabolizable, no solo a la energía, si el consumo es bajo o se aproxima a cero, los nutrientes metabolizados de una dieta tienden a ser cero o negativos. Por ejemplo, es común hablar de balance negativo de nitrógeno (Von-Bobrutzki *et al.* 2013) en que la retención de nitrógeno es negativa cuando el consumo de alimento se hace cero. En el presente

estudio, algunos valores de nutrientes metabolizables produjeron valores negativos en el día 5, cuando inició el consumo de 50 g día⁻¹. Posteriormente los valores de todas las variables fueron bajos pero positivos, probablemente debido a un proceso de adaptación de los animales al bajo consumo de alimento.

Interacciones entre los factores genotipo×consumo

La interacción de estos dos factores solo fue significativa ($p < 0.05$) en la variable extracto etéreo metabolizable (g día⁻¹). Esta interacción significa que el genotipo Sasso retiene o metaboliza más gramos de extracto etéreo cuando el consumo de alimento es de 100 g día⁻¹, esta variable fue similar entre genotipos cuando el consumo de alimento fue 50 g día⁻¹ (Figura 1). Probablemente, el ave comercial tiende a depositar lípidos (Paredes y Vásquez 2020) para adaptarse al estrés del manejo, mientras que el ave criolla, por su capacidad de sobrevivencia o rusticidad (Adamu *et al.* 2019) tiende a depositar proteínas (Tabla 3).

El consumo de cada ave fue 100 o 50 g, todas fueron del mismo sexo, consumieron la misma dieta (Tabla 1), tenían edades y pesos similares. Por tanto, solo las diferenciaba el genotipo, el día de medición y el consumo. La energía metabolizable de los ingredientes o del alimento es muy importante y existen muchos trabajos en la literatura que la evalúan. Sin embargo, el porcentaje de utilización de los nutrientes que se encuentran en los ingredientes (energía o nutrientes metabolizados) ha sido menos estudiado.

CONCLUSIONES

Los gallos Criollos mexicanos mostraron mejor capacidad que los Sasso para metabolizar la proteína cruda tanto en g día⁻¹ como en %, contrariamente, los gallos Sasso mostraron mayor capacidad para metabolizar la grasa en g día⁻¹. En cuanto al consumo de alimento de 100 g día⁻¹ se obtuvieron mayores valores de nutrientes metabolizables que con el consumo de 50 g día⁻¹, por lo que consumos aún menores de alimento, pueden producir valores muy bajos o negativos. Al avanzar los días de evaluación, todas las variables disminuyeron, ya que de los días 1 a 4 se produjeron mayores valores de casi todas las variables de respuesta en comparación con el tiempo de medición de 5 a 7 días. Por tanto, se recomienda hacer la medición de energía y nutrientes metabolizables de las dietas, los dos primeros días después del proceso de adaptación y entrenamiento, y que los gallos consuman por lo menos 100 g de alimento por día.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que esta investigación se realizó y se da a conocer con la ausencia de cualquier conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

- Abdollahi MR, Wiltafsky-Martin M, Ravindran V (2021) Application of apparent metabolizable energy *versus* nitrogen-corrected apparent metabolizable energy in poultry feed formulations: A Continuing conundrum. *Animals* 11(8): 2174. <https://doi.org/10.3390/ani11082174>
- Abella LB, Sulabo RC, Agbisit EM, Angeles AA (2024) Energy digestibility and concentration of nitrogen-corrected apparent metabolizable energy of Azolla and Duckweed in broiler. *International Journal of Agricultural Technology* 20(2): 467-476.
- Adamu J, Dauda A, Abbaya H (2019) Effect of genotype and seasons on semen characteristics of three indigenous cock types in the semiarid zone of Nigeria. *International Journal of Avian & Wildlife Biology* 4(3): 90-94. <https://doi.org/10.15406/ijawb.2019.04.00158>
- Adekoya AA, Adeola O (2023) Energy and phosphorus utilization of pulses fed to broiler chickens. *Poultry Science* 102 (5): 102615. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102615>
- Adhikari P, Kiess A, Adhikari R, Jha R (2020) An approach to alternative strategies to control avian coccidiosis and necrotic enteritis. *Journal of Applied Poultry Research* 29(2): 515-534. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.11.005>
- Aguirre L, Cámara C, Smith A, Fondevila G, Mateos GG (2024) Apparent metabolizable energy and ileal amino acid digestibility of commercial soybean meals of different origins in broilers. *Poultry Science* 103:103786. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103786>
- Alvarenga RR, Zangeronimo MG, Pereira LJ, Wolp RC, Almeida EC (2013) Formulation of diets for poultry: the importance of prediction equations to estimate the energy values. *Archivos de Zootecnia* 62: 1-11.
- AOAC (1990) Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA. 1141p.
- Anwar U, Chishti, M FA, Bilal M, Farooq U, Mustafa R, Zamir S, Rahman M (2023) Inclusion of stored wheat in the feed of broilers influences intake, growth performance, nutrient digestibility, and digesta viscosity from 1-21 days of age. *Brazilian Journal of Poultry Science* 25(2). <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1736>
- Bartz BM, McIntyre DR and Grimes JL (2018) Effects of management related practices on turkey hen performance supplemented with either original XPCTM or AviCareTM. *Frontiers in Veterinary Science* 5:185. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00185>
- Barzegar S, Wu SB, Choct M, Swick RA (2020) Factors affecting energy metabolism and evaluating net energy of poultry feed. *Poultry Science* 99(1): 487-498. <https://doi.org/10.3382/ps/pez554>
- Bedanova I, Voslarova E, Chloupek P, Pistekova V, Suchy P, Blahova J, Dobsikova R, Vecerek V (2007) Stress in broilers resulting from shackling. *Poultry Science* 86:1065-1069. <https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1065>
- Berardo N (1997) Prediction of the chemical composition of white clover by near-infrared reflectance spectroscopy. *Grass and Forage Science* 52(1): 27-32. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1997.00050.x>
- Cammell SB, Thomson DJ, Beever DE, Haines MJ, Dhanoa MS, Spooner MC (1986) The efficiency of energy utilization in growing cattle consuming fresh perennial ryegrass (*Lolium perenne* cv. Melle) or white clover (*Trifolium repens* cv. Blanca). *British Journal of Nutrition* 55(3): 669-680. <https://doi.org/10.1079/BJN19860073>
- Chaiwang N, Marupanthorn K, Krutthai N, Wattanakul W, Jaturasitha S, Arjin C, Sringarm K, Setthaya P. (2023) Assessment of nucleic acid content, amino acid profile, carcass, and meat quality of Thai native chicken. *Poultry Science* 102(11): 103067. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103067>

- COLPOS (2016) Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Editorial Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 18p.
- Dias KMM, Oliveira CH, Calderano AA, Bernardes RD, Ribeiro AM, Lima IL, Mike BP, Rostagno HS, Albino LFT (2023) Research note: Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and standardized ileal amino acid digestibility determination of high-protein dried distiller's grains and corn bran with solubles for broilers. *Poultry Science* 102(7): 102757. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102757>
- Eshtejarani AA, Moravej H, Ghaziani F, Naeini HR, Kim WK (2024) Development of prediction equations for apparent metabolizable energy corrected for nitrogen of fishmeal and poultry by-product meal in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research* 33: 100485. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2024.100485>
- Ieko T, Sasaki H, Maeda N, Fujiki J, Iwano H, Yokota H (2019) Analysis of corticosterone and testosterone synthesis in rat salivary gland homogenates. *Frontiers in Endocrinology* 10: 479. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00479>
- Jiang QLY, Ban Z, Zhang B (2024) Broiler age differently affects apparent metabolizable energy and net energy of expanded soybean meal. *Animals* 14(8): 1198. <https://doi.org/10.3390/ani14081198>
- Khalil MM, Abdollahi MR, Zaefarian F, Chrystal PV, Ravindran V (2023) Broiler age Influences the apparent metabolizable energy of soybean meal and canola meal. *Animals* 13: 219. <https://doi.org/10.3390/ani13020219>
- Lasek O, Barteczko J, Barć J, Micek P (2020) Nutrient content of different wheat and maize varieties and their impact on metabolizable energy content and nitrogen utilization by broilers. *Animals* 10(5): 907. <https://doi.org/10.3390/ani10050907>
- Li K, Guosong Bai, Zhengqun Liu, Yuqing Zhao, Ruqing Zhong, Lei Liu, Honglin Yan, Jianchuan Zhou, Liang Chen, Hongfu Zhang (2023) Comparison of metabolizable energy values of wheat, paddy, and brown rice in roosters determined by free-feeding and tube-feeding methods. *Animal Research and One Health* 2(2): 193-203.
- Li X, Zhao X, Yu M, Zhang M, Feng J (2024) Effects of heat stress on breast muscle metabolomics and lipid metabolism related genes in growing broilers. *Animals* 14(3): 430. <https://doi.org/10.3390/ani14030430>
- Macie VA, Nascimento KDS, Kiefer C, Juliano RS, Lisita FO, da Silva TR, Rosa-Silva M (2020) Metabolizable energy and metabolizability coefficients of moringa and bocaiuva for slow-growing broilers at different ages. *Journal of Agricultural Studies* 8: 3. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i3.16559>
- Malik A, Haron AW, Yusoff R, Nesa M, Bukar M, KASIM A (2013) Evaluation of the ejaculate quality of the red jungle fowl, domestic chicken, and bantam chicken in Malaysia. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences* 37(5): 564-568. <http://dx.doi.org/10.3906/vet-1107-26>
- Noblet J, Aye-Cho Tay-Zar, Shu-Biao Wu, Pairat Srichana, Pierre Cozannet, Pierre-André Geraert, Mingan Choct (2024) Re-evaluation of recent research on metabolic utilization of energy in poultry: Recommendations for a net energy system for broilers. *Animal Nutrition* 16: 62e72. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.10.006>
- NRC (1994) Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC. 19p.
- Paredes M, Vásquez B (2020) Crecimiento, características de carcasa, peso de órganos internos y composición proximal de carne de seis genotipos de pollos criados en la región Andina del norte peruano. *Scientia Agropecuaria* 11(3): 365-374. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.08>
- Pirgozliev VR, Hammandy MH, Mansbridge SC, Whiting IM, Rose SP (2024) Efficiency of utilization of metabolizable energy for carcass energy retention in broiler chickens fed maize, wheat or a mixture. *Poultry* 3: 85-94. <https://doi.org/10.3390/poultry3020008>

- Ratray PV, Joyce JP (1974) Nutritive value of white clover and perennial ryegrass: IV. Utilisation of dietary energy. *New Zealand journal of agricultural research* 17(4): 401-406. <https://doi.org/10.1080/00288233.1974.10421024>
- Reid OLT.K, Gardner KE, Paglia KL, Ulans ACM, Spierling RE, Edwards MS, Lundquist TJ, McFarlane ZD, Pokharel S, Bennett DC (2024) Evaluation of apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility of spirulina (*Arthrospira platensis*) in broiler chickens and laying hens. *Animals* 14: 3343. <https://doi.org/10.3390/ani14223343>
- Sánchez-Peña MJ, Márquez-Sandoval F, Ramírez-Anguiano AC, Velasco-Ramírez SF, Macedo-Ojeda G, González-Ortiz LJ (2017) Calculating the metabolizable energy of macronutrients: a critical review of Atwater's results. *Nutrition reviews* 75(1): 37-48. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw044>
- Santos FR, Stringhini JH, Oliveira PR, Duarte EF, Minafra CS, Café MB (2015) Values of metabolizable energy and metabolism of nutrients for slow-and fast-growing birds at different ages. *Brazilian Journal of Poultry Science* 17: 517-522.
- Scanes CG, Hurst K, Thaxton Y, Archer GS, Johnson A (2020) Effect of transportation and shackling on plasma concentrations of corticosterone and heterophil to lymphocyte ratios in market weight male turkeys in a commercial operation. *Poultry Science* 99: 546-554. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez485>
- Schang MJ, Hamilton RMG (1982) Comparison of two direct bioassays using adult cocks and four indirect methods for estimating the metabolizable energy content of different feedingstuffs. *Poultry Science* 61(7): 1344-1353. <https://doi.org/10.3382/ps.0611344>
- Sibbald IR (1975) The effect of level of feed intake on metabolizable energy values measured with adult roosters. *Poultry Science* 54(6): 1990-1997. <https://doi.org/10.3382/ps.0541990>
- Sibbald IR (1976) A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poultry science* 55(1): 303-308. <https://doi.org/10.3382/ps.0550303>
- Sibbald IR (1980) Metabolizable energy in poultry nutrition. *BioScience* 30(11): 736-741. <https://doi.org/10.2307/1308333>
- Sibbald IR, Morse PM (1982) The effects of feed input and excreta collection time on estimates of metabolic plus endogenous energy losses in the bioassay for true metabolizable energy. *Poultry Science* 62(1): 68-76. <https://doi.org/10.3382/ps.0620068>
- Solanki DS, Devi DD (2020) Relation between nutrition and immunity. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8(4): 2337- 2342. <https://dx.doi.org/10.22271/j.ento>
- Sosa-Montes E, Sánchez-Cervantes A, Pro-Martínez A, Mendoza-Pedroza SI, González-Cerón F (2022) Physical characteristics of eggs from Mexican Creole, Hy-Line Brown and Rhode Island Red hens in intensive production. *Agroproductividad* 15(7): 195-203. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i7.2337>
- SPSS (2011) Statistical Package for the Social Sciences Institute. SPSS-X. User's Guide. Version 8, Chicago IL. USA. 71p.
- Stypiński P (1993) The effects of white clover on chemical composition and nutritive value of companion grasses in grass/clover mixtures. Department of Grassland The Warsaw Agricultural University 02-528 Warsaw, Rakowiska 26/30 POLAND. <https://www.fao.org/3/V2350E/v2350e0f.htm#introduction>. Fecha de consulta: 28 de marzo de 2024.
- Usman E, Saade E, Sulaeman HA, Jannah NM, Kamaruddin (2020) The effects of seaweed, *Sargassum* sp. meal dosages in the artificial diet on growth, feed intake, feed efficiency, protein efficiency ratio, and nutrition body composition of Rabbitfish, *Siganus guttatus*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 564(1): 012049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/564/1/012049>
- Van-Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3883-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

- Von-Bobrutzki K, Ammon S, Berg W, Fiedler M (2013) Quantification of nitrogen balance components in a commercial broiler barn. *Animal Science* 58: 566-577. <https://doi.org/10.17221/7091-CJAS>
- Wolynetz MS, Sibbald IR (1984) Relationships between apparent and true metabolizable energy and the effects of a nitrogen correction. *Poultry science* 63(7): 1386-1399. <https://doi.org/10.3382/ps.0631386>
- Wu SB, Choct M, Pesti G (2020) Historical flaws in bioassays used to generate metabolizable energy values for poultry feed formulation: a critical review. *Poultry Science* 99(1): 385-406. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez511>
- Xavier JMdL, Ferreira RdS, Teixeira LdV, Valentim JK, Gomes KM, Bernandes RD, Calderano AA, Albino LFT (2024) Metabolizable energy and amino acid digestibility of soybean meal from different sources for broiler chickens supplemented with protease. *Animals* 14(5): 782. <https://doi.org/10.3390/ani14050782>
- Ye X, Feng Z, Yuming W, Jingjing X, Hu Z, Renna S, Zheng S, Xiudong L, Lin L, Jinghai F (2024) Predicting metabolizable energy of soybean meal and rapeseed meal from chemical composition in broilers of different ages. *Poultry Science* 103: 103915 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103915>