

Growth performance, carcass traits and economic response of broiler fed of palm kernel meal (*Elaeis guineensis*)

Comportamiento del crecimiento, rasgos de la canal y respuesta económica de pollos de ceba alimentados con harina de frutos de *Elaeis guineensis*

A. Botello León¹, Y. Martínez Aguilar^{2*}, M. Cotera Bone^{1,3}, Ch. Morán Montaña¹, M. Ortega Ojeda¹, Kirenia Pérez Corría¹ and S. Waititu⁴

¹Carrera de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

²Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria, Escuela Agrícola Panamericana, Valle de Yeguaré, San Antonio de Oriente 96, Honduras.

³Centro de Investigación de Transferencia de Tecnología "San Marcos", Pichincha, Ecuador.

⁴Department of Animal Science, University of Manitoba, Winnipeg, Canada.

*Email: ymartinez@zamorano.edu

Botello León Aroldo: <http://orcid.org/0000-0001-6709-2104>

Martínez Aguilar Yordan: <http://orcid.org/0000-0003-2167-4904>

Cotera Bone Mario: <https://orcid.org/0000-0003-4249-2739>

Morán Montaña Charles: <https://orcid.org/0000-0003-3041-6376>

Ortega Ojeda Marcos: <https://orcid.org/0000-0001-7298-4772>

Pérez Corría Kirenia: <http://orcid.org/0000-0002-0216-328X>

Waititu Samuel: <https://orcid.org/0000-0002-2775-7922>

The objective of the study was to determine the growth performance, carcass traits and economic response of broiler chickens fed of palm kernel (*Elaeis guineensis*) meal (PKM). A total of 120 one-day-old Cobb-500[®] male chicks were evaluated for 47 days and were assigned to four dietary treatments using a completely randomized design. Dietary treatments consisted of a control diet (T0) and three other diets containing 100 (T1), 200 (T2) and 300 (T3) g/kg of PKM. Compared to birds fed T0, birds fed T1 had no effect ($P > 0.05$) on the measured parameters of growth performance and carcass traits, birds fed T2 and T3 had higher feed intake (139.75-145.79 g/bird/day) ($P < 0.05$) and feed conversion (2.08-2.41) and birds fed T3 had lower ($P < 0.05$) final weight. In addition, T2 and T3 birds had lower ($P < 0.05$) carcass weight, breast weight and total viscera weight, whereas T3 birds had lower ($P < 0.05$) leg weight. Increasing levels of PKM in diets decreased ($p < 0.05$) the cost of consumed feed, the feed cost to produce one kg of live weight, carcass, breast, and leg with economic utilities. These findings indicate that palm kernel can be used up to 100 g/kg in male broiler diets as partial replacement for corn and soybean meal, without affecting performance and carcass traits, however, inclusion of 300 g/kg of PKM had the best cost-benefit analysis.

Keywords: *alternative feed, bioproductive indicator, chicken, cost-benefit relation*

In poultry production systems, feed cost represents up to 70 % of the total cost of production (Martínez *et al.* 2020). On the other hand, the cost of raw materials used in the formulation has risen due to increasing demand for biofuels and the global economic crisis, mainly in developing countries, which have directly influenced on

El objetivo del estudio fue determinar el comportamiento del crecimiento, los rasgos de la canal y la respuesta económica de pollos de engorde alimentados con harina de frutos de *Elaeis guineensis* (PKM). Se evaluaron 120 pollos machos Cobb-500[®] de un día de edad durante 47 días y se asignaron a cuatro tratamientos, con un diseño completamente aleatorizado. Los tratamientos consistieron en una dieta control (T0) y otras tres que contenían 100 (T1), 200 (T2) y 300 (T3) g/kg de PKM. En comparación con las aves alimentadas con T0, las del T1 no tuvieron efecto ($p > 0.05$) en los indicadores del comportamiento del crecimiento y rasgos de la canal. T2 y T3 tuvieron mayor consumo de alimento (139.75-145.79 g/ave/día) ($p < 0.05$) y conversión alimenticia (2.08-2.41), y las aves de T3 tuvieron menor peso final ($P < 0.05$). Además, T2 y T3 tenían menor ($P < 0.05$) peso en canal, peso de pechuga y peso total de vísceras, mientras que las aves de T3 tenían menor ($P < 0.05$) peso de la pierna. Los niveles crecientes de PKM en las dietas disminuyeron ($P < 0.05$) el costo del alimento consumido, el costo del alimento para producir un kg de peso vivo, la canal, la pechuga y la pierna con utilidades económicas. Estos hallazgos indican que el fruto de la palma aceitera se puede usar hasta 100 g/kg en dietas de pollos machos de engorde como sustituto parcial de la harina de maíz y soya, sin afectar el rendimiento y las características de la canal. Sin embargo, la inclusión de 300 g/kg de PKM tuvo el mejor análisis de costo-beneficios.

Palabras clave: *alimento alternativo, indicador bioproductivo, pollo, relación costo-beneficio*

En los sistemas de producción avícola, el costo del alimento representa hasta el 70% del costo total de producción (Martínez *et al.* 2020). Por otro lado, el costo de las materias primas utilizadas en la formulación ha aumentado debido a la creciente demanda de biocombustibles y a la crisis económica mundial, principalmente en los países en

profitability of poultry industry (Hejdysz *et al.* 2020). Therefore, it is urgent to find low-cost alternative feedstuffs to replace conventional feed resources, like corn and soybean meals for poultry birds with the aim of ensuring animals that produce quality food for consumers and achieving significant economic benefits (Valdivié *et al.* 2020).

In developing countries where corn and soybean meal are scarce, agricultural byproducts can be affordable for using as feed material (Gkarane *et al.* 2020). Palm kernel meal (PKM) (*Elaeis guineensis* Jacq) has been identified as one of the most demanded alternative feed ingredients by poultry producers (Abdollahi 2016). Generally, PKM has an average crude protein, crude fat and metabolizable energy (ME) contents from 120 to 160 g/kg, 40 to 90 g/kg and 1816 to 2653 kcal/kg, respectively (Ramachandran *et al.* 2007 and FEDNA 2010). Although PKM is a good energy source for poultry, it is deficient in essential amino acids, such as lysine, methionine, and tryptophan (Sulabo *et al.* 2013). On the other hand, a high crude fibre content (140 to 350 g/kg) could limit the use of PKM as the main protein source in poultry feed (FEDNA 2010 and Son *et al.* 2014).

The use of PKM in broiler diets has been widely studied with or without supplementation of enzymes, synthetic amino acids, and fishmeal (Sulabo *et al.* 2013, Abdollahi 2016; Chen *et al.* 2018). However, the optimum level of inclusion of PKM in broiler chicken rations has not been completely elaborated because of difference in the commercial line of chickens used, environmental aspects and characteristics of the PKM used such as the origin, oil extraction process and nutrient composition (Jang *et al.* 2013 and Huang *et al.* 2018).

Due to its chemical composition, PKM has been classified as a protein source for animal feed. In this study, it is hypothesized that an adequate inclusion of PKM in broiler diets replacing corn meal and imported soybean meal in isoproteic and isoenergetic diets could satisfy the nutritional requirements of poultry birds without affecting the bioproductive indicators and the edible portion yields with a positive economic balance. The objective of this research was to determine the growth performance, carcass traits and economic response of Cobb 500® male broiler upon feeding of palm kernel with traditional feed.

Materials and Methods

Location. The experiment was approved by the Animal Care and Use Committee of Technology Transfer Research Center. The experiment was carried out at the Poultry Experimental Unit "San Marcos", Pichincha province, Pedro Vicente Maldonado Canton, Ecuador. The experimental location is 1600 m above sea level, has a humid subtropical climate with an average annual temperature between 24 to 28 °C and mean annual

desarrollo, que influyen directamente en la rentabilidad de la industria avícola (Hejdysz *et al.* 2020). Por lo tanto, es urgente encontrar alimentos alternativos de bajo costo para reemplazar los recursos alimentarios convencionales, como las harinas de maíz y soja para aves de corral, para garantizar animales que produzcan alimentos de calidad para los consumidores y lograr importantes beneficios económicos (Valdivié *et al.* 2020).

En los países en vías de desarrollo donde la harina de maíz y de soya son escasas, los subproductos agrícolas pueden ser asequibles para su uso como materia prima (Gkarane *et al.* 2020). La harina de frutos de palma aceitera (PKM) (*Elaeis guineensis* Jacq) se ha identificado como uno de los ingredientes de alimentos alternativos más demandados por los productores avícolas (Abdollahi 2016). Generalmente, la PKM tiene un contenido promedio de proteína cruda, grasa cruda y energía metabolizable (EM) de 120 a 160 g/kg, de 40 a 90 g/kg y 1816 a 2653 kcal/kg, respectivamente (Ramachandran *et al.* 2007 y FEDNA 2010). Aunque la PKM es una buena fuente de energía para pollos, tiene deficiencia de aminoácidos esenciales, como lisina, metionina y triptófano (Sulabo *et al.* 2013). Por otro lado, el alto contenido de fibra cruda (140 a 350 g/kg) podría limitar el uso de PKM como la principal fuente de proteína en la alimentación de aves de corral (FEDNA 2010 y Son *et al.* 2014).

La utilización de PKM en dietas para pollos de engorde se ha estudiado ampliamente con o sin suplementación de enzimas, aminoácidos sintéticos y harina de pescado (Sulabo *et al.* 2013, Abdollahi 2016 y Chen *et al.* 2018). Sin embargo, el nivel óptimo de inclusión de PKM en las raciones de pollos de engorde no se ha elaborado por completo debido a la diferencia en la línea comercial de los pollos utilizados, los aspectos ambientales y las características del PKM utilizado como origen, proceso de extracción de aceite y composición de nutrientes (Jang *et al.* 2013 y Huang *et al.* 2018).

Debido a su composición química, la PKM se ha clasificado como fuente proteica para la alimentación animal. En este estudio se plantea la hipótesis de que una adecuada inclusión de PKM en las dietas de pollos de engorde en sustitución de la harina de maíz y de soya importadas en dietas isoproteicas e isoenergéticas podría satisfacer los requerimientos nutricionales de las aves sin afectar los indicadores bioproductivos y los rendimientos de la porción comestible con un balance económico positivo. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar el rendimiento de crecimiento, las características de la canal y la respuesta económica de pollos machos de engorde Cobb 500® al ser alimentado con frutos de palma aceitera con alimento tradicional.

Materiales y Métodos

Localización. El experimento se aprobó por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales del Centro de Investigación de Transferencia de Tecnología, y se realizó en la Unidad Experimental Avícola "San

rainfall of 2800 mm.

Birds and diets. In this study, 120 one-day-old Cobb 500® male broiler chickens, average weight of 40.10 g (SD 0.28) were randomly distributed to four dietary treatments and fed the rations for a period of 47 days in four phases (starter, 0 to 8 days; grower, 9 to 18 days; finisher 1, 19 to 28 days and finisher 2, 29 to 47 days). There were 30 chickens per treatment with three repetitions and 10 birds per repetition. The four isoproteic and isoenergetic diets were formulated according to Rostagno (2005) for broiler Cobb 500® with different levels of the PKM, with a control diet (T0) and other diets contain 100 g/kg (T1), 200 g/kg (T2) and 300 g/kg (T3) of PKM (table 1). The experimental diets were formulated according to research by Vieira *et al.* (2008), Sulabo *et al.* (2013) and Modesto *et al.*

Marcos", provincia de Pichincha, cantón Pedro Vicente Maldonado, Ecuador. La ubicación experimental está a 1600 m sobre el nivel del mar, tiene un clima subtropical húmedo con una temperatura media anual de entre 24 a 28 °C y una precipitación media anual de 2800 mm.

Aves y dietas. En este estudio, 120 pollos machos de engorde Cobb 500® de un día de edad, con un peso promedio de 40.10 g (DE 0.28) se distribuyeron al azar en cuatro tratamientos y se alimentaron con las raciones durante un período de 47 días en cuatro fases (iniciador: 0 a 8 días de crecimiento de 9 a 18 días; finalizador 1 de 19 a 28 días y finalizador 2: de 29 a 47 días). Se emplearon 30 pollos por tratamiento con tres repeticiones y 10 aves por repetición. Las cuatro dietas isoproteicas e isoenergéticas se formularon de acuerdo con Rostagno (2005) para pollos de engorde Cobb 500® con diferentes niveles de PKM,

Table 1. Diet formulation, nutritional composition, and cost of the experimental diets (as-fed basis)

Ingredients (g/kg)	Experimental diets											
	Starter (0 to 21 days)				Grower (22 to 35 days)				Finisher (36 to 47 days)			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
Palm kernel meal	0.00	100.00	200.00	300.00	0.00	100.00	200.00	300.00	0.00	100.00	200.00	300.00
Corn meal	531.40	426.23	320.24	215.78	535.11	432.46	329.98	228.64	565.79	461.88	355.22	248.77
Soybean cake meal	402.44	383.31	364.60	345.00	380.00	358.80	336.93	320.00	350.00	329.80	312.00	294.00
Premixture ¹	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Salt	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Soybean oil	24.30	49.00	74.00	98.50	45.70	70.00	94.60	117.30	48.10	72.60	97.50	122.40
Choline chloride	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
DL-Methionine	2.26	2.36	2.46	2.52	1.90	1.97	2.12	2.14	1.51	1.58	1.66	1.75
L-Lysine HCL	0.00	0.50	0.90	1.30	0.00	0.47	0.97	1.32	0.00	0.45	0.84	1.24
Calcium carbonate	10.10	9.70	9.30	8.80	7.70	7.10	6.60	6.20	5.50	5.10	4.60	4.20
Dicalcium phosphate	18.80	18.20	17.80	17.40	18.89	18.50	18.10	17.70	18.40	17.89	17.48	16.94
Cost (kg/t)	0.558	0.526	0.494	0.461	0.563	0.530	0.498	0.457	0.561	0.529	0.497	0.465
	Calculated contribution (g/kg)											
Crude protein	210.00	210.00	210.00	210.00	200.00	200.00	200.00	200.00	190.00	190.00	190.00	190.00
Methionine	5.50	5.50	5.50	5.50	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	4.50	4.50	4.50
Lysine	11.90	11.90	11.90	11.90	11.29	11.29	11.29	11.29	10.57	10.57	10.57	10.57
Crude fibre	35.09	49.13	63.16	77.20	34.26	48.29	62.31	76.57	34.01	48.05	62.09	76.14
Crude fat	66.60	91.52	116.71	141.46	87.18	111.76	136.63	159.85	90.09	114.84	139.93	165.03
Metabolizable energy (MJ/kg)	12.55	12.55	12.55	12.55	13.18	13.18	13.18	13.18	13.39	13.39	13.39	13.39
Calcium	10.00	10.00	10.00	10.00	9.00	9.00	9.00	9.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Available phosphorus	4.01	4.01	4.01	4.01	4.00	4.00	4.00	4.00	3.90	3.90	3.90	3.90

¹Addition per kg of starter diet: Mn, 100 mg; Fe, 40 mg; Zn, 100 mg; Se, 0.15 mg; Cu, 10 mg; vitamin A, 15,000 IU; vitamin D3, 5000 IU; vitamin E, 75 mg; vitamin K3, 4 mg; vitamin B1, 3 mg; vitamin B2, 8 mg; vitamin B6, 5 mg; vitamin B12, 0.016 mg; biotin, 0.2 mg; folic acid, 2 mg; nicotinic acid, 60 mg; pantothenic acid, 18 mg; choline, 1800 mg. Addition per kg of grower diet: Mn, 100 mg; I, 1 mg; Fe, 40 mg; Zn, 100 mg; Se, 0.15 mg; Cu, 10 mg; vitamin A, 12,000 IU; vitamin D3, 5000 IU; vitamin E, 50 mg; vitamin K3, 3 mg; vitamin B1, 2 mg; vitamin B2, 6 mg; vitamin B6, 4 mg; vitamin B12, 0.016 mg; biotin, 0.2 mg; folic acid, 1.75 mg; nicotinic acid, 60 mg; pantothenic acid, 18 mg; choline, 1600 mg. Addition per kg of finisher diet: Mn, 100 mg; Fe, 40 mg; Zn, 100 mg; Se, 0.15 mg; Cu, 10 mg; vitamin A, 12,000 IU; vitamin D3, 5000 IU; vitamin E, 50 mg; vitamin K3, 2 mg; vitamin B1, 2 mg; vitamin B2, 5 mg; vitamin B6, 3 mg; vitamin B12, 0.011 mg; biotin, 0.05 mg; folic acid, 1.5 mg; nicotinic acid, 35 mg; pantothenic acid, 18 mg; choline, 1600 mg.

(2020). The metabolizable energy of palm kernel meal (9.19 MJ/kg) reported by Vargas and Zumbado (2003) was taken into account.

Experimental conditions. Birds were raised in floor pens on wood shavings with a stocking density of 10 birds/m². Feed and water were offered ad libitum, in tube feeders and nipple drinkers, respectively. During the first three weeks, supplemental heat was provided by use of an electric heater. A lighting system with 12 hours of artificial light provided by a 60-watt electric bulb and 12 hours of natural light was used. In the hatchery, birds were vaccinated against fowl pox, infectious bronchitis, Newcastle disease and infectious bursal disease. No medication was added to the feed, nor therapeutic drugs were used during the experimental period.

Performance parameters. Body weight and feed intake of birds in each pen were determined on day 47. Feed conversion ratio was calculated as the amount of feed intake to gain one kg body weight. Livability was determined as the difference between the initial number of birds and recorded mortality. To determine the intake of nutrients and metabolizable energy, the accumulated feed intake and the nutritional contributions of the experimental diets were taken into account (Modesto *et al.*, 2020).

Carcass traits. At day 47, 10 birds per treatment was sacrificed by bleeding of the jugular vein after six hours of feed fasting (water was offered ad libitum) to collect samples. Carcass traits were determined by weighing the birds before slaughter. After which carcass, breast, leg, total viscera and abdominal fat were weighed (Martínez *et al.* 2019). The relative weight of the edible portions was calculated by the formula: Relative weight = (Absolute weight x 100)/final body weight.

Chemical analyses. Dry matter (DM), crude protein (CP), crude fat, crude fibre (CF) and nitrogen-free extract contents were determined by AOAC (2006). Calcium (Ca), magnesium (Mg) and potassium (K) contents were determined by atomic absorption with a GBC Scientific Equipment XplorAA Dual, Australia, 2014, whereas phosphorus (P) and sulfur (S) contents were determined by visible spectrophotometry-colorimetry using a Spectronics-USA spectrophotometer, model Genesys, USA, 2006, range: 325 to 1100 nm. All chemical analyses were performed by triplicate.

Cost-benefit analysis. To determine the cost of experimental diets, the prices of PKM (0.11 USD/kg), corn meal (0.50 USD/kg), soybean meal (0.60 g/kg), vitamins and trace minerals premix (4.75 USD/kg), salt (0.20 USD/kg), plant oil (0.80 USD/kg), choline chloride (2.57 USD/kg), DL-methionine (1.24 USD/kg), L-lysine HCL (2.57 USD/kg), calcium carbonate (0.02 USD/kg) and dicalcium phosphate (0.08 USD/kg) were taken into account at the time of the trial. For the cost-benefit calculation, the economic-mathematical method was

con una dieta control (T0) y otras que contenían 100 g/kg (T1), 200 g/kg (T2) y 300 g/kg (T3) de PKM (tabla 1). Las dietas experimentales se formularon de acuerdo con investigaciones de Vieira *et al.* (2008), Sulabo *et al.* (2013) y Modesto *et al.* (2020). Se consideró la energía metabolizable de la harina de frutos de palma aceitera (9.19 MJ/kg) que reportaron Vargas y Zumbado (2003).

Condiciones experimentales. Las aves se criaron en corrales de piso sobre virutas de madera con una densidad poblacional de 10 aves/m². El alimento y el agua se ofrecieron ad libitum, en comederos tubulares y bebederos de tetina, respectivamente. Durante las primeras tres semanas, se proporcionó calor adicional mediante el uso de un calentador eléctrico. Se utilizó un sistema de iluminación con 12 horas de luz artificial proporcionada por una bombilla eléctrica de 60 vatios y 12 horas de luz natural. En el criadero, las aves se vacunaron contra la viruela aviar, la bronquitis infecciosa, la enfermedad de Newcastle y la bursitis infecciosa. No se añadió ningún medicamento al pienso ni se utilizaron fármacos terapéuticos durante el período experimental.

Indicadores de comportamiento. El peso corporal y el consumo de alimento de las aves en cada corral se determinaron el día 47. La tasa de conversión de alimento se calculó como la cantidad del consumo de alimento para ganar un kg de peso corporal. La viabilidad se determinó como la diferencia entre el número inicial de aves y la mortalidad registrada. Para determinar el aporte de nutrientes y energía metabolizable se tuvo en cuenta el acumulado del consumo de alimento y los aportes nutricionales de las dietas experimentales (Modesto *et al.* 2020).

Rasgos de la canal. Se sacrificaron 10 aves por tratamiento el día 47, por sangrado de la vena yugular después de seis horas de ayuno alimenticio (se ofreció agua ad libitum) para recolectar muestras. Los rasgos de la canal se determinaron con el peso de las aves antes del sacrificio. Posteriormente se pesaron canal, pechuga, pierna, vísceras totales y grasa abdominal (Martínez *et al.* 2019). El peso relativo de las porciones comestibles se calculó mediante la fórmula: Peso relativo = (Peso absoluto x 100) / peso corporal final.

Análisis químicos. Los contenidos de materia seca (MS), proteína cruda (PC), grasa cruda, fibra cruda (FC) y extracto libre de nitrógeno se determinaron por AOAC (2006). Los contenidos de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) se establecieron mediante absorción atómica con un equipo GBC XplorAADual, Australia, 2014, mientras que los de fósforo (P) y azufre (S) se determinaron mediante espectrofotometría-colorimetría visible, utilizando un espectrofotómetro Spectronics-USA, modelo Genesys, EEUU, 2006, rango: de 325 a 1100 nm. Todos los análisis químicos se realizaron por triplicado.

Análisis costo-beneficio. Para determinar el costo de las dietas experimentales, se tuvo en cuenta el precio de PKM (0.11 USD/kg), harina de maíz (0.50 USD/kg), harina de soya (0.60 USD/kg), premezcla de vitaminas y minerales traza (4.75 USD/kg), sal (0.20 USD/kg), aceite vegetal (0.80 USD/kg), cloruro de colina (2.57 USD/kg),

used with techniques of grouping, comparison and calculation of magnitudes (Modesto *et al.* 2020). For the calculation of the feed cost per kg of live weight, carcass, breast and leg, the average diet cost in the different phases of production (starter, grower, finisher 1 and finisher 2) were used.

Statistical analysis. Results of PKM nutritional composition were expressed as descriptive statistics (X, SD). Data obtained from growth performance, carcass trait and cost benefit analyses were subjected to analysis of variance (ANOVA) according to a completely randomized design (three repetitions per treatment). Duncan (1955) multiple range test was used to determine differences between means. SPSS statistical program, version 23 (2014) was used.

Results and Discussion

Table 2 shows the chemical composition of PKM, which varies in relation to other studies due to the origin of the raw material (Adli *et al.* 2020, da Silva *et al.* 2020 and Purnama *et al.* 2020), extraction process mechanical or chemical oil (Boateng *et al.* 2020 and Purnama *et al.* 2020), variety and age of palms, latitude, altitude, precipitation, topography, texture, soil structure, solar radiation, photoperiod, temperature, soil fertility, among other factors (Qureshi *et al.* 2019, Bhagya *et al.* 2020 and Rakesh *et al.* 2020). The PKM showed a crude protein of 167.9 g/ kg, favorable as a source of vegetable protein for broiler chickens (Sugiharto *et al.* 2019, Wickramasuriya *et al.* 2019 and Vatanparast *et al.* 2020), although the levels of crude fiber should be noted of 201.1 g/kg that could affect the digestibility of nutrients (Oladokun *et al.* 2016 and Goh *et al.* 2020) and the growth of these birds (Abdollahi *et al.* 2019 and Saadatmand *et al.* 2019).

PKM was progressively included (100, 200 and 300 g kg) in isoprotein and isoenergetic diets for the nutrition of Cobb 500[®] broiler chickens (table 2). It was possible to partially replace corn and

DL-metionina (1.24 USD/kg), L-lisina HCl (2.57 USD/kg), carbonato de calcio (0.02 USD/kg) y fosfato dicálcico (0.08 USD/kg) en el momento del ensayo. Para el cálculo de costo-beneficio se utilizó el método económico-matemático con técnicas de agrupamiento, comparación y cálculo de magnitudes (Modesto *et al.* 2020). Para calcular el costo de alimento por kg de peso vivo, canal, pechuga y pierna, se usó el costo promedio de la dieta en las diferentes fases de producción (iniciadora, engorda, finalizadora 1 y finalizadora 2).

Análisis estadístico. Los resultados de la composición nutricional del PKM se expresaron como estadística descriptiva (X, DE). Los datos obtenidos de los análisis del comportamiento del crecimiento, rasgos de la canal y costo-beneficio se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo con un diseño completamente aleatorizado (tres repeticiones por tratamiento). Se utilizó la dócima Duncan (1955) para determinar las diferencias entre las medias, y el programa estadístico SPSS, versión 23 (2014).

Resultados y Discusión

En la tabla 2 se muestra la composición química de PKM, que varía en relación con otros estudios debido al origen de la materia prima (Adli *et al.* 2020, da Silva *et al.* 2020 y Purnama *et al.* 2020), al proceso de extracción mecánico o químico aceite (Boateng *et al.* 2020 y Purnama *et al.* 2020), a la variedad y edad de las palmas, latitud, altitud, precipitación, topografía, textura, estructura del suelo, radiación solar, fotoperiodo, temperatura, fertilidad del suelo, entre otros factores (Qureshi *et al.* 2019, Bhagya *et al.* 2020 y Rakesh *et al.* 2020). El PKM mostró una proteína cruda de 167.9 g/kg, favorable como fuente de proteína vegetal para pollos de engorde (Sugiharto *et al.* 2019, Wickramasuriya *et al.* 2019 y Vatanparast *et al.* 2020), aunque los niveles de fibra cruda se observaron de 201.1 g/kg, que podrían afectar la digestibilidad de los nutrientes (Oladokun *et al.* 2016 y Goh *et al.* 2020) y el crecimiento de estas aves (Abdollahi *et al.* 2019 y Saadatmand *et al.* 2019).

El PKM se incluyó progresivamente (100, 200 y 300 g kg) en dietas isoproteicas e isoenergéticas para

Table 2. Chemical composition of palm kernel meal (as-dry basis)

Chemical composition (g/kg)	Mean	Standard deviation
Dry matter	915.00	0.52
Crude protein	167.90	0.15
Crude fat	73.30	0.23
Crude fibre	201.10	0.18
Ashes	102.80	0.31
Nitrogen-free extract	454.90	0.56
Calcium	3.80	0.23
Phosphorus	5.10	0.15
Magnesium	3.10	0.13
Potassium	8.20	0.19
Sulfur	1.70	0.01

PKM: TYSAISA Plant, Agricultural Extractor Río Manso EXA S.A, Km 51 Santo Domingo, La Concordia, Quininde, Ecuador.

soybean meal, with a high contribution of CF and GF as PKM increased, although the contributions of methionine, lysine, calcium and available phosphorus were supplied for this species according to Rostagno (2005).

Table 3 shows the growth performance of broilers feed with an increasing levels of palm kernel meal (PKM). Throughout the experimental period, the viability did not affect by dietary treatments (100%), which indicates that PKM is not toxic or lethal antinutritional factor in current research. This observation is supported by other studies using high levels of PKM (Sulabo *et al.* 2013 and Abdollahi 2016). In addition, the inclusion with 100 g/kg (T1) was not statistically different from T0 ($P > 0.05$), although T2 and T3 did show a lower result in the growth indicators and daily feed intake per bird ($P < 0.05$), although the intake of fiber and fat was different in all the experimental treatments ($P < 0.05$). There is no significant effect of T1 treatment on feed intake, nutrient intakes, feed conversion ratio and final live weight of the birds compared with control, whereas crude fibre and crude fat intake progressively increased with PKM (table 3). However, T2 treatment with PKM in the diet at 200 g/kg increased ($P < 0.05$) feed intake and feed conversion ratio but had no effect on the final live weight of birds. On the other hand, T3 treatment increased feed intake and feed conversion ratio and reduced the final live weight of the birds.

It has been observed a negative effect on body

la nutrición de pollos de engorde Cobb 500® (tabla 2). Se logró reemplazar parcialmente la harina de maíz y soya, con alto aporte de fibra cruda y grasa cruda con el aumento de PKM, aunque los aportes de metionina, lisina, calcio y fósforo disponible se suministraron para esta especie según Rostagno (2005).

La tabla 3 muestra el comportamiento del crecimiento de pollos de engorde alimentados con niveles crecientes de harina de palmiste (PKM). Durante todo el período experimental, la viabilidad no se afectó por los tratamientos (100%), lo que indica que la PKM no es un factor antinutricional tóxico ni letal en la presente investigación. Esta observación coincide con otros estudios que utilizan altos niveles de PKM (Sulabo *et al.* 2013 y Abdollahi 2016). Además, la inclusión con 100 g/kg (T1) no fue estadísticamente diferente de T0 ($P > 0.05$), aunque T2 y T3 sí mostraron un resultado menor en los indicadores de crecimiento y en consumo diario de alimento por ave ($P < 0.05$), aunque el consumo de fibra y grasa fue diferente en todos los tratamientos experimentales ($P < 0.05$). No hubo efecto significativo del tratamiento T1 en el consumo de alimento, consumo de nutrientes, la tasa de conversión alimenticia y el peso vivo final de las aves en comparación con el control, mientras que el consumo de fibra cruda y grasa cruda aumentó progresivamente con la PKM (tabla 3). Sin embargo, el tratamiento T2 con PKM en la dieta a 200 g/kg aumentó ($P < 0.05$) el consumo de alimento y la tasa de conversión alimenticia, pero no tuvo ningún efecto en el peso vivo final de las aves. Por otro lado, el T3 aumentó el consumo de alimento y la tasa de conversión

Table 3. Live performance of Cobb-500® broilers fed different palm kernel meal levels

Items	Inclusion of PKM (g/kg)				SEM±	P-value
	T0	T1	T2	T3		
Feed intake (g/bird/day)	139.75 ^b	143.74 ^{ab}	145.15 ^a	145.79 ^a	1.307	0.044
Feed conversion ratio (kg/kg)	2.08 ^b	2.15 ^b	2.30 ^a	2.41 ^a	0.041	0.002
Final live weight (g)	2778.67 ^a	2760.00 ^a	2604.20 ^{ab}	2495.57 ^b	31.743	0.035
Dry matter intake (g/bird/day)	129.59 ^b	133.28 ^{ab}	134.27 ^a	134.99 ^a	1.206	0.050
Metabolizable energy intake (kcal/bird/day)	435.03 ^b	447.46 ^{ab}	451.83 ^a	453.85 ^a	4.068	0.044
Crude protein intake (g/bird/day)	27.41 ^b	28.19 ^{ab}	28.47 ^a	28.59 ^a	0.51	0.044
Methionine intake (g/bird/day)	0.67 ^b	0.69 ^{ab}	0.69 ^{ab}	0.70 ^a	0.006	0.044
Lysine intake (g/bird/day)	1.54 ^b	1.58 ^{ab}	1.59 ^a	1.60 ^a	0.014	0.044
Calcium intake (g/bird/day)	1.20 ^b	1.24 ^{ab}	1.25 ^a	1.26 ^a	0.011	0.045
Available phosphorus (g/bird/day)	0.64 ^b	0.66 ^{ab}	0.66 ^a	0.67 ^a	0.006	0.046
Crude fibre intake (g/bird/day)	4.74 ^d	6.97 ^c	9.15 ^b	11.32 ^a	0.058	<0.001
Crude fat intake (g/bird/day)	13.93 ^d	15.59 ^c	16.99 ^b	18.34 ^a	0.138	<0.001

^{a,b,c,d}Means followed by different letters in each row as significantly different at $P < 0.05$ (Duncan 1955)

weight gain and feed conversion as the inclusion level of PKM was increased in the feed intake (table 3). However, 100 g/kg of PKM in the feed intake resulted in similar body weight gain and feed conversion as the control group, with a good intake of essential amino acids and of crude fiber lower than the inclusion of 20 and 30 % in the diet (table 3), which maintained

alimenticia y redujo el peso vivo final de las aves.

Se ha observado efecto negativo en la ganancia de peso corporal y la conversión alimenticia en la medida que aumenta el nivel de inclusión de PKM en el consumo de alimento (tabla 3). Sin embargo, la inclusión de 100 g/kg de PKM en el consumo de alimento dieron como resultado aumento de peso corporal y conversión de alimento

the normal biological cycle of these birds. Apparently, the current study showed that this level of PKM inclusion was appropriate for use in all stages of broiler production.

The dilution of energy by dietary fibre (Savón *et al.* 2007) could increase the voluntary feed intake observed in diets with 200 and 300 g/kg of PKM. This increase in food intake due to the high content of dietary fiber has previously been observed to compensate for the loss of endogenous nutrients (Savón *et al.* 2007 and Rodríguez *et al.* 2020). Likewise, Rogel *et al.* (1987) found that a higher voluntary feed intake of chickens was associated with an increase in insoluble fiber in the diet, which is necessary to compensate for the reduction in the absorption of nutrients in the intestinal lumen and the restriction of the mobility of the minerals. Also, a higher inclusion of PKM (up to 300 g/kg) resulted in more use of soybean oil in the diets (table 2) necessary to balance the ME requirements in the diets (Latshaw 2008, Lefevre *et al.* 2012 and Martínez *et al.* 2015).

In this sense, T2 and T3 with high contribution and intakes of CF and crude fat (table 2) could affect the live weight and feed conversion. Dietary fiber in this feed ingredient was characterized by indigestible compounds by non-ruminant animals (Daud and Jarvis 1992). Likewise, Savón *et al.* (2007) and Iyayi *et al.* (2005) showed that excess fibre reduces nutrient digestibility, energy retention and mineral movement, which affects growth performance. Aya *et al.* (2013) found that diets containing up to 400 g/kg of PKM reduced the digestibility of DM, CP, crude fat, ash and nitrogen-free extract. These authors justified it to a higher contribution and crude fibre intake.

Results of Mardhati *et al.* (2011) and Bello *et al.* (2011), who included PKM up to 200 and 450 g/kg in broiler (Ross 308[®] and Cobb 500[®]) diets, respectively, found similar results in the bio-productive indicators. Ezieshi *et al.* (2008) reported a deterioration of body weight and feed efficiency in a study of broilers with 300 and 325 g/kg of PKM in the starter and finisher diets, therefore these authors recommended that when including PKM at increasing levels in animal diets, it should be supplemented with essential amino acids. However, other studies are needed to corroborate the interaction of biomolecules and fibre contributions in PKM diets (Mardhati *et al.* 2011).

The use of palm kernel meal on broiler diets did not affect the edible portions yields (%). However, T0 and T1 exerts significant effects on the absolute weight of the carcass, breast, leg, and viscera compared significantly with the T2 and T3 ($P < 0.05$; table 4). Inclusion of PKM at 100 g/kg in the diet partially replaced corn and the soybean meal, but did not suppress the yield of the edible portions in broiler. This could be because this treatment guaranteed a stable intake of nutrients, especially of amino acids

similares al grupo de control, con buen consumo de aminoácidos esenciales y consumo de fibra cruda menor que con la inclusión de 20 y 30% en la dieta (tabla 3), lo cual mantuvo el ciclo biológico normal de estos animales. Aparentemente, el presente estudio mostró que este nivel de inclusión de PKM era apropiado para su uso en todas las etapas de la producción de pollos de engorde.

La dilución de energía por fibra dietética (Savón *et al.* 2007) podría incrementar el consumo voluntario de alimento observado en dietas con 200 y 300 g/kg de PKM. Este aumento en el consumo de alimentos debido al alto contenido de fibra dietética se ha observado previamente para compensar la pérdida de nutrientes endógenos (Savón *et al.* 2007 y Rodríguez *et al.* 2020). Asimismo, Rogel *et al.* (1987) encontraron que el mayor consumo voluntario de alimento de los pollos se asoció con el aumento de fibra insoluble en la dieta, lo cual es necesario para compensar la reducción en la absorción de nutrientes en el lumen intestinal y la restricción de la movilidad de los minerales. Además, la mayor inclusión de PKM (hasta 300 g/kg) resultó en mayor uso de aceite de soya en las dietas (tabla 2) necesario para equilibrar los requisitos de EM en las dietas (Latshaw 2008, Lefevre *et al.* 2012 y Martínez *et al.* 2015).

En este sentido, T2 y T3, con alto aporte y consumo de FC y grasa cruda (tabla 2), podrían afectar el peso vivo y la conversión alimenticia. La fibra dietética en este ingrediente alimenticio se caracteriza por contener compuestos no digeribles por animales monogástricos (Daud y Jarvis 1992). Asimismo, Savón *et al.* (2007) e Iyayi *et al.* (2005) mostraron que el exceso de fibra reduce la digestibilidad de nutrientes, la retención de energía y el movimiento de minerales, lo que afecta el comportamiento del crecimiento. Aya *et al.* (2013) encontraron que las dietas que contenían hasta 400 g/kg de PKM reducían la digestibilidad de MS, PC, grasa cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno. Estos autores lo justificaron como mayor aporte e ingesta de fibra cruda.

Los resultados de Mardhati *et al.* (2011) y Bello *et al.* (2011), quienes incluyeron PKM hasta 200 y 450 g/kg en dietas de pollos de engorde (Ross 308[®] y Cobb 500[®], respectivamente), encontraron resultados similares en los indicadores bioproductivos. Ezieshi *et al.* (2008) reportaron deterioro del peso corporal y la eficiencia alimenticia en un estudio de pollos de ceba con 300 y 325 g/kg de PKM en las dietas de inicio y finalización, por lo que estos autores recomendaron que al incluir PKM en niveles crecientes en las dietas de los animales, deberían complementarse con aminoácidos esenciales. Sin embargo, se necesitan otros estudios para corroborar la interacción de las biomoléculas y los aportes de fibra en las dietas con PKM (Mardhati *et al.* 2011).

El uso de harina de frutos de la palma aceitera en dietas de pollos de engorde no afectó los rendimientos de las porciones comestibles (%). Sin embargo, T0 y T1 tienen efectos significativos en el peso absoluto de la canal, la pechuga, la pierna y las vísceras en comparación de manera significativa con T2 y T3 ($P < 0.05$) (tabla 4). La inclusión

such as lysine and methionine that influences the synthesis of breast in relation to other muscles and in growth of connective tissue, respectively (Berri *et al.* 2008).

de PKM a 100 g/kg en la dieta reemplazó parcialmente al maíz y la harina de soya, pero no suprimió el rendimiento de las porciones comestibles en los pollos de ceba. Esto podría deberse a que este tratamiento garantizaba el consumo

Table 4. Weight and yield of edible parts and total viscera of Cobb-500® broilers fed different levels of palm kernel meal

Items	Inclusion of PKM (g/kg)				SEM±	P-value
	T0	T1	T2	T3		
Carcass weight (g)	2026.83 ^a	1991.33 ^{ab}	1963.50 ^b	1891.50 ^c	12.832	<0.001
Carcass yield (%)	73.20	73.12	72.88	71.97	0.358	0.629
Breast weight (g)	451.00 ^a	432.50 ^{ab}	421.90 ^b	399.17 ^c	4.940	<0.001
Breast yield (%)	22.25	21.74	21.49	21.11	0.193	0.205
Leg weight (g)	656.50 ^a	634.00 ^a	612.50 ^{ab}	566.53 ^b	10.103	0.005
Leg yield (%)	32.39	31.87	31.19	29.98	0.458	0.287
Total viscera weight (g)	156.33 ^a	151.00 ^{ab}	148.23 ^b	140.47 ^c	1.654	0.002
Total viscera yield (%)	5.65	5.54	5.50	5.34	0.052	0.216
Abdominal fat (g)	72.60	72.60	71.02	70.67	0.846	0.122
Abdominal fat (%)	2.62	2.67	2.64	2.67	0.044	0.856

^{a,b,c} Means followed by different letters in each row as significantly different at $p < 0.05$ (Duncan 1955). Carcass is considered here with no viscera, head, or feet. Breast, leg, and total viscera yields are expressed as carcass percentage.

However, T2 and T3 decreased the yield of edible portions that might be related to a high concentration of fibre that suppressed feed conversion and body weight gain of the birds (Riber and Tahamtani 2020). High fibre content in diets decreases digestion and absorption of nutrients, and may inflame the small intestine (Fasuyi 2020) thereby negatively influencing protein deposition in body tissues. Results of the current study are supported by those of Beloshapka *et al.* (2016), who found significant reductions ($P < 0.05$) in the absolute weight of the carcass when increasing the fibre levels on broiler diets.

The high variability in the chemical composition of PKM and the many variants for its formulation within the diet directly influences growth performance responses and the carcass traits. Many authors have argued on role of the concentration of fibre in PKM. In this study, negative effects on growth performance responses and the carcass traits were observed when using PKM with 201.1 g/kg of CF at an inclusion level superior to 100 g/kg in the diet. Okeudo *et al.* (2006) used PKM with lower CF content and indicated that the inclusion of 350 and 300 g/kg of PKM did not negatively affect the relative weight of the organs and the carcass. On the contrary, García *et al.* (1999) reported that the inclusion of 100 g/kg of PKM with 249.0 g/kg of CF reduced the weight and yield of the carcass and breast.

Table 5 shows that an increase in PKM levels in the broiler diets decreased ($P < 0.05$) the cost of the feed, the feed cost to produce one kg of live weight, the carcass, breast and leg, with economic utilities. At present, the economic feasibility study is essential when alternative

estable de nutrientes, especialmente de aminoácidos como lisina y metionina que influyen en la síntesis de la pechuga en relación con otros músculos y en el crecimiento del tejido conectivo, respectivamente (Berri *et al.* 2008).

Sin embargo, T2 y T3 disminuyeron el rendimiento de las porciones comestibles, que podría estar relacionado con la alta concentración de fibra que suprimió la conversión alimenticia y la ganancia de peso corporal de las aves (Riber y Tahamtani 2020). El alto contenido de fibra en las dietas disminuye la digestión y la absorción de nutrientes, y puede inflamar el intestino delgado (Fasuyi 2020), lo que afecta la deposición de proteínas en los tejidos corporales. Los resultados de la presente investigación coinciden con los de Beloshapka *et al.* (2016), quienes encontraron reducciones significativas ($P < 0.05$) en el peso absoluto de la canal al aumentar los niveles de fibra en las dietas de pollos de engorde.

La alta variabilidad en la composición química de PKM y las muchas variantes para su formulación en la dieta influyen directamente en el comportamiento del crecimiento y en los rasgos de la canal. Muchos autores han argumentado acerca de la función de la concentración de fibra en PKM. En este estudio, se observaron efectos negativos en las respuestas del comportamiento del crecimiento y los rasgos de la canal cuando se utiliza PKM con 201.1 g/kg de FC a un nivel de inclusión superior a 100 g/kg en la dieta. Okeudo *et al.* (2006) utilizaron PKM con menor contenido de FC e indicaron que la inclusión de 350 y 300 g/kg de PKM no afectó negativamente el peso relativo de los órganos y la canal. Por el contrario, García *et al.* (1999) informaron que la inclusión de 100 g/kg de PKM, con 249.0 g/kg de FC, redujo el peso y rendimiento de la canal y la pechuga.

feeds are used in animal diets that substitute imported raw materials such as corn and soybean meals since feed represents the highest portion of the cost of production. For the most part, researchers agree that PKM reduces the feed cost/bird with considerable economic gain, although these gains will be influenced by the cost of other raw materials in each production area (Onwudike 1986).

La tabla 5 muestra que un aumento en los niveles de PKM en las dietas de pollos de engorde disminuyó ($P < 0.05$) el costo del alimento, el costo del alimento para producir un kg de peso vivo, la canal, la pechuga y la pierna, con utilidades económicas. En la actualidad, el estudio de factibilidad económica es fundamental cuando se utilizan piensos alternativos en dietas animales que sustituyen materias primas importadas como las harinas

Table 5. Cost-benefit analysis of Cobb-500[®] broilers fed different levels of palm kernel meal (47 days)

Items	Inclusion of PKM (g/kg)				SEM±	P-value
	T0	T1	T2	T3		
Cost of feed consumed (USD)	3.24 ^a	3.11 ^b	2.84 ^c	2.51 ^d	0.029	0.005
Feed cost/kg of live weight (USD)	1.19 ^a	1.14 ^{ab}	1.11 ^b	1.02 ^c	0.022	<0.001
Utility/control (USD)	-	0.05	0.08	0.17	-	-
Feed cost/kg of carcass (USD)	1.60 ^a	1.56 ^a	1.45 ^b	1.33 ^c	0.014	<0.001
Utility/control (USD)	-	0.04	0.15	0.27	-	-
Feed cost/kg of breast (USD)	7.19 ^a	7.19 ^a	6.72 ^b	6.30 ^c	0.066	<0.001
Utility/control (USD)	-	0.00	0.47	0.89	-	-
Feed cost/kg of leg (USD)	4.94 ^a	4.90 ^a	4.63 ^b	4.44 ^c	0.045	<0.001
Utility/control (USD)	-	0.04	0.31	0.50	-	-

^{a,b,c,d}Means followed by different letters in each row as significantly different at $p < 0.05$ (Duncan 1955)

Thus, PKM can be considered as a strategy of food self-sufficiency. Shakila *et al.* (2012) used 75 g/kg of PKM in diets for broilers and found a lower feed cost per kg of live weight gain compared to control. Likewise, Onwudike (1986) showed an economic efficiency by decreasing feed cost and cost production using PKM up to 350 g/kg on broiler diets. However, although the T2 and T3 reduced the growth performance and the edible portions (table 3 and 4), the cost reduction (table 2) of these diets caused a higher economic utility as also observed by Okeudo *et al.* (2006) and Onwudike (1986). This shows that use of this alternative feed promotes economic gains in poultry production.

Conclusions

The results of this experiment showed that the dietary inclusion of up to 100 g/kg of palm kernel in the diet of Cobb 500[®] male broiler, as a partial substitute for corn and soybean meal, did not negatively affect the growth performance, carcass traits and economic benefit. In addition, the inclusion levels of 300 g/kg of the palm kernel meal had the best cost-benefit analysis.

de maíz y soya, ya que los piensos representan la mayor parte del costo de producción. En su mayor parte, los investigadores están de acuerdo en que la PKM reduce el costo de alimento/ave con una considerable ganancia económica, aunque estas ganancias estarán influenciadas por el costo de otras materias primas en cada área de producción (Onwudike 1986).

Por tanto, la PKM puede considerarse una estrategia de autosuficiencia alimentaria. Shakila *et al.* (2012) utilizaron 75 g/kg de PKM en dietas para pollos de engorde y encontraron un menor costo de alimento por kg de ganancia de peso vivo en comparación con el control. Asimismo, Onwudike (1986) mostró una eficiencia económica al disminuir el costo del alimento y el costo de producción con la utilización de PKM hasta 350 g/kg en dietas para pollos de engorde. Sin embargo, aunque T2 y T3 redujeron el comportamiento del crecimiento y las porciones comestibles (tablas 3 y 4), y la reducción de costos (tabla 2) de estas dietas, resultaron en mayores utilidades económicas, como también lo plantearon Okeudo *et al.* (2006) y Onwudike (1986). Esto muestra que el empleo de este alimento alternativo fomenta ganancias económicas en la producción avícola.

Conclusiones

Los resultados de este experimento demostraron que la inclusión de hasta 100 g/kg de frutos de la palma aceitera en la dieta de pollos machos de engorde Cobb 500[®], como sustituto parcial de la harina de maíz y soya, no afectó el comportamiento del crecimiento, los rasgos de la canal y los beneficios económicos. Además, los niveles de inclusión de 300 g/kg de harina de frutos de la palma aceitera tuvieron el mejor análisis de costo-beneficio.

References

- Abdollahi, M.R. 2016. "Influence of palm kernel meal inclusion and exogenous enzyme supplementation on growth performance, energy utilization, and nutrient digestibility in young broilers". *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(4): 539-548, ISSN: 1011-2367, DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0224>.
- Abdollahi, M.R., Zaefarian, F., Hunt, H., Anwar, M.N., Thomas, D.G. & Ravindran, V. 2019. "Wheat particle size, insoluble fiber sources and whole wheat feeding influence gizzard musculature and nutrient utilization to different extents in broiler chickens". *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(1): 146-161, ISSN: 1439-0396, DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13019>.
- Adli, D.N., Sjoftan, O., Natsir, M.H., Nuningtyas, Y.F., Sholikah, N.U. & Marbun, A.C. 2020. "The effect of replacing maize with fermented palm kernel meal (FPKM) on broiler performance". *Livestock Research for Rural Development*, 32, Article #109, ISSN: 0121-3784, Available: <http://www.lrrd.org/lrrd32/7/meser32109.html>, [Consulted: May 1st, 2020].
- AOAC (Official Methods of Analysis). 2006. 18th Ed. Ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA, ISBN: 978-0935584776.
- Aya, V.E., Ayanwale, B.A., Ijaiya, A.T. & Aremu, A. 2013. "Performance and nutrient digestibility in broiler chicks as influenced by multienzyme addition to starter diets containing palm kernel meal". *Biotechnology in Animal Husbandry*, 29(1): 93-104, ISSN: 1450-9156, DOI: <https://doi.org/10.2298/BAH1301093A>.
- Bello, K.M., Oyawoye, E.O., Bogoro, S.O. & Dass, U.D. 2011. "Performance of broilers fed varying levels of palm kernel cake". *International Journal of Poultry Science*, 10(4): 290-294, ISSN: 1682-8356, DOI: <https://doi.org/10.3923/ijps.2011.290.294>.
- Beloshapka, A.N., Buff, P.R., Fahey, G.C. & Swanson, K.S. 2016. "Compositional analysis of whole grains, processed grains, grain co-products, and other carbohydrate sources with applicability to pet animal nutrition". *Foods*, 5(2): 1-16, ISSN: 2304-8158, DOI: <https://doi.org/10.3390/foods5020023>.
- Berri, C., Besnard, J. & Relandeau, C. 2008. "Increasing dietary lysine increases final pH and decreases drip loss of broiler breast meat". *Poultry Science*, 87(3): 480-484, ISSN: 0032-5791, DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00226>.
- Bhagya, H.P., Babu, B.K., Gangadharappa, P.M., Naika, M.B., Satish, D. & Mathur, R.K. 2020. "Identification of QTLs in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) using SSR markers through association mapping". *Journal of Genetics*, 99(1): 1-10, ISSN: 0973-7731, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12041-020-1180-4>.
- Boateng, M., Okai, D.B., Baah, J. & Donkoh, A. 2008. "Palm kernel cake extraction and utilisation in pig and poultry diets in Ghana". *Livestock Research for Rural Development*, 20(7), ISSN: 0121-3784, Available: <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd20/7/boat20099.htm>, [Consulted: May 1st, 2020].
- Chen, W.L., Jahromi, M.F., Candyrine, S.C.L., Liang, J.B., Abdullah, N. & Idrus, Z. 2018. "Enzymatic hydrolysis drastically reduces fibre content of palm-kernel expeller but without enhancing performance in broiler chickens". *Animal Production Science*, 59(12): 2131-2137, ISSN: 1836-0939, DOI: <https://doi.org/10.1071/AN17860>.
- da Silva, R.S., Lopes, J.R.T., do Espírito, S.R.V., dos Santos, M.A.S., Cordeiro, C.A.M., Yoshioka, E.T.O., Corrêa, R.R., Martins, H.J. & de Lourenço, J.J.B. 2020. "Palm kernel meal (*Elaeis guineensis*) as a substitute for corn (*Zea mays*) in diets of Tambaqui (*Colossoma macropomum*)". *Aquaculture Research*, 51(8): 1-9, ISSN: 1355-557X, DOI: <https://doi.org/10.1111/are.14671>.
- Daud, M.J. & Jarvis, M.C. 1992. "Mannans of oil palm kernels". *Phytochemistry*, 31(2): 463-464, ISSN: 0031-9422, DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(92\)90017-K](https://doi.org/10.1016/0031-9422(92)90017-K).
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple Range and Multiple F Tests". *Biometrics*, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X, DOI: <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Ezieshi, E.V. & Olomu, J.M. 2008. "Nutritional evaluation of palm kernel meal types: 2. Effects on live performance and nutrient retention in broiler chicken diets". *African Journal of Biotechnology*, 7(8): 1171-1175, ISSN: 1684-5315, Available: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/58640>, [Consulted: May 1st, 2020].
- Fasuyi, A. 2020. "Biotechnological upgrade of high fibre-low protein industrial plant by-products in broiler diets: Carcass and organs characteristics". *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 13(1): 30-38, ISSN: 2456-8864, DOI: <https://doi.org/10.9734/ajaar/2020/v13i130096>.
- FEDNA (Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal). 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3rd Ed. de Blas, C., Mateos, G.G., García-Rebollar, P. (eds). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España, pp. 244-286.
- García, C.A., Gernat, A.G. & Murillo, J.G. 1999. "The effect of four levels of palm kernel meal in broiler diets". *Ceiba*, 40(2): 291-295, ISSN: 2225-6687, Available: <https://revistas.zamorano.edu/index.php/CEIBA/article/view/446>, [Consulted: May 1st, 2020].
- Gkarane, V., Ciulu, M., Altmann, B.A., Schmitt, A.O. & Mörlein, D. 2020. "The effect of algae or insect supplementation as alternative protein sources on the volatile profile of chicken meat". *Foods*, 9(9): 1-15, ISSN: 2304-8158, DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9091235>.
- Goh, Y.M., Noordin, M.M. & Liang, J.B. 2020. "Extrusion enhances apparent metabolizable energy, ileal protein and amino acid digestibility of palm kernel cake in broilers". *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, ISSN: 1011-2367, DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0964>.
- Hejdysz, M., Kaczmarek, S.A., Kubiś, M., Wiśniewska, Z., Peris, S., Budnik, S. & Rutkowski, A. 2020. "The effect of protease and *Bacillus licheniformis* on nutritional value of pea, faba bean, yellow lupin and narrow-leaved lupin in broiler chicken diets". *British Poultry Science*, 61(3): 1-7, ISSN: 0007-1668, DOI: <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1716303>.
- Huang, C., Zhang, S., Stein, H.H., Zhao, J., Li, D. & Lai, C. 2018. "Effect of inclusion level and adaptation duration on

- digestible energy and nutrient digestibility in palm kernel meal fed to growing-finishing pigs". *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(3): 395-402, ISSN: 1011-2367, DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0515>.
- Iyayi, E.A., Ogunsola, O. & Ijaya, R. 2005. "Effect of three sources of fiber and period of feeding on the performance, carcass measures, organs relative weight and meat quality in broilers". *International Journal of Poultry Science*, 4(9): 695-700, ISSN: 1682-8356. Available: http://ir.library.ui.edu.ng/bitstream/123456789/4716/1/%2819%29%20ui_art_iyayi_effect_2005.pdf, [Consulted: May 1st, 2020].
- Jang, Y.D. & Kim, Y.Y. 2013. "Energy values and apparent total tract digestibility coefficients of copra meal and palm kernel meal fed to growing pigs". *Canadian Journal of Animal Science*, 93(4): 517-521, ISSN: 0008-3984, DOI: <https://doi.org/10.4141/cjas2013-025>.
- Latshaw, J.D. 2008. "Daily energy intake of broiler chickens is altered by proximate nutrient content and form of the diet". *Poultry Science*, 87(1): 89-95, ISSN: 0032-5791, DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00173>.
- Lefevre, M., Mensink, R.P., Etherton, K.P., Petersen, B., Smith, K. & Flickinger, B.D. 2012. "Predicted changes in fatty acid intakes, plasma lipids, and cardiovascular disease risk following replacement of trans fatty acid containing soybean oil with application-appropriate alternatives". *Lipids*, 47(10): 951-962, ISSN: 0024-4201, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11745-012-3705-y>.
- Mardhati, M., Wong, H.K. & Noraini, S. 2011. "Growth performance and carcass quality of broilers fed with palm kernel meal-based rations". *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 39(2): 157-166, ISSN: 1394-9829, Available: <http://jtafs.mardi.gov.my/jtafs/39-2/Growth%20performance%20and%20carcass%20quality%20of%20broilers.pdf>, [Consulted: May 1st, 2020].
- Martínez, Y., Ayala, L., Hurtado, C., Más, D. & Rodríguez, R. 2019. "Effects of dietary supplementation with red algae powder (*Chondrus crispus*) on growth performance, carcass traits, lymphoid organ weights and intestinal pH in broilers". *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21(4): 1-7, ISSN: 1516-635X, DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1015>.
- Martínez, Y., Carrión, Y., Rodríguez, R., Valdiviá, M., Olmo, C., Betancur, C. & Liu, G. 2015. "Growth performance, organ weights and some blood parameters in replacement laying pullets fed with increasing levels of wheat bran". *Brazilian Journal of Poultry Science*, 17(3): 347-354, ISSN: 1516-635X, DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-635X1703347-354>.
- Martínez, Y., Letona, C. & Valdiviá, M. 2020. "Growth performance of dekalb white® egg-laying pullets fed discard corn grain". *International Journal of Poultry Science*, 19(10): 493-497, ISSN: 1682-8356, DOI: <https://doi.org/10.3923/ijps.2020.493.497>.
- Modesto, E.E., Sebastian, A.V., Martínez, Y., Valdiviá, M. & Rodríguez, R. 2020. "Effects of inclusion levels of discarded corn grain on growth performance, edible portions and economic response in broilers". *International Journal of Poultry Science*, 19(8): 372-379, ISSN: 1682-8356, DOI: <https://doi.org/10.3923/ijps.2020.372.379>.
- Okeudo, N.J., Onyike, I.L., Okoli, C.V. & Chiello, I.L. 2006. "Production performance, meat quality and feed cost implications of utilizing high levels of palm kernel cake in broiler finisher diets". *International Journal of Poultry Science*, 5(12): 1160-1163, ISSN: 1682-8356, DOI: <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.1160.1163>.
- Oladokun, A.A., Wahab, A., Rahman, N. & Suparjo, M. 2016. "Prospect of maximising palm kernel cake utilization for livestock and poultry in Malaysia: A review". *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 6(13): 107-113, ISSN: 2225-093X.
- Onwudike, O.C. 1986. "Palm kernel meal as a feed for poultry. 3. Replacement of groundnut cake by palm kernel meal in broiler diets". *Animal Feed Science and Technology*, 16(3): 195-202, ISSN: 0377-8401, DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(86\)90110-0](https://doi.org/10.1016/0377-8401(86)90110-0).
- Purnama, K.O., Setyaningsih, D., Hambali, E. & Taniwiryono, D. 2020. "Processing, Characteristics, and Potential Application of Red Palm Oil-A review". *International Journal of Oil Palm*, 3(2): 40-55, ISSN: 0972-5806, DOI: <https://doi.org/10.35876/ijop.v3i2.47>.
- Qureshi, S.S., Nizamuddin, S., Baloch, H.A., Siddiqui, M.T.H., Mubarak, N.M. & Griffin, G. J. 2019. "An overview of OPS from oil palm industry as feedstock for bio-oil production". *Biomass Conversion and Biorefinery*, 9(4): 827-841, ISSN: 2190-6815, DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00381-w>.
- Rakesh, S.S., Davamani, V., Banu, K.S.P., Maragatham, S., Lakshmanan, A., Parameswari, E. & Velmurugan, M. 2020. "Assessing the Potential of *Elaeis guineensis* Plantations for Carbon Sequestration and Fresh Fruit Bunch Yield in Coimbatore, Tamil Nadu". *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(6): 80-90, ISSN: 2231-0843, DOI: <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i630562>.
- Ramachandran, S., Singh, S.K., Larroche, C., Soccol, C.R. & Pandey, A. 2007. "Oil cakes and their biotechnological applications—A review". *Bioresource Technology*, 98(10): 2000-2009, ISSN: 0960-8524, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.002>.
- Riber, A.B. & Tahamtani, F.M. 2020. "Motivation for feeding in broiler breeder pullets fed different types of restricted high-fibre diets". *Applied Animal Behaviour Science*, 230(2020): 1-11, ISSN: 0168-1591, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105048>.
- Rodríguez, B., Martínez-Pérez, M., Vives, Y., Pérez, O. & Ayala, L. 2020. "Evaluación de la harina de frutos de *Roystonea regia* para la alimentación de pollos de engorde". *Livestock Research for Rural Development*, 32(7), ISSN: 0121-3784. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd32/7/brodri32118.html>, [Consulted: May 1st, 2020].
- Rogel, A.M., Annison, E.F., Bryden, W.L. & Balnave, D. 1987. "The digestion of wheat starch in broiler chickens". *Australian Journal of Agricultural Research*, 38(3): 639-649, ISSN: 1444-9838, DOI: <https://doi.org/10.1071/AR9870639>.
- Rostagno, H.S. 2005. *Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais*. 2nd Ed. Ed. Universidad Federal de Vicosa, Minas Gerais, Brazil, Available: https://www.agencia.cnpia.embrapa.br/Repositorio/Tabelas+brasileiras+-+Rostagno_000gy1tqvm602wx7ha0b6gs0xfzo6pk5.pdf, [Consulted: May 1st, 2020].
- Saadatmand, N., Toghyani, M. & Gheisari, A. 2019. "Effects of dietary fiber and threonine on performance, intestinal

- morphology and immune responses in broiler chickens". *Animal Nutrition*, 5(3): 248-255, ISSN: 2405-6383, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.06.001>.
- Savón, L., Scull, I. & Martínez, M. 2007. "Integral foliage meal for poultry feeding. Chemical composition, physical properties and phytochemical screening". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 41(2): 359-361, ISSN: 2079-3480.
- Shakila, S., Reddy, P.S., Reddy, P.V., Ramana, J.V. & Ravi, A. 2012. "Effect of palm kernel meal on the performance of broilers". *Tamil Nadu Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 8(4): 227-234, ISSN: 0973-2942.
- Son, A.R., Hyun, Y., Htoo, J.K. & Kim, B.G. 2014. "Amino acid digestibility in copra expellers and palm kernel expellers by growing pigs". *Animal Feed Science and Technology*, 187(1): 91-97, ISSN: 0377-8401, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.09.015>.
- SPSS. 2014. *Statistical Package for Social Sciences (version 23)*. SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA.
- Sugiharto, S., Yudiarti, T., Isroli, I., Widiastuti, E., Wahyuni, H.I. & Sartono, T.A. 2019. "Recent advances in the incorporation of leaf meals in broiler diets". *Livestock Research for Rural Development*, 31(7), ISSN: 0121-3784, Available: http://lrrd.cipav.org.co/lrrd31/7/sgu_u31109.html, [Consulted: May 1st, 2020].
- Sulabo, R.C., Ju, W.S. & Stein, H.H. 2013. "Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in copra meal, palm kernel expellers, and palm kernel meal fed to growing pigs". *Journal of Animal Science*, 91(3): 1391-1399, ISSN: 0021-8812, DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5281>.
- Valdiviá, N.M., Martínez, A.Y., Mesa, F.O., Botello, L.A., Betancur, H.C. & Velázquez, M.B. 2020. "Review of *Moringa oleifera* as forage meal (leaves plus stems) intended for the feeding of non-ruminant animals". *Animal Feed Science and Technology*, 260: 114338, ISSN: 0377-8401, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114338>.
- Vargas, E. & Zumbado, M. 2003. "Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica". *Agronomía Costarricense*, 27(1): 7-18, ISSN: 2215-2202, Available: <https://www.redalyc.org/pdf/436/43627101.pdf>, [Consulted: May 1st, 2020].
- Vatanparast, H., Islam, N., Shafiee, M. & Ramdath, D.D. 2020. "Increasing plant-based meat alternatives and decreasing red and processed meat in the diet differentially affect the diet quality and nutrient intakes of Canadians". *Nutrients*, 12(7): 1-14, ISSN: 2072-6643, DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12072034>.
- Vieira, S. L., Oyarzabal, O.A., Freitas, D.M., Berres, J., Pena, J.E.M., Torres, C.A. & Coneglian, J.L.B. 2008. "Performance of broilers fed diets supplemented with sanguinarine-like alkaloids and organic acids". *Journal of Applied Poultry Research*, 17(1): 128-133, ISSN: 1056-6171, DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00054>.
- Wickramasuriya, S., Kim, E., Shin, T.K., Cho, H.M., Kim, B., Patterson, R., Young-Joo, Y., Park, S., Balasubramanian, B. & Heo, J.M. 2019. "Multi-carbohydrase addition into a corn-soybean meal diet containing wheat and wheat by products to improve growth performance and nutrient digestibility of broiler chickens". *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2): 399-409, ISSN: 1056-6171, DOI: <https://doi.org/10.3382/japr/pfz002>.

Received: September 3, 2020

Accepted: 16 October, 2020