

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN NUTRICIÓN**



**“ENERGÍA NETA DE INGREDIENTES EN POLLOS DE CARNE Y
VALIDACIÓN DE UN MODELO PARA ESTIMAR EL
REQUERIMIENTO DE ENERGÍA NETA”**

**Presentada por:
JUAN ELMER MOSCOSO MUÑOZ**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN NUTRICIÓN**

**Lima – Perú
2020**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN NUTRICIÓN**

**" ENERGÍA NETA DE INGREDIENTES EN POLLOS DE CARNE Y
VALIDACIÓN DE UN MODELO PARA ESTIMAR EL
REQUERIMIENTO DE ENERGÍA NETA "**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN NUTRICIÓN**

Presentada por:

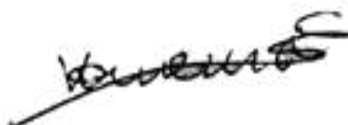
JUAN ELMER MOSCOSO MUÑOZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:



Ph.D. Carlos Gómez Bravo

PRESIDENTE



Ph.D. Victor Guevara Carrasco

PATROCINADOR



Ph.D. Mariano Echevarría Rojas

MIEMBRO



Ph.D. Carlos Vilchez Perales

MIEMBRO



Ph.D. Bernardo Roque Huanca

MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado de manera muy especial a mis queridos padres Juan y Libia quienes siempre me apoyaron en todo momento para el logro de mis objetivos.

A mis hermanos Ivonne, Milner y Brithner quienes han sido y serán parte importante de mi vida.

A la memoria de mis abuelos paternos y maternos.

A todas las personas que siempre estuvieron a mi lado y algunos siguen allí, a todos ellos gracias totales.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis Ph.D. Victor Guevara Carrasco por su orientación y enseñanza en el desarrollo del presente trabajo y sobre todo por su amistad a lo largo de mis estudios tanto en la Maestría como en el Doctorado.

A los miembros del Jurado quienes con sus sugerencias y recomendaciones me permitieron consolidar la investigación.

A los docentes y personal administrativo de la Especialidad de Nutrición quienes me brindaron sus conocimientos y apoyo permanente durante mi estancia en la Universidad.

Al Laboratorio de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la UNALM donde fueron realizados parte de los análisis en el estudio.

Al Laboratorio de Nutrición y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNMSM y muy en particular al Mgt. Juan Olazaval Loaiza por su apoyo en el desarrollo de la investigación.

Al laboratorio de Nutrición de la Escuela Profesional de Zootecnia de la UNSAAC por su apoyo permanente en el estudio.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por haberme brindado todo el apoyo para la culminación de mis estudios y el financiamiento parcial de la investigación.

Un agradecimiento especial al M.Sc. Mario Arjona Smith por su amistad y apoyo en el desarrollo de la investigación.

A mis amigos con quienes compartí buenos momentos y quienes siempre me brindaron su apoyo, les estaré eternamente agradecido.

RESUMEN

Dos estudios fueron conducidos con el objetivo de determinar el contenido de Energía Neta (EN) del grano de maíz, subproducto de trigo, harina de soya, harina de pescado y aceite de soya en pollos de carne, por la técnica de sacrificio comparativo y predecir el requerimiento de EN del pollo de carne y su validación. Estudio 1: Se utilizaron 180 pollos machos, distribuidos en seis tratamientos (dietas): T1: (Basal (B), T2: B + grano de maíz (40%), T3: B + subproducto de trigo (40%), T4: B + harina de soya (30%), T5: B + harina de pescado (30%) y T6: B + aceite de soya (10%), en tres niveles de alimentación (ad libitum (AL), 85% AL y 70% AL), con dos réplicas (cinco pollos/réplica) por tratamiento, haciendo un total de 36 unidades experimentales. Se evaluaron el consumo de alimento, peso corporal y ganancia de peso, composición corporal (materia seca, grasa, proteína y ceniza). La Energía Metabolizable se determinó por el método de colección total de excretas corregida por nitrógeno. Los datos registrados fueron analizados utilizando un Análisis de Varianza en un Diseño de Bloques Completo al Azar. Estudio 2: El Estudio 1 fue replicado para validar el modelo de predicción del requerimiento de la EN a partir de la energía neta de mantenimiento (ENm) obtenida experimentalmente y la energía retenida (ER). La EN de las dietas se determinó sacrificando los pollos a los 7 y 21 días de edad para obtener la ER y el consumo de Energía Metabolizable (EM). La ENm y la eficiencia de utilización de la EM fueron obtenidos por regresión lineal simple entre la ER y el consumo de EM. Los resultados indican que: la EN del grano de maíz, subproducto de trigo, harina de soya, harina de pescado y aceite de soya fueron de 2527, 1598, 1417, 1837, 7550 kcal/kg de materia seca (MS), respectivamente. La ENm obtenida en el estudio, para el modelo de predicción del requerimiento de EN en pollos de carne, es de 79.66 kilocalorías por unidad de peso metabólico ($W^{0.75}$). Basado en estos resultados, el modelo propuesto para la determinación del requerimiento de EN del pollo de engorde es: $EN = 79.66 \text{ kcal} \times W^{0.75} + ER$, con un error de 2.17% y un R^2 de 0.98.

Palabras clave: dieta basal, energía neta, pollo de carne, sacrificio comparativo.

ABSTRACT

Two studies were conducted to determine the Net Energy (NE) content of corn grain, wheat by-product, soybean meal, fish meal and soybean oil in broilers by the comparative slaughter technique and to predict the NE requirement of broiler and its validation. Study 1: 180 male chickens were allocated to six treatments (diets): T1: Basal (B), T2: B + corn (40%), T3: B + wheat by-product (40%), T4: B + soybean meal (30%), T5: B + fish meal (30%) and T6: B + soybean oil (10%), at three feeding levels (ad libitum (AL), 85% AL and 70 % AL), with two replicates of five chickens each per treatment, making a total of 36 experimental units. Feed intake, body weight and weight gain, body composition (dry matter, fat, protein and ash) were evaluated. Metabolizable Energy was determined by total collection method of excreta corrected by nitrogen. The data were analyzed using an Analysis of Variance in a Randomized Complete Block Design. Study 2: Study 1 was replicated to validate the prediction model of the NE from the Net Energy for Maintenance (NEM) obtained experimentally and retained energy (RE). The NE of the diets were determined by slaughtering the chickens at 7 and 21 days of age to obtain the RE and the Metabolizable Energy (ME) intake. The NEM and the efficiency of ME utilization were obtained by simple linear regression between the RE and the ME intake. The results of the present study were: The NE of corn grain, wheat by-product, soybean meal, fish meal and soybean oil were 2527, 1598, 1417, 1837, 7550 kcal/kg DM, respectively. The NEM obtained in the study, for the NE requirement prediction model in broilers, is 79.66 kilocalories per unit of metabolic weight ($W^{0.75}$). Based on these results, the proposed model for determining the NE requirement for broilers is: $NE = 79.66 \text{ kcal} \times W^{0.75} + RE$, with an error of 2.17% and an R^2 of 0.98.

Keywords: basal diet, net energy, broiler, comparative slaughter.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. INTRODUCCIÓN.....	3
2.2. VALOR ENERGÉTICO DE LOS ALIMENTOS.....	5
2.3. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA EN AVES DE CARNE.....	12
2.4. ENERGÍA METABOLIZABLE.....	13
2.4.1. Métodos para determinar la energía metabolizable.....	14
2.5. PRODUCCIÓN DE CALOR.....	15
2.6. INCREMENTO CALÓRICO.....	17
2.7. ENERGÍA NETA.....	18
2.7.1. Energía neta de mantenimiento.....	20
2.7.2. Energía neta de producción.....	20
2.7.3. Metodología para determinar la energía neta en pollos.....	21
2.7.3.1. Técnica del sacrificio comparativo.....	22
2.7.3.2. Calorimetría directa e indirecta.....	23
2.7.4. Modelos de estimación de la energía neta.....	24
2.8. COMPOSICIÓN CORPORAL.....	24
2.9. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ENERGÍA NETA EN AVES.....	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1. LUGAR DEL ESTUDIO.....	30
3.2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.3. ANIMALES E INSTALACIONES.....	30
3.4. TRATAMIENTOS	31
3.5. SUMINISTRO DE ALIMENTO.....	31
3.6. ESTUDIO 1: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ENERGÍA NETA ...	33
3.6.1. Energía metabolizable de las dietas.....	33
3.6.2. Energía metabolizable de los ingredientes.....	34

3.6.3. Energía neta de las dietas e ingredientes	34
3.7. ESTUDIO 2: VALIDACIÓN DEL MODELO PARA ESTIMAR EL REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA NETA.....	36
3.7.1. Modelo de estimación del requerimientos de energía neta.....	36
3.8. ANÁLISIS DE MUESTRAS	37
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	37
3.10. VALIDACIÓN DEL MODELO.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. ESTUDIO 1: ENERGÍA NETA DE LAS DIETAS Y LOS INGREDIENTES.....	39
4.1.1. Energía neta para mantenimiento y eficiencia de utilización de la energía metabolizable	39
4.1.2. Utilización de la energía.....	40
4.1.3. Energía Neta de las dietas.....	41
4.1.4. Energía Neta de los ingredientes.....	43
4.2. ESTUDIO 2: REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA NETA.....	48
4.2.1. Modelo de Estimación del Requerimiento de Energía Neta.....	48
4.2.2. Validación del modelo para estimar el requerimiento de Energía Neta.....	48
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
VIII. ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Resumen de valores energéticos de diferentes ingredientes empleados en la formulación de dietas para pollos (compilado en base a referencias del Anexo 16)	9
Tabla 2.	Valores de eficiencia energética de ingredientes alimenticios en relación con el valor energético del maíz para pollos (calculado en base a la tabla 1)	11
Tabla 3.	Valores de eficiencia energética de ingredientes alimenticios en relación con una dieta de referencia en pollos (calculado en base a la tabla 1)	11
Tabla 4.	Composición corporal y relación proteína (Pt) : grasa (F) en pollos para carne	27
Tabla 5.	Ingredientes y composición nutricional de la dieta basal (base fresca)	32
Tabla 6.	Dietas empleadas en el estudio por niveles de sustitución, y su valor nutricional, % (base seca)	33
Tabla 7.	Resultados del análisis de regresión entre energía retenida (ER) y el consumo de energía metabolizable (EM)	40
Tabla 8.	Utilización de la energía en las dietas experimentales	41
Tabla 9.	Energía neta de las dietas experimentales	42
Tabla 10.	Energía neta de los ingredientes y su eficiencia	44
Tabla 11.	Comparación de los valores determinados de energía metabolizable y energía neta en el estudio y la literatura, kcal/kg MS	46
Tabla 12.	Eficiencia de la energía metabolizable y neta de los ingredientes en función al maíz	47
Tabla 13.	Energía neta determinada en el experimento II	49
Tabla 14.	Resultados de la prueba de error y coeficiente de determinación, para la EN de las dietas a partir del modelo propuesto ($EN_m = 79.66 \text{ kcal} \times W^{0.75} + ER$)	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Partición de la energía ingerida en aves

4

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Registro de pesos promedios de los animales: estudio I	68
Anexo 2.	Registro de pesos promedios de los animales: estudio II	69
Anexo 3.	Variación del peso, consumo, ganancia, energía retenida por tipo de dieta y nivel de restricción alimenticia: estudio I.	70
Anexo 4.	Peso corporal, ganancia de proteína y grasa (gramos/pollo)	71
Anexo 5.	Consumo de energía metabolizable (kcal/W ^{0.75})	72
Anexo 6.	Análisis químico, energía bruta y energía metabolizable determinada de los ingredientes empleados en el estudio (base seca)	72
Anexo 7.	Análisis químico, energía bruta y energía metabolizable determinada de las dietas (base seca).	73
Anexo 8.	Energía bruta de las dietas, kcal/kg MS	74
Anexo 9.	Energía metabolizable de las dietas, kcal/kg MS	74
Anexo 10.	Energía metabolizable de los ingredientes, kcal/kg MS	75
Anexo 11.	Energía metabolizable de los ingredientes y su metabolicidad	75
Anexo 12.	Energía neta de las dietas, kcal/kg MS	76
Anexo 13.	Energía neta de los ingredientes, kcal/kg MS	76
Anexo 14.	Composición nutricional de las dietas experimentales, % (base como se da)	77
Anexo 15.	Energía retenida de proteína y grasa en pollos, (MS)	78
Anexo 16.	Valores energéticos de diferentes ingredientes empleados en la formulación de dietas para pollos	78
Anexo 17.	Composición corporal de los pollos	81
Anexo 18.	Análisis de correlación y regresión de la composición corporal de los pollos	82
Anexo 19.	Análisis de los parámetros productivos	83
Anexo 20.	Análisis de la energía bruta en dietas, kcal/kg MS	88
Anexo 21.	Análisis de la energía metabolizable en las dietas, kcal/kg MS	88
Anexo 22.	Análisis de la energía metabolizable en los ingredientes, kcal/kg MS	90

Anexo 23.	Análisis de la energía neta de los ingredientes, kcal/kg MS	91
Anexo 24.	Análisis de la eficiencia EN:EB de los ingredientes	92
Anexo 25.	Análisis de la eficiencia k (EN:EM) de los ingredientes	92
Anexo 26.	Análisis del consumo de energía metabolizable/ $W^{0.75}$	93
Anexo 27.	Análisis de correlación y regresión del consumo EM, kcal/día, ER-proteína, kcal/día	94
Anexo 28.	Análisis de Correlación y regresión del consumo EM, kcal/día y ER-grasa, kcal/día	95
Anexo 29.	Análisis de correlación y regresión del consumo EM, kcal/ $W^{0.75}$ /día y ER/ $W^{0.75}$ /día	95
Anexo 30.	Análisis de correlación y regresión del consumo de energía metabolizable y energía retenida, kcal/día.	96
Anexo 31.	Análisis de correlación y regresión del consumo de EM y energía neta	97
Anexo 32.	Análisis de la energía neta de las dietas, kcal/kg MS	98
Anexo 33.	Análisis de la energía retenida total (proteína + grasa), kcal/día	99
Anexo 34.	Análisis de la energía retenida como proteína, kcal/día	99
Anexo 35.	Análisis de la energía retenida como grasa, kcal/día	100
Anexo 36.	Análisis de la composición corporal	101
Anexo 37.	Análisis de correlación y regresión de la composición corporal	106

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de proteína de origen animal es cada vez mayor, lo que implica tener que desarrollar sistemas de producción eficientes y competitivos en el mercado, con el uso racional de los recursos. Considerando que el alimento representa más del 70% de los costos y, siendo la energía el componente más importante, es que existe la necesidad de determinar y/o estimar de forma precisa los valores energéticos de los alimentos, así como los requerimientos de energía en los pollos, necesario para una óptima nutrición. Para ello es necesario entender de mejor manera la eficiencia de utilización de los nutrientes en la deposición de tejidos.

La formulación de alimentos para aves se realiza en base a la energía metabolizable (EM), típicamente corregida por retención de nitrógeno. Sin embargo, la EM no es un sistema perfecto de evaluación de la energía y ha sido cuestionado, debido a que puede ser influenciado por muchos factores como la especie animal, genética, edad y nivel de alimentación y no toma en consideración las diferencias en eficiencia de utilización de los nutrientes y la partición de la energía en los productos utilizables (carne), deposición de grasa y el exceso en la producción de calor. La EM sobreestima la Energía Neta (EN) de los ingredientes ricos en proteína y fibra, y subestima el valor energético de los ingredientes ricos en grasa o almidón, ya que las variaciones en la proporción de grasa, almidón y proteína, afectan la eficiencia de utilización de las fuentes proteicas y la de los cereales.

La valoración energética de los ingredientes alimenticios en términos de EN constituye el objetivo primordial en la producción de pollos de carne, puesto que permitirá reducir los costos de alimentación, maximizar la eficiencia del uso de los nutrientes y minimizar las pérdidas o excreciones, que tienen efectos negativos no solo en términos económicos, sino también sobre la salud ambientales.

El sistema de EN ha demostrado ser superior al sistema de energía metabolizable en la formulación de dietas; toma en consideración la energía perdida como incremento calórico, las diferencias en la eficiencia de utilización de la energía metabolizable, y permite predecir de mejor manera la respuesta productiva de los animales, modelar y simular el crecimiento.

Desafortunadamente, la información acerca de los valores de energía neta para los ingredientes de uso en la alimentación de aves es limitada. Adicionalmente, la determinación del contenido de EN de un ingrediente o alimento es costosa y más compleja, las técnicas desarrolladas (sacrificio comparativo y la calorimetría indirecta) tienen ventajas y limitaciones, pero todas ellas requieren que se determine o estime la producción de calor y, emplear diferentes niveles de alimentación para obtener la EN, por lo que se busca diseñar modelos que permitan simplificar este proceso.

Los valores de EN para los ingredientes empleados en la alimentación de pollos de carne son limitados y, fueron desarrollados en otras latitudes, faltando información local, lo que dificulta su aplicación, ya que el valor energético de los ingredientes puede variar debido a las diferencias en el mejoramiento genético y las prácticas agronómicas e industriales utilizadas. La complejidad en las metodologías para determinar la EN, principalmente la EN_m, limitan su aplicación; por lo que es necesario estimar la EN_m y la energía retenida, el incremento calórico y la eficiencia de utilización de la energía metabolizable (k), obtener el consumo de EN a partir del consumo de EM y conocer la EN de las dietas y los ingredientes.

Por lo tanto, los objetivos del estudio fueron determinar el contenido de Energía Neta en pollos de carne, del grano de maíz, harina de soya, harina de pescado, subproducto de trigo y aceite de soya por la técnica de sacrificio comparativo, y proponer un modelo para estimar sus requerimientos de Energía Neta y su validación a partir de la Energía Neta para mantenimiento obtenida experimentalmente.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. INTRODUCCIÓN

El adecuado conocimiento del contenido nutricional de los alimentos es considerado como esencial para una óptima nutrición, la energía y proteína representan la mayor proporción de los costos de las dietas y tienen marcada influencia sobre el estatus productivo de los animales (Lotfollahian y Hosseini 2007), por lo que el objetivo de la producción moderna de pollo es reducir el costo de alimentación para optimizar el retorno económico. Son tres las estrategias involucradas en este propósito, primero, incrementar la eficiencia de utilización del alimento y la cantidad total de carne de pollos producido, segundo, manipular la formulación de dietas para expresar la máxima tasa de crecimiento, tercero, disminuir los costos de producción sin disminuir significativamente la producción (Noblet *et al.* 2010).

Bajo este contexto, el costo del alimento es el más importante en la producción de pollos y la energía representa la mayor proporción de este costo, el mismo que probablemente continúe incrementándose en el futuro (Noblet 2013; Abdulla *et al.* 2016). De este modo es importante estimar de forma precisa los valores energéticos de los alimentos, por su marcada influencia en la producción de los animales (Lotfollahian y Hosseini 2007); lo que permitirá realizar una formulación adecuada de alimentos al mínimo costo.

El potencial de un alimento para suministrar un nutriente en particular puede ser determinado mediante un análisis químico, pero la disponibilidad del nutriente para el animal, requiere de conocer las pérdidas que ocurren durante la digestión, absorción y metabolismo (McDonald *et al.* 2010). De acuerdo con la primera y la segunda Ley de la termodinámica, todas las formas de energía se pueden convertir cuantitativamente en calor (Baldwin y Bywater 1984) y por lo tanto, todas las mediciones de energía se realizan en términos de energía térmica o calorías (Ettungalpadi 2014). El consumo de energía en exceso a las necesidades de mantenimiento y producción incrementa la deposición de grasa y reduce la calidad de la carcasa.

La evaluación de la energía de los alimentos en aves y cerdos ha sido comúnmente basada en el contenido de energía digestible (ED) o energía metabolizable (EM). Sin embargo, la forma más cercana de estimar los valores de la energía verdadera debería ser el contenido de energía neta (EN) la cual toma en consideración diferencias en la utilización metabólica de la EM de los nutrientes para mantenimiento y los requerimientos de producción (Gráfico 1) (Noblet 2013; Sibbald 1982).

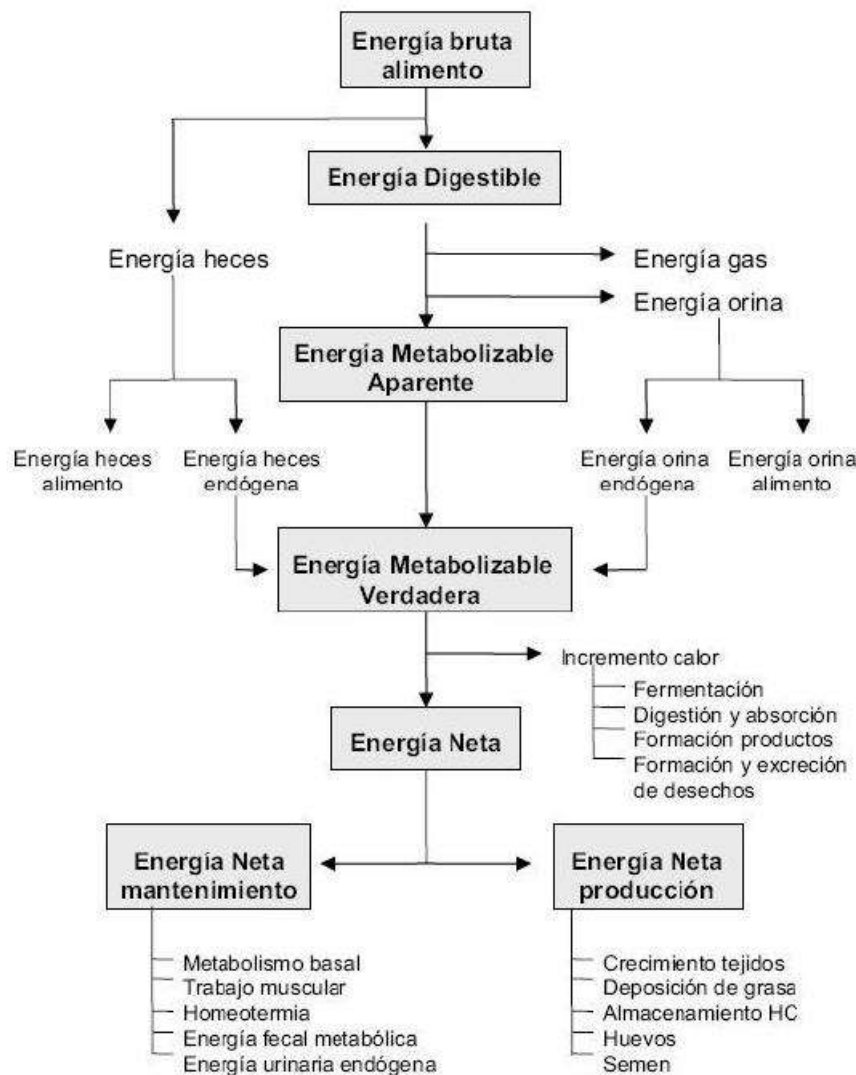


Gráfico 1. Partición de la energía ingerida en aves (Sibbald 1982).

2.2. VALOR ENERGÉTICO DE LOS ALIMENTOS

Los ingredientes empleados en la formulación de dietas para pollos, están compuestos de una mezcla de cereales, leguminosas, harinas de origen animal, vitaminas y minerales, así como aditivos; todos ellos conjuntamente con el agua, proveen la energía y nutrientes que son esenciales para que los animales puedan cumplir con todas sus funciones vitales (Klis y Fledderus 2007). Los cereales como el maíz, trigo, sorgo, cebada, entre otros, son la principal fuente de energía en las dietas comerciales de pollos, la mayoría de los carbohidratos en los granos de cereales están como almidones, los cuales son fácilmente digeridos y constituyen la mayor fuente de energía, pero también se tiene la presencia de fibra, y oligosacáridos como la estaquiosa y rafinosa que contribuyen poco o nada y algunos afectan negativamente los procesos digestivos cuando están presentes en cantidades elevadas en la dieta (NRC 1994; Klis y Fledderus 2007).

La adecuada determinación del contenido energético de los ingredientes es de suma importancia; sin embargo, las discrepancias entre autores, al estimar el contenido energético de los cereales, mediante el uso de valores tabulados, ecuaciones de regresión predictiva son amplias (Mateos *et al.* 2015; Mateos *et al.* 2018). La energía necesaria para el mantenimiento en general del metabolismo y para la producción, es provista por los carbohidratos, proteínas y lípidos (NRC 1994), las cuales deben ser digeridas para su absorción y utilización a nivel metabólico, permitiendo de este modo la extracción de la energía contenida en ellas (Leeson y Summers 2001).

La energía de los alimentos es utilizada en tres etapas, la primera consiste en que grandes moléculas del alimento sean fragmentadas en unidades más pequeñas, proteínas en aminoácidos, polisacáridos en azúcares simples, y grasas en glicerol y ácidos grasos; estos productos son absorbidos por las células intestinales y distribuidos por todo el cuerpo (etapa de preparación, no se captura energía útil en esta fase). En la segunda etapa, estas moléculas se degradan a unas pocas unidades simples que juegan un papel central en el metabolismo, la mayoría de los azúcares, ácidos grasos, glicerol y varios aminoácidos se convierten en acetil CoA (se genera algo de ATP, pero la cantidad es pequeña). En la tercera etapa, el ATP se produce a partir de la oxidación completa del acetil CoA, esta etapa consiste en el ciclo del ácido cítrico y la fosforilación oxidativa (Murray *et al.* 2010).

De esta manera, a través de todos estos procesos químicos que se desarrollan en los organismos vivos (a nivel celular), el material nutritivo es utilizado para la formación de tejidos (anabolismo), o las moléculas complejas son degradadas en sustancias simples durante las funciones que el organismo desarrolla (catabolismo), permitiendo la liberación de energía (Garrido *et al.* 2009; Ettungalpadi 2014).

Los valores energéticos de los ingredientes alimenticios o de una dieta para pollos, pueden ser expresados en términos de energía metabolizable y energía neta (NRC 1981; NRC 1994; Sibbald 1982); la cantidad relativa de energía metabolizable y energía neta, puede variar con la composición química de los ingredientes en la dieta, composición del alimento, factores anti nutricionales, condiciones de procesamiento, humedad, nivel de alimentación, diferencias en los métodos de determinación, otros factores como la especie, genética, edad de los pollos, así como las condiciones ambientales, también influyen sobre la distribución de la energía dietaria en el animal (NRC 1994; Choct 2004; Mateos *et al.* 2015).

Dietas adecuadamente balanceadas en todos los nutrientes, producen una mínima pérdida de calor, mientras que dietas desbalanceadas, especialmente aquellas marcadamente deficientes en proteína dietaria o con contenido en exceso de la misma, causan pérdidas muy altas de energía como calor (Leeson y Summers 2001).

Los lípidos tienen una alta concentración energética (2.25 veces más energía que los carbohidratos y proteínas) (Birsoy *et al.* 2013) y cuando son incluidos en las dietas, la eficiencia de utilización de la energía consumida es mayor comparada con aquellas en las cuales los niveles de su inclusión son bajas, la mejora en esta eficiencia es atribuible al bajo incremento calórico que generan los lípidos, ejemplo de ellos se tiene a las grasas (sebo, manteca) y aceites (maíz, soya, pescado). Los pollos jóvenes no utilizan las grasas con la misma eficiencia que los adultos, por su limitada capacidad enzimática y fisiológica del tracto digestivo (Brickett *et al.* 2007), la misma que es acentuada en las primeras dos semanas de vida, donde se producen cambios morfológicos, bioquímicos y moleculares (Yegani y Korver 2008), adicionalmente, la longitud de la cadena carbonada del ácido graso, nivel de saturación, relación de ácidos grasos saturados a insaturados, influyen sobre su utilización (Tancharoenrat *et al.* 2013).

Las habilidad de utilizar la grasa suplementada en las dietas, mejora con la edad, apreciándose que el mayor efecto observado en aves adultas es con el consumo de grasas

saturadas, con mínimos efectos con la utilización de fuentes de lípidos con alto nivel de insaturación, como es el caso de los aceites. Sin embargo, el nivel de inclusión en las dietas debe ser controlado debido a que niveles elevados (> 10%) no son bien tolerados por los pollos (Leeson y Summers 2001; Saleh *et al.* 2004).

El uso de proteínas (aminoácidos) como fuente de energía es antieconómico, puesto que es más costoso por unidad de energía que los carbohidratos y lípidos, adicionalmente se requiere de mayor trabajo para la formación de glucosa a partir de los aminoácidos con el resultante incremento en la producción de calor y con ello generando pérdida de energía en el cuerpo, y finalmente el uso de grandes cantidades de aminoácidos como fuente de energía, causa una presión metabólica sobre el animal, debido a la necesidad de sintetizar ácido úrico a partir de las grandes cantidades de nitrógeno, resultantes de la desaminación de los aminoácidos glucogénicos. El consumo de altas cantidades de proteína conlleva al mayor consumo de agua y alto contenido de humedad en las excretas (Leeson y Summers 2001), dietas formuladas con bajos niveles de proteína tienen menor excreción de nitrógeno (Vieira *et al.* 2016).

La fibra, cuyo contenido de celulosa y lignina es alto, es indigestible para los pollos, por lo que dietas cuyo contenido de fibra es alto, contiene relativamente bajos valores de energía. Los granos de cereales, son relativamente altos en carbohidratos digestibles y son considerados como la mayor fuente de energía en las dietas. Los subproductos como del trigo y cebada, son utilizados también en la dieta de pollos por que pueden aportar gran cantidad de carbohidratos (Leeson y Summers 2001).

En la Tabla 1, se presentan los valores de energía metabolizable y neta de ingredientes de uso frecuente en la alimentación de pollos, así como el análisis de estadística descriptiva realizado, como producto de la evaluación de artículos científicos y tablas de valoración energética publicadas a lo largo de estos años, en los cuales se puede apreciar, en términos generales, que existe rangos bastante amplios en los valores energéticos, sean estos en términos de EB, EMn, EN, de otro lado la cantidad de información existente de valores de EN es muy escasa, en todos los casos, se aprecia una mayor precisión en los valores reportados para la EN frente a la EMn. La variabilidad observada podría verse explicada en parte, por diferencias en el contenido nutricional de las mismas, presencia de factores anti nutricionales, tipo de procesamiento al cual fueron sometidos, diferencias en los procesos metodológicos empleados y al origen de los ingredientes (García-Rebollar *et al.* 2016).

Adicionalmente se puede indicar que el aceite de soya tiene una concentración energética (EB) más alta que el maíz (2.12), subproducto de trigo (2.13), harina de soya (1.96) y harina de pescado (1.98).

Para el caso del grano de maíz, se aprecia una diferencia (entre los valores más bajos y alto) de 1528 kcal en la EB, 1310 kcal en la EMn y 639 kcal para la EN, lo que muestra valores más constantes en la EN, el coeficiente de variabilidad es mayor en la EB, menor y semejante para la EMn y EN, los valores promedios de energía EB, EMn y EN son de 4465 kcal/kg MS, 3712 kcal/kg MS y 2846 kcal/kg MS, respectivamente, con una metabolibilidad de 84.41% y un k de 78.62% en promedio.

En el subproducto de trigo, la información existente es muy limitada, determinando ello una alta variabilidad en los datos analizados, solo se contó con un dato de la EB y dos para la EN; la diferencia observada (entre los valores más bajos y alto) fue de 973 kcal en la EMn y 709 kcal para la EN, los valores promedios de energía EB, EMn y EN son de 4432 kcal/kg MS, 1684 kcal/kg MS y 1281 kcal/kg MS, respectivamente, con una metabolibilidad de 46.14% y un k de 75.59% en promedio.

En la harina de soya, la diferencia (entre los valores más bajos y alto) es de 389 kcal en la EB, 1142 kcal en la EMn y 607 kcal para la EN, lo que muestra mayor precisión en la EN, el coeficiente de variabilidad es mayor en la EMn, los valores promedios de energía EB, EMn y EN son de 4814 kcal/kg MS, 2452 kcal/kg MS y 1535 kcal/kg MS, respectivamente, con una metabolibilidad de 53.68% y un k de 62.27% en promedio.

La harina de pescado, muestra una diferencia (entre los valores más bajos y alto) de 1188 kcal en la EB, 1590 kcal en la EMn y 642 kcal para la EN, en este caso también la precisión es mayor para la EN, el coeficiente de variabilidad es similar para todos los casos, los valores promedios de energía EB, EMn y EN son de 4766 kcal/kg MS, 3147 kcal/kg MS y 2151 kcal/kg MS, respectivamente, con una metabolibilidad de 65.27% y un k de 69.48% en promedio.

Tabla 1. Resumen de valores energéticos de ingredientes determinados y empleados en la formulación de dietas para pollos (compilado en base a referencias del Anexo 16).

Ingrediente	N°	Promedio, kcal/kg MS	DS	CV	Mínimo,	Máximo
Maíz (a)	27					
EB	6	4465	574.0	12.85	3881	5409
EMn	27	3712	333.7	8.99	3110	4420
EN	9	2846	230.8	8.11	2507	3146
EM/EB	6	84.41	4.46	5.28	76.85	88.00
EN/EM	9	78.62	4.25	5.41	70.46	85.60
EN/EB	2	69.46	0.02	2.93	68.02	70.90
Subproducto de trigo (b)	8					
EB	1	4432	*	*	4432	4432
EMn	8	1684	338	20.05	1300	2273
EN	2	1281	501	39.15	926	1635
EM/EB	1	46.14	*	*	46.14	46.14
EN/EM	2	75.59	6.17	8.16	71.23	79.95
EN/EB	1	36.89	*	*	*	*
Harina de soya (c)	28					
EB	7	4814	141	2.93	4598	4987
EMn	27	2452	233.5	9.52	1650	2792
EN	10	1535	202.9	13.22	1242	1849
EM/EB	4	53.68	1.177	2.19	52.33	55.20
EN/EM	9	62.27	7.39	11.87	48.61	76.85
EN/EB	1	40.21	*	*	*	*
Harina de pescado (d)	18					
EB	4	4766	556	11.67	4406	5594
EMn	18	3147	392.1	12.46	2445	4035
EN	5	2151	265	12.33	1859	2501
EM/EB	4	65.27	4.17	6.39	60.78	70.56
EN/EM	5	69.48	8.98	12.92	60.77	80.44
EN/EB	2	54.14	0.04	6.86	51.51	56.76
Aceite de soya (e)	10					
EB	3	9446	95.2	1.01	9370	9553
EMn	10	8502	590	6.94	7427	9260
EN	5	7651	673	8.8	6462	8100
EM/EB	3	92.46	2.69	2.91	89.35	94.18
EN/EM	5	86.86	6.27	7.22	75.7	90.01
EN/EB	3	78.96	0.098	12.41	67.64	84.77

DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variabilidad. a: 7 valores de EN (4 por calorimetría indirecta y 3 valores estimados); b: 2 valores de EN estimados; c: 10 valores de EN (3 calorimetría indirecta y 7 valores estimados); d: 5 valores estimados de EN; e: 5 valores de EN (1 Técnica de sacrificio comparativo y 4 valores estimados).

En el aceite de soya, la diferencia (entre los valores más bajos y alto) fue de 183 kcal en la EB, 1833 kcal en la EMn y 1638 kcal para la EN, en este también la precisión fue mayor para la EN frente a la EMn, el coeficiente de variabilidad fue mayor para la EN, los valores promedios de energía EB, EMn y EN son de 9446 kcal/kg MS, 8502 kcal/kg MS y 7651 kcal/kg MS, respectivamente, con una metabolicidad de 92.46% y un k de 86.86% en promedio.

Los valores de eficiencia de los ingredientes analizados en función al maíz, muestran que el aceite de soya tiene la eficiencias más altas sean estas expresadas en términos de EMn o EN, seguido por la harina de pescado que es superior a los valores determinados con la harina de soya, finalmente los valores más bajos se aprecian en el subproducto de trigo (Tabla 2). De la misma forma cuando se compara la eficiencia de los ingredientes en función a una dieta de referencia, el aceite de soya sigue mostrando las mayores eficiencias, seguido por el maíz que es superior a los valores determinados en los otros ingredientes (Tabla 3).

Tabla 2. Valores de eficiencia energética de ingredientes alimenticios en relación con el valor energético del maíz para pollos (calculado en base a la Tabla 1).

Ingrediente	Energía Bruta, %	Energía metabolizable (EMn), %	Energía Neta, %
Grano de maíz	100	100	100
Subproducto de trigo	99	45	45
Harina de soya	108	66	54
Harina de pescado	107	85	76
Aceite de soya	212	229	269

Tabla 3. Valores de eficiencia energética de ingredientes alimenticios en relación con una dieta de referencia en pollos (calculado en base a la tabla 1).

Ingrediente	Energía Bruta, %	Energía metabolizable (EMn), %	Energía Neta, %
Dieta referencia	100	100	100
Grano de maíz	100	103	110
Subproducto de trigo	100	47	50
Harina de soya	108	68	59
Harina de pescado	107	88	83
Aceite de soya	213	237	296

Dieta de referencia: 63% maíz, 31% harina de soya, aceite 1.7%, 4.3% otros.

2.3. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA EN AVES DE CARNE

En animales en crecimiento, se requiere energía para diferentes funciones como mantenimiento, actividad física, crecimiento y termorregulación; los animales comen para satisfacer sus necesidades de energía, si la ingesta de alimento es inferior a la ingesta deseada, se supone que se dará menos prioridad al crecimiento que por lo tanto será reducido. Además, es probable que los animales intenten comer para alcanzar un objetivo de energía neta. En un animal adulto que mantiene un peso constante, la deposición de proteínas y lípidos es cero y toda la energía consumida debe liberarse como calor (van Milgen *et al.* 2018).

Definir las necesidades de energía de los pollos es algo más complejo que definir las necesidades para la mayoría de los otros nutrientes. Los pollos tienen la habilidad para modificar su consumo de alimento en función a cambios en la concentración energética de la dieta (Leeson y Summers 2001).

La adecuada estimación de los requerimientos de energía es necesario para una óptima nutrición (Lotfollahian y Hosseini 2007) que permita maximizar la respuesta productiva y tomar mejores decisiones económicas (Shatnawi 2014), y ello pasa por entender la eficiencia de utilización de la energía para la deposición de proteína o grasa, de este modo establecer los requerimientos para maximizar la tasa de crecimiento de los pollos (Shatnawi 2014) y optimizar la eficiencia alimenticia así como la calidad de la carcasa, buscando maximizar la deposición de proteína con la menor deposición de grasa.

La energía que requieren los animales y, que es suministrada por los alimentos, le sirve para poder cumplir con sus funciones vitales, expresada está en términos de energía para mantenimiento y producción (Ettungalpadi 2014). La evaluación del contenido energético de las dietas para aves usualmente es realizada en términos de energía metabolizable corregida por nitrógeno; sin embargo, la estimación más cercana del valor energético verdadero debería ser en base a su contenido de energía neta, el mismo que toma en cuenta las diferencias en la utilización metabólica de la energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno y la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno (Yaghoobfar 2016).

2.4. ENERGÍA METABOLIZABLE

La energía metabolizable (EM) es la energía disponible para la producción animal y su determinación es importante en la evaluación de los alimentos y también es utilizada para describir cuantitativamente los requerimientos de energía en la nutrición de aves comerciales. Se define como la energía bruta del alimento consumido menos la energía bruta de las excretas y productos gaseosos de la digestión (que son despreciables en aves), es decir representa la energía bruta que no se desperdicia en las heces y orina (Moir *et al.* 1980; NRC 1994). Usualmente se realiza una corrección por nitrógeno retenido en el cuerpo para obtener la energía metabolizable corregida por nitrógeno (Hill y Anderson 1958; Hill *et al.* 1960; Zelenka 1997). La corrección por nitrógeno disminuye la variabilidad de la estimación de la energía metabolizable aparente de ingredientes que difieren en el contenido de proteína (Lopez y Leeson 2008a), sin embargo, la corrección por nitrógeno descuenta los valores de energía de ingredientes altos en proteína, como la harina de soya relativo a la de los granos (Swick *et al.* 2013b).

Es improbable que los valores de energía metabolizable que aparecen en las tablas de composición nutritiva de los ingredientes, reflejen el contenido calórico de los diferentes lotes de materias primas y que sean válidos para todas las muestras. Los valores de energía metabolizable que están en las tablas han sido obtenidos convencionalmente con el método de Hill *et al.* (1960), utilizando pollos de carne y el uso del óxido crómico como indicador, (Sales y Janssens 2003).

El valor teórico de la EM de la proteína depende de la forma en que se usan los aminoácidos constituyentes, si todos los aminoácidos se depositaran como proteína corporal, no habría producción de urea y el valor de la EM correspondería al valor de la energía digestible. Por otro lado, si todos los aminoácidos se administraran "en exceso" sin una deposición neta de proteínas, todos los aminoácidos digeribles se desaminarían y el nitrógeno resultante se usaría para la síntesis de urea. Sin embargo, la cadena de carbono de los aminoácidos desaminados se puede usar para otros fines, como la deposición de lípidos o para la energía de mantenimiento (es decir, la producción de ATP). El valor teórico de EM de un aminoácido, por lo tanto, oscila entre dos valores: uno cuando el aminoácido está completamente desaminado y donde todo el nitrógeno se usa para la síntesis de urea y otro donde el aminoácido se deposita tal cual (van Milgen *et al.* 2018).

La energía metabolizable es ampliamente utilizada y aceptado como una medida práctica de los valores energéticos de las dietas en la alimentación de aves (Shannon y Brown 1969), sin embargo, tiene limitaciones en comparación a los valores económicos de los ingredientes alimenticios como fuente de energía utilizable por los pollos; variaciones en la composición química (proporción de grasa, almidón y proteína) y las diferencias en los métodos de determinación que afectan la eficiencia de utilización de la energía metabolizable (Pirgozliev y Rose 1999; De Groote 1971; Reid *et al.* 1980), siendo mayor con los lípidos que con los carbohidratos y las proteínas que muestran ser inferiores a los carbohidratos (Carew y Hill 1964; Emmans 1994). Teniendo en consideración estas diferencias en la eficiencia de utilización metabólica es que se necesita una evaluación energética más precisa de los ingredientes dietarios (De Groote 1974).

2.4.1. Métodos para determinar la energía metabolizable

Se han publicado diversas pruebas para medir la energía metabolizable (EM) de los alimentos. Hill y Anderson (1958), desarrollaron un procedimiento para valorar el contenido de energía metabolizable, que ha servido para conocer el contenido de energía metabolizable de los alimentos como son los aceites de soya (Hill y Renner 1960), granos, la pasta de soya (Hill *et al.* 1960) y otros ingredientes proteicos (Zablan *et al.* 1963; Quijano 2005).

Para la determinación de la EM, se cuenta con una dieta de referencia que contiene glucosa y la sustitución de la glucosa por el insumo problema en la dieta de referencia (energético 40%, proteico 30% y lipídico 10%) (Rojas y Arana 1981), luego ésta es suministrada a las aves sin restricción (*ad libitum*) por un período de tres semanas donde los últimos tres días son necesarios para la colección de la excreta y la cuantificación del alimento ingerido. Sibbald y Slinger (1963), utilizaron una dieta de referencia compuesta de ingredientes convencionales empleados en las dietas comerciales y dietas en las que se incluía varios niveles del insumo problema a expensas de la dieta de referencia. Sibbald (1975), cuestionó la EM de Hill *et al.* (1960) porque no toma en cuenta la energía endógena, denominándole al método Energía Metabolizable Aparente (EMA).

Farrel (1978), desarrolló un método rápido para determinar la EMA, entrenando gallos para que consuman aproximadamente 70 g de una dieta balanceada, o una de 150 g conteniendo partes iguales del ingrediente de prueba y la dieta balanceada. La excreta fue colectada de 24 a 36 horas para obtener el valor de la EMA del ingrediente de prueba.

Johnson (1987) mencionó que los valores de EM determinados con aves adultas, sobreestiman los valores de EM para pollos jóvenes en 535 Kcal, lo que equivale a más del 15% de una dieta típica del pollo de carne. La técnica de Colección Total, asume que la excreta que se elimina durante un determinado período de tiempo, corresponde al alimento ingerido durante el mismo tiempo y requiere la medición del consumo de alimento, cantidad de excreta y la energía total por unidad de peso del alimento y excreta. Para ello se utiliza un período de 3 días de colección de la excreta, previos a un período de adaptación, para minimizar errores (Miller 1974).

La técnica del indicador ahorra la necesidad de medir el consumo de alimento y la cantidad de excreta (Sales y Janssens 2003). La cantidad de alimento, a partir de la cual se deriva una cantidad de excreta, puede ser calculada basada en concentraciones relativas del indicador en la dieta y en la excreta (Squibb 1971).

De los diversos indicadores, la fibra cruda (FC) constituye un marcador natural que posee ventajas sobre otros marcadores (cenizas insolubles en ácido, óxido crómico, etc.) y a la técnica de Colección Total, por una mínima necesidad de muestra de excreta, ya que se prescinde de la adición del marcador al alimento, que implica distribución uniforme y seguridad en el análisis (Almquist y Halloran 1971; Halloran y Sibbald 1979), pero el uso de la FC no ha sido evaluada completamente como indicador, debido a la posible digestión de la fibra por la microbiota en los ciegos (Sibbald 1982); sin embargo, Bedford (1996) indica que las aves no producen las enzimas necesarias para digerir la fibra.

2.5. PRODUCCIÓN DE CALOR

La energía proveniente de los alimentos es empleada para mantener al animal, su ingesta inicia reacciones que causan una mayor producción de calor; la producción de calor (PC), es la energía perdida de un sistema animal en una forma que no sea un compuesto utilizable. En condiciones termoneutrales, la PC representa el calor asociado con la utilización de la EM consumida para mantenimiento y para los procesos productivos, el cual en pollos jóvenes representa del 52 – 64% de consumo (Lopez y Leeson 2008b), consecuentemente la producción de calor corresponde a la suma del incremento calórico, la producción de calor por actividad física normal y la producción de calor en ayunas (van Milgen *et al.* 2018).

Esta PC depende de muchos factores, como es el caso del consumo de alimento, la temperatura ambiental y la composición del alimento (Liu *et al.* 2016). La PC aumenta en 2.5% por cada disminución en 1°C de la temperatura ambiental y esta pérdida de calor es principalmente a través de la superficie corporal a bajas temperaturas y, a través de la evaporación respiratoria (jadeo) con altas temperaturas. Los pollos que son mantenidos continuamente en altas temperaturas disminuyen su tasa metabólica para reducir la producción de calor (Priyankarage *et al.* 2011).

La PC varía dependiendo del tipo de actividad que desarrollen los animales, siendo mayor cuando un animal se encuentra de pie en comparación con un animal que está en reposo. Del mismo modo, un mayor consumo de alimento resulta en incremento de la producción de calor (Musharaf y Latshaw 1999). Durante el crecimiento la PC está principalmente asociada con las vías metabólicas que están involucradas en la síntesis y deposición de proteína y grasa, que representa aproximadamente del 16 – 26% y de 1 – 3%, respectivamente, de la producción de calor diaria, dependiendo ello de la composición y consumo de alimento (Reeds *et al.* 1982; Musharaf y Latshaw 1999).

La composición corporal de los pollos también afecta la producción de calor. En un animal relativamente engrasado es menor que en un animal equivalente magro del mismo peso corporal, debido a que más energía es utilizada para el recambio proteico que para el recambio de la grasa corporal (Priyankarage *et al.* 2011).

La producción de calor puede medirse por calorimetría directa o indirecta (Liu *et al.* 2017). En la calorimetría directa, se mide directamente por métodos físicos, mientras que la calorimetría indirecta implica una medida indirecta del calor, como la medición de la absorción de oxígeno y producción de dióxido de carbono utilizando el equivalente térmico de oxígeno basado en el cociente respiratorio y consideraciones teóricas. La producción de calor también se puede medir por diferencia de la determinación del balance total de carbono y nitrógeno o de un experimento de sacrificio comparativo. Estos métodos llegan a la producción total de calor por diferentes cálculos y están sujetos a errores sistemáticos de medición (NRC 1981).

2.6. INCREMENTO CALÓRICO

El incremento calórico (IC), también denominado como efecto dinámico específico o acción dinámica específica (Musharaf y Latshaw 1999), es la diferencia entre la energía metabolizable y la energía neta; es el calor producido durante el proceso de ingestión de nutrientes, digestión, absorción, metabolismo y algunas actividades físicas (Fraps 1946; van Milgen *et al.* 2018) utilizadas para el mantenimiento y producción, costos energéticos de la síntesis de productos, síntesis de productos de desecho, procesos de excreción y energía perdida en la fermentación de los gases que se considera que no es útil para el animal (Gutierrez y Patience 2012); sin embargo, es difícil de separarlo de la producción de calor total y es típicamente calculado como la producción de calor menos el requerimiento de EN para mantenimiento. En condiciones de estrés por frío el IC ayuda a mantener la temperatura corporal (NRC 1981; Li *et al.* 2018a).

El IC no es constante sobre un amplio rango de niveles de consumo de energía metabolizable para un animal en particular y, depende de varios factores fisiológicos, siendo más bajo para la EM suplementada por debajo de los requerimientos energéticos de mantenimiento que para la EM suplementada por encima de mantenimiento (Noblet *et al.* 1993; Noblet 2007). Este IC también es bajo cuando la EM es utilizada para la deposición de grasa comparada con la deposición de proteína, cuyo costo es elevado, sucediendo lo mismo cuando la proteína es utilizada como una fuente de energía frente a los carbohidratos o las grasas (Noblet *et al.* 1999).

Cuando la proteína dietaria es alta, el IC es mayor, debido a que la síntesis de proteínas requiere una gran cantidad de energía, también se requiere energía para excretar los desechos nitrogenados y además, la proteína de la dieta estimula el recambio proteico, así mismo, el IC para proteína es mucho mayor cuando la temperatura ambiente del animal es alta que cuando es baja (Musharaf y Latshaw 1999; Noblet *et al.* 1999).

Cuando la temperatura ambiental es elevada, la energía metabolizable se usa de manera más eficiente, por lo que tiene menos IC para el mantenimiento que para la producción. Una explicación sugerida es que el calor resultante de la digestión y la asimilación de los nutrientes, puede sustituir la producción de calor en el ayuno, cuando los alimentos proporcionan energía igual o menor que los requisitos de mantenimiento. Cuando la ingesta de energía es lo suficientemente grande como para soportar la producción, el IC de los

procesos anabólicos se convierte en un producto de desecho que no puede sustituir a una función de ayuno o mantenimiento (Musharaf y Latshaw 1999; Sakomura *et al.* 2005).

La relación IC/EM debería, al menos teóricamente, ser baja a altos niveles de consumo de EM (Noblet *et al.* 1999), de este modo para comparar diferentes alimentos para IC o valores de k (EN/EM), es necesario calcular esos valores bajo condiciones similares a los suministros de proteínas y aminoácidos que cumplan el requisito y/o a una composición constante de la ganancia y/o en una determinada etapa fisiológica. En promedio el IC representa el 25% del consumo de EM en cerdos en crecimiento, pollos y pavos con dietas estándares (Noblet *et al.* 1994; Rivera-Torres *et al.* 2011).

Información sobre el IC en los ingredientes utilizados en la formulación de raciones para pollos es limitada (Swick *et al.* 2014), por lo que una evaluación de los métodos para determinar la energía neta es necesario, para desarrollar un método adecuado de ensayos en sistemas de energía neta que permita optimizar los costos de alimentación (Aaron y Hays 2004). El IC difiere de la producción de calor, en que los animales están produciendo calor aun cuando ellos no están consumiendo alimento y que corresponde en ese caso a la producción de calor en ayunas (van Milgen *et al.* 2018).

2.7. ENERGÍA NETA

La energía neta (EN), es la energía metabolizable del alimento corregida por la energía perdida que resulta de la asimilación de los nutrientes dietarios (incremento calórico de digestión), que está disponible para mantenimiento y producción (Choct 2004). Se asume que la energía neta representa el valor más preciso de la energía de un alimento con fines productivos (Noblet 2007; Liu *et al.* 2017; Barzegar *et al.* 2020), ya que tiene en cuenta las diferencias en la utilización metabólica de la EM de los nutrientes e ingredientes (Noblet 2015), explica la pérdida de energía como calor (Swick *et al.* 2013a) y, permite predecir de mejor manera la respuesta productiva de los animales, mostrando un refinamiento adicional sobre las características como la digestibilidad y del metabolismo de los nutrientes después de la absorción (Barekatin *et al.*, 2014). Adicionalmente, el rendimiento animal está mejor correlacionado con la ingesta de EN que con la ingesta de EM o ED (Van Milgen *et al.* 2018); Yaghobfar 2016).

La proporción de EN puede cambiar considerablemente debido a factores relacionados al animal y/o factores relacionados al origen del alimento, pero se estima que es alrededor del 84% de la EM en pollos de 0 – 21 días de edad (Yadalam 2001). La proporción de proteína, grasa o almidón en los ingredientes alimenticios afecta la eficiencia de utilización de la energía metabolizable, puesto que los resultados indican que la energía neta de producción derivada de ingredientes altos en proteína (fuentes animales) y fibra, fue menor que aquellos derivados de ingredientes altos en almidón (fuentes de cereales). Los ingredientes de los alimentos ricos en grasa tienen un mayor valor de EN (Shatnawi 2014).

Aunque un sistema EN explica las diferencias en la eficiencia energética entre los nutrientes, una gran parte de la variación en los valores EN entre los ingredientes del alimento se origina en la variación en la digestibilidad de la energía. Además, la digestibilidad de la energía de un ingrediente dado típicamente aumenta al aumentar el peso corporal del animal; esto significa que el valor de ED de un ingrediente alimenticio no es una propiedad de la dieta, sino el resultado de la interacción entre el animal y su dieta; las interacciones entre la dieta y el animal también ocurren a nivel metabólico. El hecho de que los nutrientes se puedan usar para propósitos diferentes (por ejemplo, energía retenida como proteína o lípidos, producción de ATP), ha llevado a propuestas para refinar aún más el sistema de EN (Van Milgen *et al.* 2018).

El sistema de EN representa potencialmente un método más preciso de formulación sobre el sistema de EM, la misma que es particionada en energía neta para mantenimiento y producción. De este modo la determinación de la energía neta de un alimento estará influenciado por la evaluación de la energía neta de mantenimiento (Liu *et al.* 2014; Noblet *et al.* 2010).

La producción de calor en ayunas (FHP en Inglés), que representa la tasa de metabolismo basal de los animales, es usualmente utilizado como remplazo de la energía neta de mantenimiento (Noblet 2015). La determinación de los valores de FHP pueden verse afectados por el tipo de animal (genética, sexo, edad, etc), el tiempo de ayuno (Ning *et al.* 2014) y condiciones previas de alimentación, con una baja FHP a bajos consumos de alimento (Labussie *et al.* 2011).

2.7.1. Energía neta de mantenimiento

La energía neta de mantenimiento (ENm) es la energía utilizada para el mantenimiento de las funciones fisiológicas de los animales como es el de mantenerlos vivos y regular la temperatura corporal (Gutierrez y Patience 2012), esta energía es eliminada del cuerpo como calor (Priyankarage *et al.* 2011; Choct 2004). El calor producido es una función no solo del animal *per se* sino que también del alimento consumido y la tasa con la cual los tejidos o productos son formados dentro del cuerpo (Sibbald 1982).

La estimación de ENm influirá directamente en los valores absolutos de EN y, en menor medida, en el valor relativo de EN de los alimentos y los ingredientes. Desafortunadamente, la ENm no se puede determinar directamente. Tradicionalmente, la tasa metabólica basal, que representa la producción de calor en equilibrio de un animal en ayunas y en reposo, ha sido utilizado para estimar la ENm. Este método es afectado por el tiempo de ayuno, niveles previos de alimentación y diferencias en actividad entre el ayuno y estado alimenticio (Hu *et al.* 2012; De Lange y Birkett 2005). La tasa metabólica basal tampoco se puede medir directamente en experimentos, y generalmente se estima mediante una o más mediciones de la producción de calor en ayunas (De Lange y Birkett 2005; Liu *et al.* 2017).

La segunda aproximación para estimar la ENm y que ha sido ampliamente utilizada, es el método de regresión (modelos lineales o curvilíneos), en el cual la tasa metabólica basal es calculada extrapolando la producción de calor medida a diferentes consumos de EM a consumo cero de EM. Para la regresión lineal la hipótesis es que la producción de calor se incrementa linealmente con el incremento en el consumo de EM. El modelo de regresión curvilínea utiliza la regresión exponencial entre la producción de calor y un amplio rango de consumos de EM, tanto por encima como por debajo de los requerimientos de mantenimiento (De Lange y Birkett 2005; Liu *et al.* 2017).

2.7.2. Energía neta de producción

La energía neta de producción (ENp), también denominada como energía retenida, representa la EN suministrada en exceso a las necesidades de mantenimiento y, que es utilizada para el crecimiento y producción (Gutierrez y Patience 2012; Choct 2004). La Energía Recuperada (RE), comúnmente llamada Balance de Energía, es esa porción de la energía de alimentación retenida como parte del cuerpo como un producto útil (NRC 1981). La energía es retenida en el cuerpo predominantemente como proteína y grasa, y puede ser

medida a través de estudios de sacrificio comparativo (Sakomura *et al.* 2003) o técnicas de balance de carbono y nitrógeno (Koh y Macleod 1999). La energía retenida es positiva en animales en crecimiento pero puede ser negativo durante periodos específicos, como cuando los animales están en ayuno (van Milgen *et al.* 2018).

Los pollos depositan una proporción constante (50%) de energía en el cuerpo, sin embargo, en animales maduros, en los cuales el crecimiento del esqueleto y músculo es completado, el continuo consumo de energía en exceso determina una mayor deposición de grasa. En pollos por encima de los 35 días de edad, la energía es principalmente depositada como grasa que como proteína, afectando con ello la calidad y la producción de carne (Shatnawi 2014).

La eficiencia de uso de la energía depende de la naturaleza de los nutrientes suplementados y no es la misma para proteína y grasa, así se tiene que el requerimiento de energía para la deposición de proteína fue de 2.1 kJ/kJ de deposición de proteína y 1.4 kJ/kJ para deposición de grasa (Emmans 1994; Shatnawi 2014). La eficiencia teórica de la deposición de proteína y grasa puede ser estimada en base a consideraciones bioquímica. Esta eficiencia del uso de los carbohidratos para la deposición de grasa varía entre 0.78 y 0.84, dependiendo de la especie animal y vía metabólica y si la producción de ATP a partir de la glucosa es considerada o no. En cuanto a la deposición de grasa a partir de la grasa dietaria, esta eficiencia es cercana a la unidad (0.97) y, cuando la proteína dietaria es empleada para la deposición de grasa la eficiencia es entre 0.52 a 0.81, pero cuando es empleada para la deposición de proteína puede ser de 0.83 a 0.90 (Shatnawi 2014; Gous 2010; Cerrate *et al.* 2019).

La técnica de sacrificio comparativo, es comúnmente usada para pollos en crecimiento, pero no para pollos adultos debido a las dificultades en el procesamiento final de las carcasas. La composición inicial y final (grasa, proteína y energía) de los pollos experimentales es comparada en este método. De otro lado, la deposición de grasa es estimada por la retención de carbono y la retención de proteína es determinada por la retención de nitrógeno y balance de energía, utilizando la fórmula propuesta por Brouwer en 1965 (Priyankarage *et al.* 2011).

2.7.3. Metodología para determinar la energía neta en pollos

Fraps (1946) reportó la primera base de datos de energía disponible en 62 ingredientes alimenticios mediante la determinación de la energía productiva (NEp). Se utilizó la técnica del sacrificio comparativo para medir la retención de energía en los pollos. Desafortunadamente no se hicieron más publicaciones a partir de las efectuadas por Fraps.

De los reportes existentes se aprecia que la proporción de almidón o proteína en los ingredientes alimenticios afecta la eficiencia de utilización de la EM, debido a que los resultados indican que la ENp de los ingredientes con alto nivel de proteína (fuentes animales) son más bajos que los derivados con los ingredientes con altos niveles de almidón (cereales) (Ravindran *et al.* 2014).

La energía neta es calculada como la suma de la FHP (medida o estimada) y la energía retenida, donde el incremento calórico es el incremento en la producción de calor cuando el alimento es ingerido (Fraps 1946). La determinación del contenido de EN de un ingrediente o una dieta es más complejo que la ED y EM. La técnica de sacrificio comparativo determina la energía retenida y requiere una estimación de la producción de calor en ayunas (Lofgreen y Garrett 1968; Sakomura *et al.* 2003). La calorimetría indirecta provee una estimación directa de la pérdida de calor (Farrell 1971; Koh y Macleod 1999; Close 1990; Li *et al.* 2018b) y no requiere el sacrificio de los animales, por lo que ha sido ampliamente utilizado en la determinación de la producción de calor (Liu *et al.*, 2017).

2.7.3.1. Técnica del sacrificio comparativo

La técnica del sacrificio comparativo, es un protocolo usado para estimar cambios en la composición de los pollos durante un experimento. El protocolo se basa en la asunción de que la composición corporal del grupo experimental de pollos al final de un experimento, puede ser predicho con precisión y exactitud, a partir de la composición en la carcasa de aves comparables de la misma población, que se sacrificaron al comienzo del periodo experimental (Wolynetz y Sibbald 1986). En esta técnica se mide la energía ganada en la carcasa en un periodo de tiempo específico (Fraps 1946).

Esta técnica estima la producción de calor, como la diferencia entre el consumo de EM y la energía retenida (ER) en el tejido corporal. La ER se calcula sustrayendo la energía de los animales sacrificados al final del experimento, de los sacrificados al inicio del mismo (Shatnawi 2014). Se puede determinar experimentalmente midiendo la ER en grupos de animales alimentados con cantidades restringidas de la dieta y luego calculando la ER como si los animales no hubieran recibido alimento durante un período de tiempo (ayuno). En este caso todos los factores de producción (genotipo, sexo, edad y dieta) tienen que ser exactamente los mismos para que estos valores puedan ser utilizados. Las ventajas de esta técnica, es que los animales son mantenidos en condiciones típicas de producción; las

desventajas es su alto costo, y la necesidad de sacrificar un gran número de animales y se requiere estimar la producción de calor en ayunas (Fraps 1946; Priyankarage *et al.* 2011).

La medición de la ER de todo el cuerpo es una operación muy laboriosa, especialmente para animales más grandes por la dificultad de obtener una muestra representativa del cuerpo. En consecuencia, hay relativamente pocos estudios y datos disponibles en los que se midió la composición de todo el cuerpo en animales más grandes. Además, se requiere un período de medición relativamente largo para garantizar una retención de energía suficiente; la ventaja que tiene es que mide la ER directamente y también puede medirse la composición de la ganancia en términos de nutrientes o entre tejidos, siendo favorable su uso en animales menores (Van Milgen *et al.* 2018).

2.7.3.2. Calorimetría directa e indirecta

La calorimetría es la medición del calor y, ha sido utilizada por más de 200 años para medir la producción de calor de forma directa, por métodos físicos (calorimetría directa) o mediante la medición cuantitativa de los subproductos químicos del metabolismo (calorimetría indirecta) (Caldas 2015). La diferencia de la calorimetría directa e indirecta es que la primera mide la tasa de disipación de calor de un cuerpo y, la segunda mide la generación de calor. Después de un periodo de tiempo, ambas técnicas pueden llegar a ser iguales o muy próximas, lo que implica que la calorimetría indirecta puede medir el calor tan bien como lo hace la calorimetría directa (Caldas 2015).

La calorimetría directa permite medir la pérdida de calor por el animal con el empleo de cámaras respiratorias, su uso se ve restringido debido a los altos costos involucrados en la operación del calorímetro, dificultades técnicas en su operación, y la falta de información sobre que nutriente es el que se está oxidando (Shatnawi 2014; Priyankarage *et al.* 2011).

La calorimetría indirecta mide el intercambio de dióxido de carbono y oxígeno; la producción de calor está correlacionada con el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, por lo que la calorimetría indirecta permite una estimación de la producción de calor. Los animales son mantenidos en cámaras durante varios días y el aire que entra y sale es muestreado para dióxido de carbono, oxígeno y metano (CH₄); la orina también debe ser recogida y analizada (nitrógeno) (Farrell 1971; Koh y Macleod 1999; Close 1990).

Debido a la presencia de diferentes proporciones de carbono, oxígeno e hidrogeno en la grasa, proteína y carbohidratos, el volumen de oxígeno requerido y el volumen de dióxido de carbono producido por la oxidación varían (Farrell 1974). Esta técnica viene siendo empleada para determinar el contenido de energía neta de diferentes ingredientes en la alimentación animal y está siendo comparada con modelos de predicción, mostrando diferencias en los mismos (Li *et al.* 2018b).

2.7.4. Modelos de estimación de la energía neta

El método de Fraps (1946) planteó la determinación de la energía productiva (NEp). Para ello se utiliza la técnica del sacrificio comparativo y medir la retención de energía en los pollos; en la que un grupo de pollos es sacrificado al inicio del experimento (7 días) para conocer la energía almacenada, otros dos grupos son alimentados (at libitum y alimentación restringida) hasta los 21 días, en los cuales los pollos son sacrificados para realizar el análisis químico de proteína y grasa depositada, y con del uso de factores de multiplicación (g proteína * 5.66 y g extracto etéreo * 9.35) se determina la energía contenida en los pollos (Hill y Anderson 1958; Fuller *et al.* 1983). Luego se plantea dos ecuaciones simultaneas y se establece la energía productiva poniendo mantenimiento en función del peso vivo. La regresión lineal y logarítmica ha sido empleada para calcular la energía metabolizable de mantenimiento (EMn) y la energía neta de mantenimiento (ENm), respectivamente; sin embargo, son pocos los estudios en los cuales se hizo la comparación de la regresión lineal y logarítmica para calcular tanto la EMm y la ENm, sobre todo en pollos de carne (Liu *et al.* 2017).

2.8. COMPOSICIÓN CORPORAL

La genética y la nutrición han contribuido en 85-90% y 10-15%, respectivamente, al desarrollo del pollo de engorde actual (Havenstein *et al.* 2003). Ciertamente, la composición corporal de los pollos de engorde ha cambiado a lo largo de los años y aún podría modificarse (Tabla 4), sin embargo, la información sobre la composición de la carcasa de los pollos de engorde modernos es limitada, el análisis debe evaluarse para diferentes líneas genéticas, nutrición estándar y prácticas de manejo (Caldas *et al.* 2019).

El análisis de la composición corporal es importante debido a que el pollo moderno es uno de los animales más eficientes en producir proteína para el consumo humano y, una adecuada nutrición puede potenciar esta producción de carne, el crecimiento muscular se ve afectado

por factores intrínsecos (ejemplo, genética) y factores extrínsecos como nutrientes, metabolismo, sexo, hormonas y actividad (Caldas 2015); desde el punto de vista nutricional el consumo de energía y composición de la dieta también pueden cambiar la composición de la carcasa (Caldas *et al.* 2019; Lamot *et al.* 2019).

Los cuatro componentes mayores, cuando la carcasa es analizada, son el agua, proteína, grasa y minerales; el agua es el que está en mayor proporción seguido de la proteína, cuya deposición es rápida sobre todo en animales jóvenes, debido a la alta tasa de síntesis de músculo esquelético (Buzala y Janicki 2016; Caldas *et al.* 2019).

Los cambios en la producción de calor y composición corporal de los pollos modernos, pueden proporcionar un medio para comprender la utilización de los nutrientes (Caldas *et al.* 2018). La proteína corporal es el mayor componente cuando la proteína es expresada en términos de materia seca, comprendiendo aproximadamente el 59% del peso corporal (Olukosi *et al.* 2008).

Con respecto a la composición de grasa corporal, la reducción de la acumulación de tejido adiposo es un nuevo desafío para los productores de pollos, porque esto permite que más nutrientes se dirijan hacia el crecimiento muscular (Chen *et al.* 2014), lo que implica que la producción animal moderna de carne requiere una deposición mínima de grasa, pero se deben controlar muchos factores para lograr un alto contenido de proteínas y bajo contenido de grasas.

Caldas *et al.* (2019), determinaron en promedio 27% de grasa corporal en pollos (expresado en materia seca) siendo menor en las primeras semanas de vida y que coincide con los mayores porcentajes de agua en esos periodos, ello debido a que el agua es hidrofóbico y mayor contenido de agua en el cuerpo de un pollo joven disminuirá la oportunidad de incrementar la grasa; adicionalmente determino que los valores de las pendientes o coeficientes energéticos para proteínas y grasas variaron entre fases, en la etapa de inicio tenía valores calóricos más altos que en la etapa de acabado, lo que sugiere que la proteína es más importante como fuente de energía en la etapa de inicio que para el acabado.

La restricción alimenticia determina cambios en el peso corporal, composición de la carcasa (Yu *et al.* 1990) y el crecimiento de los órganos internos, principalmente los de desarrollo tardío (pechuga, muslo, grasa abdominal) frente a los de desarrollo temprano (corazón, molleja, hígado), lo que supone que durante la restricción alimenticia el crecimiento de los

órganos internos es prioritario comparado con los músculos, en este caso los machos y las hembras restringidos tenían más grasa abdominal que los pollos ad libitum (Tumová y Chodová 2018).

En la Tabla 4, se puede apreciar los resultados del análisis de la composición corporal realizada por distintos autores y distintas genéticas, donde se advierte, que el peso de los animales ha cambiado a lo largo de los años, los pollos modernos alcanzan mayores pesos a menor edad. El contenido de proteína en todos los casos también se incrementa con la edad de los pollos; este mismo efecto es apreciado con la grasa, la misma que se acumula en mayores porcentajes con la edad de los pollos, pero adicionalmente se puede notar que los pollos modernos son más magros que las genéticas antiguas.

Este incremento en la deposición de grasa determina dos cosas, por una parte que exista una relación inversa con el contenido de agua, puesto que a mayor contenido de grasa el porcentaje de agua se reduce, de otro lado se produce un cambio en la relación proteína: grasa, la misma que es alta en los pollos jóvenes y tiende a disminuir con los pollos de mayor edad, sean genéticas modernas o antiguas.

Del análisis efectuado se puede inferir que la composición corporal no solo es diferente entre líneas genéticas, sino que también cambia durante el crecimiento de los animales (van Milgen *et al.* 2018).

Tabla 4. Composición corporal y la relación proteína (Pt) : grasa (F) en pollos para carne en función a la edad y tipo de genética.

Edad, días	Peso, g	Agua, %	Proteína, %	Grasa, %	Minerales %	Relación Pt:F	Autor
7	-	-	16.85	10.20	-	1.65	Hurwizt (1988)
21	-	-	16.10	11.10	-	1.45	
49	-	-	20.63	13.10	-	1.57	
28	1253	-	-	11.80	-	-	Mitchell y Conway (1997)
56	2534	-	-	12.93	-	-	
49	2227	65.90	19.20	12.48	2.21	1.55	Crespo y Esteve-Garcia (2002)
56	2359	64.13	19.66	12.60	2.83	1.56	Carrasco y Schmidt (2014)
1	46.5	75.05	16.77	6.24	-	2.69	Henn <i>et al.</i> (2014)
7	200.0	74.70	15.35	6.80	-	2.26	
21	1054	63.93	18.72	9.20	-	2.03	
49	3557	63.10	18.57	11.67	-	1.59	Caldas <i>et al.</i> (2019)
1	56	72.40	16.60	5.50	1.79	3.08	
7	154	74.60	15.40	5.30	2.01	3.05	
21	985	72.40	15.50	8.20	2.07	1.93	
47	3094	68.60	18.00	9.80	2.18	1.84	
Promedio		69.48	17.49	9.79	2.18	2.02	

2.9. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ENERGÍA NETA EN AVES

El sistema de Energía Neta (EN) se introdujo por primera vez como el sistema ideal para ser empleado en la formulación de dietas en rumiantes, especialmente ganado lechero, posteriormente se utilizó en porcinos, en base a los trabajos realizados en Francia, y también en menor medida en los Estados Unidos y algunos otros países. Aunque el sistema de energía metabolizable (EM) que ha sido utilizada desde la década de 1960, ha servido a la industria avícola hasta ahora, existen esfuerzos para utilizar un sistema de energía neta que es más exacto, moderno y preciso (Mavromichalis 2014).

Lavoisier y Laplace (1780) fueron los primeros en utilizar calorimetría directa en estudios con cuyes, posteriormente, Armsby y Fries (1915) determinaron los valores de energía neta de los alimentos para ganado bovino mediante calorimetría respiratoria (Caldas 2015). Estas técnicas, aunque precisas, son caras, tediosas y laboriosas, por lo que se buscaron otros métodos para evaluar los alimentos (De Goey 2014).

Fraps (1946) propuso el empleo de la energía productiva (EP), basado en la técnica del sacrificio comparativo, que hace énfasis en que la EP son los valores de EN para crecimiento y no para mantenimiento. Este método fue cuestionado debido a que el requerimiento energético de mantenimiento de los pollos en crecimiento no era proporcional al peso corporal, en resumen, los datos de Fraps han sido objeto de un gran escrutinio desde su publicación en 1946. Aunque los valores obtenidos para la EP de los alimentos fueron bajos en relación con los valores predichos, su metodología todavía ofrece una comparación fiable de la energía neta de producción (ENp) en una amplia gama de alimentos, con información adicional sobre la digestibilidad de nutrientes (Pirgozliev y Rose 1999).

Debido a la alta variabilidad entre los individuos en los experimentos de sacrificio comparativos, este tipo de determinación de ENp es laborioso y costoso, por esta razón los datos de Fraps siguen siendo la única información completa publicada sobre ENp y la digestibilidad de nutrientes de una amplia gama de ingredientes de alimentos para aves (Pirgozliev y Rose 1999; Liu *et al.* 2017).

Hill y Anderson (1958) compararon directamente las determinaciones de EP y EM y observaron que la EP fue aproximadamente 77% de la EM y que la variabilidad en esta era mucho menor, aunque De Groot (1974) consideró que algunas técnicas de EN tenían una variabilidad satisfactoriamente baja. Posteriormente, el empleo de la calorimetría indirecta permitió calcular la producción de calor e incremento calórico y en base a ello estimar la energía retenida, buscando con ello establecer los valores de energía neta. Tanto el empleo de la técnica del sacrificio comparativo y calorimetría, indirecta implican tener que conocer la producción de calor para a partir de ello calcular la EN (Liu *et al.* 2016).

Emmans (1994) introdujo un nuevo sistema de energía conocido como energía efectiva (EE), este sistema de EN toma en consideración los costos de energía requeridos para procesar una dieta, el sistema considera que el incremento calórico del alimento esta linealmente relacionado a cinco parámetros medibles (nitrógeno urinario, materia orgánica fecal, retención positiva de proteína, retención positiva de lípidos que no provienen de los lípidos dietarios). Esta técnica es cuestionada por el tiempo que se requiere para generar valores de EE para los ingredientes alimenticios, también la dificultad para determinar la digestibilidad de la proteína cruda y la necesidad de conocer cuánto de los lípidos en la carcasa es sintetizada directamente por los lípidos dietarios.

Más recientemente, se han sugerido métodos para predecir la EN a partir de ecuaciones, estos incluyen información sobre la digestibilidad de los nutrientes con o sin valores de EM determinados con correcciones de acuerdo con la eficiencia con la que se utilizan los nutrientes (Pirgozliev y Rose 1999; Yaghobfar 2016). Por lo tanto, los enfoques recientes para determinar la EN de los alimentos han utilizado métodos en los que la EN se predice a partir de la disponibilidad de nutrientes determinada o la EM de los alimentos individuales (Wu *et al.* 2019; Cerrate *et al.* 2019).

A pesar de todos los esfuerzos desarrollados hasta la fecha, la información existente sobre la EN es muy limitada, tanto en términos de requerimientos como de valores energéticos de ingredientes de uso frecuente, así se tiene que para los ingredientes evaluados en el presente estudio las técnicas utilizadas no fueron las mismas ya que de 31 valores de EN reportados en la literatura, la mayor parte de ellos (45%) fueron estimados a partir de la EM, el 23% por calorimetría indirecta, 19% a partir de regresión lineal, 10% utilizando el método bioquímico y solo el 3% por la técnica de sacrificio comparativo, existiendo una variación marcada en el contenido nutricional de los ingredientes evaluados (Tabla 1), demostrando ello la necesidad de establecer valores regionales aplicables a las condiciones productivas locales.

Adicionalmente otro aspecto a considerar es la variación genética de los animales (Tabla 4) que viene determinando cambios en la velocidad de crecimiento, eficiencia de uso de los nutrientes y composición corporal, por lo que sus requerimientos tienden a cambiar en el tiempo.

Bajo estas consideraciones el empleo de modelos de simulación constituye una alternativa disponible en la actualidad, pero para ello se requiere determinar la producción de calor, que está formada por el incremento calórico y la energía neta de mantenimiento, los modelos que están desarrollando esta orientados a determinar la energía neta de mantenimiento y a partir de ello más la energía retenida, conocer el requerimiento de energía neta, que es la estrategia desarrollada en el presente estudio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DEL ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en las instalaciones experimentales del Departamento de Nutrición, Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina, distrito La Molina, Lima a una altitud de 241 m.

3.2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se desarrollaron dos estudios, los cuales fueron:

Estudio 1: Determinar el contenido de energía neta de los ingredientes de uso frecuente en la alimentación de aves.

Estudio 2: Validar un modelo propuesto para estimar los requerimientos de energía neta a partir de la Energía Neta de mantenimiento (ENm).

3.3. ANIMALES E INSTALACIONES

Se utilizaron 370 pollos BB machos, línea Cobb – Vantress, de los cuales 180 fueron empleados en cada estudio y 10 pollos para determinar la energía retenida a los 7 días de edad de los mismos.

Se emplearon 4 baterías con 5 pisos o niveles cada uno (los cuales fueron divididos en dos), asignándose los tratamientos a estos en forma aleatorizada. Cada nivel estaba provisto de comederos y bebederos lineales, piso de malla y bandejas para la colección de las excretas. De otro lado cada batería contó con un termostato, para regular la temperatura de acuerdo a las especificaciones de crianza por la línea comercial. La iluminación fue permanente durante las 24 horas (iluminación artificial) y la crianza se realizó de acuerdo a las especificaciones técnicas de la línea comercial de aves empleadas en el estudio (Cobb 500).

3.4. TRATAMIENTOS

Los tratamientos fueron las seis dietas empleadas para ambos estudios, considerando una dieta basal (maíz + soya) (Tabla 5), a partir de la cual se hizo la sustitución porcentual peso/peso (p/p) para cada ingrediente en evaluación (energético 40%, proteico 30% y lipídico 10%; Tabla 6) (Sibbald y Slinger 1963), así se tuvo:

- Dieta control o basal.
- Dieta basal + grano de maíz (40% p/p).
- Dieta basal + subproducto de trigo (40% p/p).
- Dieta basal + harina de soya (30% p/p).
- Dieta basal + harina de pescado (30% p/p).
- Dieta basal + aceite de soya (10% p/p).

Estas dietas fueron suministradas en tres niveles de alimentación: ad libitum (AL), 85% (AL) y 70% (AL) (Liu *et al.* 2017).

3.5. SUMINISTRO DE ALIMENTO

Los pollos recibieron la dieta basal hasta los siete días de edad, a partir del cual se les suministró las dietas experimentales hasta los 21 días de edad (periodo de evaluación); en este tiempo se realizó la restricción alimenticia propuesta (ad libitum, 85% AL y 70% AL), para lo cual se calculó el consumo de alimento (cada 24 horas) en los grupos que recibieron la dieta ad libitum y a partir de ello se calculó la cantidad de alimento a ser suministrado a los otros grupos según el nivel de restricción.

Tabla 5. Ingredientes y composición nutricional de la dieta basal (base fresca).

Detalle	Cantidad, %
Ingrediente (%)	
Maíz amarillo duro	62.73
Harina de soya	31.39
Aceite de soya	1.69
DL - Metionina	0.31
Lisina - HCL	0.21
L - Treonina	0.05
Carbonato de calcio	0.93
Fosfato dicálcico	2.11
Sal	0.48
Premix ^a	0.10
Composición nutricional calculada	
Energía Metabolizable (Mcal/kg)	3.07
Proteína Cruda (%)	20.49
Aminoácidos digestibles	
Lisina (%)	1.16
Arginina (%)	1.26
Metionina (%)	0.58
Metionina + Cistina (%)	0.87
Triptófano (%)	0.23
Treonina (%)	0.73
Histidina (%)	0.55
Isoleucina (%)	0.86
Leucina (%)	1.72
Fenilalanina (%)	1.02
Fenil + Tirosina (%)	2.02
Valina (%)	0.86
Fósforo disponible (%)	0.45
Calcio (%)	0.90
Sodio (%)	0.20

a : Premix de vitaminas y minerales por kilogramo de alimento: Vitamina A 9000 UI, Vitamina D₃ 2000 UI, Vitamina E 16.0 UI, Vitamina K 2.0 mg, Riboflavina 5.5 mg, Niacina 53.0 mg, D-Pantotenato de Calcio 11.0 mg, Ácido Fólico 0.1 mg, B.H.T. 100.0 mg, Manganeseo 112.0 mg, Zinc 100.0 mg, Hierro 56.0 mg, Cobre 7.0 mg, Yodo 1.0 mg, Selenio 0.1 mg.

Tabla 6. Dietas empleadas en el estudio por nivel de sustitución y su valor nutricional, % (base seca).

Detalle	Basal	Grano de maíz	Subproducto de trigo	Harina de soya	Harina de pescado	Aceite de soya
Insumo en evaluación	-	40	40	30	30	10
Dieta basal	100	60	60	70	70	90
Total	100	100	100	100	100	100
Humedad, %	11.38	11.70	11.51	11.14	10.28	10.23
Proteína cruda, %	23.57	17.70	19.91	31.67	38.33	21.13
Extracto etéreo, %	3.45	2.77	3.99	3.17	5.49	11.61
Fibra cruda, %	2.73	2.39	5.50	3.42	2.04	2.65
ELN, %	63.51	72.27	64.33	54.73	43.90	58.58
Ceniza, %	6.74	4.87	6.26	7.01	10.23	6.03
EB, kcal/kg	4444	4356	4491	4437	4451	4928

Donde H^o: ELN: extracto libre de nitrógeno; EB: energía bruta. Las proporciones de mezcla entre ingredientes en evaluación y dieta basal se expresan en base fresca.

3.6. ESTUDIO 1: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ENERGÍA NETA

3.6.1. Energía Metabolizable de las dietas

Para determinar la energía metabolizable corregida por nitrógeno (EMn), se empleó el método de colección total de excretas (Sakomura y Rostagno 2007). En cada dieta se utilizaron dos repeticiones con cinco pollos cada una, haciendo un total de 60 pollos. El alimento y agua fueron suministrados *ad libitum*. Las excretas se recolectaron a intervalos de 24 horas en tres días sucesivos durante la última semana del período experimental (del día 19 al 21) Una vez recolectadas, estas fueron limpiadas, pesadas y congeladas a -20°C para su posterior análisis. Los cálculos fueron realizados de la siguiente manera:

$$\text{EMn (kcal/g)} = \text{EB dieta/g dieta} - \text{EB excretas/g dieta} - 8.22 \times \text{Nretenido/g dieta}$$

Donde: 8.22 factor de corrección por nitrógeno (Hill y Anderson 1958).

La energía bruta (EB) de las dietas y excretas se determinó por bomba calorimétrica.

3.6.2. Energía Metabolizable de los ingredientes

Se determinó estableciendo la relación entre la dieta basal y las dietas problema, considerando el porcentaje de sustitución (peso / peso).

$$EMn, \text{ kcal/g} = [EMp - EMb \times (1 - C)] / C$$

Donde:

EM : Energía Metabolizable (kcal/g).

EMp : Energía Metabolizable de la dieta basal + ingrediente problema.

EMb : Energía Metabolizable de la dieta basal.

C : Porcentaje de sustitución (P/P).

3.6.3. Energía Neta de las dietas e ingredientes

La Energía Neta (EN) fue determinada por la técnica de sacrificio comparativo. Se utilizaron 180 pollos de un día de edad (seis dietas con tres niveles de alimentación, dos repeticiones y cinco pollos por repetición); al inicio de la evaluación (7 días) 10 pollos fueron sacrificados (por dislocación cervical sin pérdida de sangre) para determinar la energía retenida (ER) y composición corporal (grasa y proteína), haciendo un total de 190 pollos. Una vez culminado el experimento, los pollos fueron sacrificados siguiendo el mismo procedimiento, en ambos casos el sacrificio se hizo después de 8 horas de ayuno, procediendo a su congelación a -20°C (incluyendo carcasa, plumas y vísceras). Para su posterior análisis; el contenido intestinal fue retirado antes de la congelación (cuerpo vacío).

Los pollos congelados de la misma réplica se cortaron primero en trozos pequeños, luego se mezclaron y se molieron con una picadora de carne. El pesaje se realizó antes y después del secado, para calcular la materia seca y posteriores análisis. Los animales fueron pesados a la recepción (un día de edad), a los siete y 21 días, el consumo de alimento fue registrado en estos tres periodos.

Determinación de la EM consumida

Los cálculos fueron efectuados del siguiente modo (para los tres niveles de alimentación):

Ganancia de peso (GP) y peso promedio (W):

$$GP, \text{ g} = (\text{Peso 21 días} - \text{Peso 7 días}) / 14 \text{ días.}$$

$$W, g = (\text{Peso 21 días} - \text{Peso 7 días}) / 2.$$

Consumo de alimento (C):

$$C \text{ (g MS/día)} = (\text{Consumo 21 días} - \text{Consumo 7 días}) / 14 \text{ días.}$$

Consumo de energía metabolizable (CEM):

$$\text{CEM (kcal/día)} = \text{EMdieta (kcal/g MS)} \times C$$

Determinación de la Energía Retenida

Para establecer la energía retenida (ER) se determinó primero, la energía corporal total de un grupo representativo (sacrificado al inicio del experimento) como valor de energía corporal total, para todos los grupos experimentales y, en segundo lugar se determinó el valor de energía final corporal de los pollos sacrificados de los grupos experimentales (sacrificados al final del experimento) multiplicados por las ganancias de peso corporal.

$$\text{ER (kcal/animal)} = \text{ER 21 días (kcal/animal)} - \text{ER 7 días (kcal/animal)}$$

$$\text{ER (kcal/día)} = (\text{ER 21 días} - \text{ER 7 días}) / 14 \text{ días; Bomba calorimétrica.}$$

Energía retenida como grasa (ERl) y proteína (ERp) fue calculada del siguiente modo:

$$\text{ER (kcal)} = \text{ERl} + \text{ERp.}$$

Donde:

$$\text{ERl (kcal)} = (\text{Grasa corporal día 21 (g)} - \text{Grasa corporal día 7 (g)}) \times 9.35$$

$$\text{ERp (kcal)} = (\text{Proteína corporal día 21 (g)} - \text{Proteína corporal día 7 (g)}) \times 5.66$$

Determinación de la Energía Neta

Para determinar la energía neta se empleó el método de Wu *et al.* (2018), cuyo procedimiento se describe a continuación:

Para determinar la energía neta de mantenimiento (ENm) se estableció la relación entre ER y EM (At libitum, 85% AL y 70% AL), aplicando la siguiente regresión lineal:

$$\text{ER} = -aW^{0.75} + kEM$$

$$\text{ER} / W^{0.75} = -a + kEM / W^{0.75}$$

Donde:

$a = EN_m$, kcal/día y

$$k = EN/EM = (ER + aW^{0.75}) / EM = (ER + EN_m) / EM$$

$W^{0.75}$ = Peso promedio en kilos expresado en unidades metabólicas.

Producción de calor (PC)

$$PC = EM - ER$$

Incremento calórico (IC)

Fue calculado del siguiente modo:

$$IC = PC - EN_m$$

Energía Neta de las dietas (EN_{dieta}, kcal/g)

$$EN, \text{ kcal/g} = EM \times k$$

Energía neta de los ingredientes (EN_i)

Para determinar la EN_i se estableció la relación entre la energía neta basal (EN_b), energía neta del ingrediente problema (EN_p) y el porcentaje de sustitución (S), con la siguiente ecuación:

$$EN_i = [EN_p - (1 - S) EN_b] / S$$

3.7. ESTUDIO 2: VALIDACIÓN DEL MODELO PARA ESTIMAR EL REQUERIMIENTO DE ENERGÍA NETA

En el segundo estudio se realizó la estimación y validación de los requerimientos de energía neta con el modelo propuesto que a continuación se describe:

3.7.1. Modelo de estimación del Requerimiento de Energía Neta

El requerimiento de Energía Neta (EN) de la dieta, fue estimada en base al siguiente modelo:

$$EN = a \times W^{0.75} + ER$$

Con la dieta basal del Experimento 1 se calculó el coeficiente “a” que antecede al peso metabólico ($W^{0.75}$) para obtener la Energía Neta de mantenimiento (EN_m). Para ello se

emplearon ecuaciones simultáneas utilizando la técnica de Fraps (1946) modificado, las mismas que a continuación se presentan:

$$ER/W^{0.75} = -a + kEM/W^{0.75} \quad \text{At libitum}$$

$$ER/W^{0.75} = -a + kEM/W^{0.75} \quad 70\% \text{ AL}$$

La energía retenida (ER) se obtuvo a partir del análisis de la composición corporal.

Una vez obtenido el modelo se procedió a realizar la validación del mismo, comparando el consumo de Energía Neta determinado convencionalmente en el segundo experimento con el estimado según el modelo, que elimina la necesidad de dar a las aves diferentes niveles de alimentación para obtener la ENm y la eficiencia de utilización de la Energía Metabolizable (k).

3.8. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Se realizó el análisis proximal de las dietas e ingredientes (MS, PC, EE, FC, CZ, ELN) siguiendo el método de la AOAC (2007) así como análisis por espectrometría de infrarrojo cercano (NIRS – Perten DA 7250). Los pollos beneficiados, fueron secados en una estufa de circulación de aire forzado (55 °C) por 96 horas y remolidas (1 mm) para una adecuada homogeneización (Rochell *et al.*, 2011; Sakomura *et al.*, 2005). La energía bruta de las dietas, ingredientes, pollos beneficiados (harina) y excretas, fueron determinadas en una bomba calorimétrica automática isoperibólica (Parr 6400, USA), utilizando ácido benzoico como estándar. En la harina de pollos y las excretas se analizó la proteína cruda (PC), grasa corporal (EE), ceniza (CZ) y materia seca (MS) (método AOAC 2007); para calcular la ER, en función a la deposición de tejidos corporales, se utilizó los factores 9.35 kcal/g para lípidos y 5.66 kcal/g para proteínas (Hill y Anderson 1958; Fuller *et al.* 1983). Los análisis con NIRS no fueron empleados para realizar los cálculos en el estudio, esta información fue utilizada para corroborar los valores analíticos.

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estudio se llevó a cabo bajo un Diseño de Bloques Completo al Azar (BCA), considerando a los niveles en la batería como bloques. Cada tratamiento tuvo dos repeticiones y cada unidad experimental conformada por 5 pollos, haciendo un total de 12 unidades experimentales, con 10 pollos por tratamiento. La comparación de medias se realizó

empleando la prueba de Tukey al 5%. El análisis estadístico fue realizado en los tratamientos (dietas) con el nivel de alimentación Ad libitum.

El modelo aditivo lineal empleado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + T_i + e_{ij}.$$

Donde:

Y_{ij} : Observación en el tratamiento i-ésimo y j-ésimo bloque.

μ : Media general de las observaciones.

B_j : Efecto del j-ésimo bloque.

T_i : Efecto del i-ésimo tratamiento (dieta).

e_{ijk} : Error aleatorio.

3.10. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para la validación del modelo propuesto y su evaluación, se realizó un segundo experimento con las mismas condiciones experimentales y el mismo número de tratamientos y animales (total de 180 pollos), haciendo un total de 360 pollos para todo el estudio.

Para determinar el coeficiente de determinación y el porcentaje de error, se utilizó la comparación entre los valores determinados y los estimados de la EN, calculando primero el cuadrado medio del error predicho y el porcentaje de error predicho, expresado de la siguiente forma (Sales 2009; Ellis *et al.* 2010):

$$MSPE = \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / n,$$

$$\% e = \sqrt{MSPE} \times (100/\hat{y})$$

Dónde:

MSPE : Cuadrado medio del error predicho

n : Número total de observaciones.

O_i : Valores observados.

P_j : Valores predichos.

\hat{y} : Promedio de los valores observados.

% e : Porcentaje de error predicho.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTUDIO 1: ENERGÍA NETA DE LAS DIETAS Y LOS INGREDIENTES

4.1.1. Energía Neta para mantenimiento y eficiencia de utilización de la energía metabolizable

Los resultados del análisis de regresión entre energía retenida (ER) y el consumo de energía metabolizable (EM) se presentan en la Tabla 7. Los valores de Energía Neta para mantenimiento (ENm) varían desde 62 hasta 91 kcal ENm/W^{0.75}/día, pero no muestran diferencias significativas entre dietas ($p>0.05$).

Por su parte Liu *et al.* (2017) determinaron valores de 92 kcal ENm/W^{0.75}/día (calorimetría indirecta) y 97 kcal ENm/W^{0.75}/día (sacrificio comparativo). De otro lado Sakomura *et al.* (2005) empleando sacrificio comparativo, establecieron valores de 119.30, 89.99 y 96.25 kcal ENm/W^{0.75}/día, para temperaturas de 13, 23 y 32°C, respectivamente. En términos generales las diferencias observadas en el presente estudio y otros autores estarían determinadas por el tipo de genética empleada, condiciones ambientales de crianza (Shatnawi 2014; Sakomura *et al.* 2003; Liu *et al.* 2017), método empleado para la determinación (Liu *et al.* 2017) y la composición de la carcasa (Sakomura *et al.* 2005).

Los valores de eficiencia del uso de la energía metabolizable, son similares en todas las dietas, con valores de 0.73 (dieta con aceite de soya), 0.72 (basal y harina de soya), 0.70 (dieta con maíz), 0.71 (dieta con subproducto de trigo) y 0.66 (dieta con harina de pescado). Los valores de eficiencia determinados por Liu *et al.* (2017) fueron de 65% (calorimetría indirecta) y 65.40% (sacrificio comparativo) que están dentro del rango determinado en el presente estudio y que fueron determinados por regresión lineal. Cuando se considera el cálculo empleando regresión logarítmica entre Producción de calor y Energía Metabolizable, las eficiencias son mayores (73,8% por calorimetría indirecta y 75% por sacrificio comparativo); de forma similar, Sakomura *et al.* (2005) empleando regresión logarítmica

establecieron valores de eficiencia de 0.76 y 0.80, siendo menor la eficiencia en las aves criadas a bajas temperaturas.

Del mismo modo, la energía metabolizable para mantenimiento es similar en todas las dietas ($p > 0.05$) con valores que fluctúan entre 94.11 kcal EMm/W^{0.75}/día y 122.06 kcal EMm/W^{0.75}/día (Tabla 7). Estos resultados son inferiores a los reportados por Liu *et al.* (2017) quienes estimaron 141.85 y 147.58 kcal EMm/W^{0.75}/día por calorimetría indirecta y el método de sacrificios comparativos respectivamente. Por su parte, Nieto *et al.* (1995) reportaron valores de 110.8 a 142.65 kcal EMm/W^{0.75}/día, estableciendo que las variaciones son debidas al valor biológico de la proteína dietaria, teniendo esta una relación inversa. Sakomura *et al.* (2005) determinaron que la EMm fue de 157.8, 112.1, y 127.2 kcal EMm/W^{0.75}/día, para pollos criados a 13, 23 y 32°C, respectivamente.

Tabla 7. Resultados del análisis de regresión entre energía retenida (ER) y el consumo de energía metabolizable (EM)

Dieta	Ecuación de regresión	ENm (kcal/W^{0.75}/d)	EMm (kcal/W^{0.75}/d)	k	R²
Basal (B)	ER' = -75.28 + 0.72*EM'	75.28	104.57	0.72	0.85
B + grano de maíz	ER' = -85.55 + 0.70*EM'	85.55	122.06	0.70	0.99
B + SP de trigo	ER' = -91.31 + 0.71*EM'	91.31	129.49	0.71	0.83
B + harina de soya	ER' = -75.89 + 0.72*EM'	75.89	105.85	0.72	0.94
B + harina de pescado	ER' = -62.43 + 0.66*EM'	62.43	94.11	0.66	0.93
B + aceite	ER' = -83.02 + 0.73*EM'	83.02	113.84	0.73	0.93

ER': ER/W^{0.75}, EM': EM/W^{0.75} consumo de Energía Metabolizable, ENm: Energía Neta de mantenimiento, EMm: Energía Metabolizable para mantenimiento, k: eficiencia de uso de la energía, SP: subproducto.

4.1.2. Utilización de la Energía

La energía neta fue en promedio 136.51 kcal/día, que corresponde al 70.55% de la EM consumida (rango 64 – 73%), que es inferior a lo mencionado por Yadalam (2001), quien indica que la EN representa el 84% de la EM en pollos de 0 – 21 días. En el presente estudio la EN fue mayor en la dieta con aceite de soya, seguido de la dieta con maíz y menor en las otras dietas (basal, subproducto de trigo, harina de soya y harina de pescado) ($p < 0.05$). Esta característica estaría asociada al efecto extra calórico que tienen los lípidos, el cual incrementa la disponibilidad de los nutrientes dietarios (Murugesan *et al.* 2013). Wu *et al.*

(2018) mencionan que la EN esta positivamente relacionada con la energía metabolizable y extracto etéreo, pero negativamente con la proteína cruda (Tabla 8).

Tabla 8. Utilización de la energía en las dietas experimentales

Detalle/nivel	Basal	B + grano de maíz	B + SP trigo	B + H soya	B + H pescado	B + aceite
Peso vivo 21 días, kg	0.813 ^c	0.798 ^c	0.796 ^c	0.876 ^{bc}	0.964 ^{ab}	0.969 ^a
Peso vivo 7 días, kg	0.158	0.163	0.171	0.161	0.156	0.166
Peso vivo promedio, kg	0.486 ^c	0.480 ^c	0.484 ^c	0.518 ^b	0.560 ^a	0.568 ^a
Ganancia peso, g/día	46.80 ^c	45.32 ^d	44.66 ^d	51.08 ^b	57.73 ^a	57.36 ^a
Consumo de alimento, g/día	48.63 ^b	57.62 ^{ab}	59.41 ^a	55.03 ^{ab}	51.70 ^{ab}	55.56 ^{ab}
Consumo de EM, kcal/día	174.47 ^c	210.48 ^b	184.58 ^{bc}	171.40 ^c	183.85 ^c	234.63 ^a
k calculado	0.73	0.69	0.71	0.72	0.64	0.74
HP, kcal/día	91.03 ^b	114.83 ^{ab}	106.66 ^a	94.17 ^{ab}	106.54 ^{ab}	114.28 ^a
IC, kcal/día	47.23	65.47	53.71	47.80	66.14	59.97
EN, kcal/día	127.24 ^{cd}	145.01 ^b	130.87 ^c	123.59 ^{cd}	117.71 ^d	174.66 ^a
ER, kcal/día	83.44 ^c	95.64 ^b	77.93 ^c	77.22 ^c	77.31 ^c	120.35 ^a
ERp, kcal/día	46.05 ^b	53.85 ^b	47.69 ^b	53.27 ^b	55.29 ^{ab}	67.17 ^a
ERl, kcal/día	37.03 ^c	41.66 ^b	29.47 ^d	23.95 ^e	21.77 ^e	52.76 ^a
ENm, kcal/día	43.80 ^e	49.36 ^c	52.95 ^b	46.37 ^d	40.40 ^f	54.31 ^a
W ^{0.75}	0.582 ^a	0.577 ^a	0.580 ^a	0.611 ^b	0.647 ^a	0.654 ^a
EM, kcal/W ^{0.75}	299.83 ^b	364.79 ^a	318.32 ^b	280.53 ^c	284.12 ^c	358.68 ^a
ER, kcal/W ^{0.75}	143.4 ^b	165.8 ^a	134.4 ^{bc}	126.4 ^{bc}	119.5 ^c	184.0 ^a
ENm, kcal/W ^{0.75}	75.28	85.55	91.31	75.89	62.43	83.02

ER: energía retenida; ERp: energía retenida como proteína; ERl: energía retenida como lípidos; EM: energía metabolizable; EN: energía neta; IC: incremento calórico; k: eficiencia EN:EM; ENm: energía neta de mantenimiento; HP: producción de calor; IC: incremento calórico; W^{0.75}: unidades metabólicas; SP: subproducto; H: harina. Promedios con letras distintas, muestran diferencias significativas (p<0.05).

4.1.3. Energía Neta de las dietas

El contenido de EN, difirió entre las dietas, y fue mayor en la dieta B + aceite de soya frente a las otras, seguido de la dieta basal, B + maíz y B + harina de pescado, siendo menor en las dietas B + harina de soya y B + subproducto de trigo (p<0.05) (Tabla 9). Esta característica estaría asociada al efecto calórico que tienen los lípidos el cual incrementa la disponibilidad de la Energía Metabolizable, determinando ello que tengan un mayor valor de EN (Shatnawi 2014) y menor incremento calórico (Shannon y Brown 1969; Sibbald 1982). Por otra parte, los valores de EN menores en las dietas con harina de soya y harina de pescado estarían

asociados al elevado porcentaje de proteína que estas tuvieron (Wu *et al.* 2018) y en la dieta con subproducto de trigo estaría asociado al elevado contenido de fibra cruda (Jørgensen *et al.* 1996).

Diferentes estudios muestran que la energía retenida derivada de ingredientes altos en proteína (fuentes animales) y fibra, fue menor que aquellos derivados de ingredientes altos en almidón (fuentes de cereales) atribuyéndose ello a la mayor producción de calor (Jørgensen *et al.* 1996) y pérdida de energía (Choct 2004), lo que está asociado a una baja eficiencia metabólica (Noblet *et al.* 1994). Dietas con incrementos en los niveles de fibra incrementan el volumen de excretas, determinando incremento en el tamaño del tracto gastrointestinal, principalmente el peso del ciego, disminuyendo también la digestibilidad de los nutrientes (Jørgensen *et al.* 1996).

Estos resultados muestran el efecto que tiene la composición de las dietas (contenido de nutrientes) sobre la energía neta y la retención de energía (Pirgozliev *et al.* 1999; Mateos *et al.* 2018), puesto que la proporción de proteína, grasa o almidón en los ingredientes alimenticios afecta la eficiencia de utilización de la energía metabolizable, generando mayor incremento calórico (Noblet *et al.* 1999; Cerrate *et al.* 2019; Swick *et al.* 2013a).

Tabla 9. Energía Neta de las dietas experimentales

Detalle/nivel	Basal (B)	B + grano de maíz	B + SP trigo	B + H soya	B + H pescado	B + aceite de soya
Valores de energía, kcal/kg de MS						
Energía Bruta	4444 ^b	4356 ^b	4491 ^b	4437 ^b	4451 ^b	4928 ^a
Energía Metabolizable	3588 ^b	3653 ^b	3107 ^c	3115 ^c	3556 ^b	4223 ^a
Energía Neta	2583 ^b	2560 ^b	2191 ^c	2233 ^c	2359 ^{bc}	3080 ^a
Eficiencia de uso de la energía, %						
k	71.99	70.09	70.52	71.70	66.34	72.93

SP: subproducto; H: harina. Promedios con letras distintas, muestran diferencias significativas (p<0.05).

4.1.4. Energía Neta de los Ingredientes

Los valores de Energía Neta de los ingredientes se presentan en la Tabla 10, los mismos que difiere entre ingredientes, siendo mayor para el aceite de soya frente a los otros ingredientes, seguido del maíz, harina de pescado y con los menores valores el subproducto de trigo y la harina de soya ($p < 0.05$). La eficiencia de utilización de la energía (EN:EMn) muestra que el aceite de soya tiene la eficiencia más alta (86.21%) ($p < 0.01$), seguido del maíz con 67.68% y subproducto de trigo (73.02%) e inferior en la harina de soya (57.23%) y harina de pescado (55.88%). En cuanto a la relación EN/EB, el valor más alto sigue siendo para el aceite de soya (80.36%), seguido del maíz (56.60%) y con la menor relación en el subproducto de trigo, harina de soya y harina de pescado ($p < 0.01$).

Grano de maíz: El valor de EN determinado (2527 kcal/kg MS) fue inferior al promedio de lo reportado y analizado en la literatura (2846 kcal/kg MS, Tabla 11) en 319 kcal (11.21%), cuyo rango de variación está entre 2507 a 3146 kcal/kg MS, en 10 reportes de un total de 27. La eficiencia k (EN/EM) es menor (67.68%) al promedio analizado en la literatura (78.62%) en 10.94%, al igual que la relación EN/EB (56.60%), que está por debajo del valor promedio analizado (69.46%), en cuanto a la metabolicidad su valor también es inferior (83.66%) al promedio (84.41%), sin embargo, la diferencias es mínima (2.25%).

Subproducto de Trigo: Tuvo un aporte en EN (1598 kcal/kg MS) superior al promedio de lo reportado y analizado en la literatura (1281 kcal/kg MS, Tabla 11) en 317 kcal (19.84%), cuyo rango de variación es de 926 a 1635 kcal/kg MS, lo que muestra una discrepancia marcada entre el valor mínimo y máximo, producto de la escasa información encontrada en la literatura (total dos reportes de ocho analizados). La eficiencia k es menor (73.02%) al promedio analizado en la literatura (75.59%) en 2.57%, al igual que la relación EN/EB (34.71%), que es menor al valor promedio analizado (36.89%), en cuanto a la metabolicidad el valor determinado es superior (47.73%) al promedio de la literatura (46.14%).

Harina de soya: La EN determinada (1417 kcal/kg MS) fue inferior al promedio analizado en la literatura (1535 kcal/kg MS, Tabla 11) en 118 kcal (7.69%), cuyo rango de variación está entre 1242 a 1849 kcal/kg MS de un total de 28 reportes, en los cuales 10 muestran valores de EN. La eficiencia k es menor (57.23%) al promedio analizado en la literatura (62.27%) en 5.04%, al igual que la relación EN/EB (34.71%), que está por debajo del valor

promedio analizado (40.21%), en cuanto a la metabolicidad su valor también es inferior (52.99%) al promedio (53.68%), sin embargo, la diferencias es mínima (0.69%).

Harina de pescado: La EN determinada (1837 kcal/kg MS) fue inferior al promedio analizado en la literatura (2151 kcal/kg MS, Tabla 11) en 314 kcal (14.60%), cuyo rango de variación está entre 1859 a 2501 kcal/kg MS de un total de 18 reportes, en los cuales cinco muestran valores de EN. La eficiencia k es menor (55.88%) al promedio analizado en la literatura (69.48%) en 13.60%, al igual que la relación EN/EB (37.52%), que está por debajo del valor promedio analizado (54.14%). En cuanto a la metabolicidad su valor también es inferior (67.20%) al promedio (65.27%), sin embargo, la diferencias es mínima (1.93%).

Aceite de Soya: La EN determinada (7550 kcal/kg MS) fue inferior al promedio analizado en la literatura (7651 kcal/kg MS, Tabla 11) en 101 kcal (1.32%), cuyo rango de variación está entre 6462 a 8100 kcal/kg MS de un total de 10 reportes, en los cuales cinco muestran valores de EN. La eficiencia k es similar (86.21%) al promedio analizado en la literatura (86.86%) con una mínima diferencia de 0.65%, la relación EN/EB (80.36%) fue mayor al valor promedio analizado (78.96%), en cuanto a la metabolicidad su valor también es superior (93.31%) al promedio (92.46%) con una diferencia mínima de 0.85%.

Tabla 10. Energía neta de los ingredientes y su eficiencia.

Detalle	Grano de maíz	Subproducto de trigo	Harina de soya	Harina de pescado	Aceite de soya
Valores de energía (kcal/kg de MS)					
Energía Neta	2527 ^b	1598 ^c	1417 ^c	1837 ^{bc}	7550 ^a
Energía Metabolizable	3734 ^b	2197 ^d	2477 ^d	3289 ^c	8767 ^a
Eficiencia de uso de la energía, %					
EN : EB	56.60 ^b	34.71 ^c	30.31 ^c	37.52 ^c	80.36 ^a
EN : EM	67.68 ^b	73.02 ^b	57.23 ^c	55.88 ^c	86.21 ^a

EN: energía neta; EB: energía bruta; EM: energía metabolizable. Promedios con letras distintas, muestran diferencias significativas (p<0.05).

Las diferencias en los valores de EN de los ingredientes reportados en el presente estudio, con relación a los de la literatura, estarían determinadas principalmente por el contenido de nutrientes de los mismos (Pirgozliev y Rose 1999) y la eficiencia de utilización de los carbohidratos, lípidos y proteínas, que es mayor en los lípidos, intermedio en los carbohidratos y menor en las proteínas (Swick *et al.* 2013a). Adicionalmente se podría atribuir a la metodología empleada, tipo de animales utilizados en el estudio, composición de la dietas, nivel de procesamiento de los ingredientes, los cuales varían entre instituciones de investigación (Mateos *et al.* 2019).

La eficiencia k , varía de acuerdo a las características químicas de los alimentos, debido a que los nutrientes no son utilizados con similar eficiencia (Ettungalpadi 2014). En términos generales la eficiencia, fue mayor con el aceite de soya, intermedio con el maíz y subproducto de trigo y menor con la harina de pescado y harina de soya, que guarda relación con reportes previos (Tabla 1). Las variaciones en las eficiencias están dadas principalmente por la composición nutricional de los ingredientes (Noblet *et al.* 1994; Jørgensen *et al.* 1996; Nitsan *et al.* 1997; Choct 1999; Gous 2010; Noblet *et al.* 2010; Barekatain *et al.* 2014; Cerrate *et al.* 2019). Las dietas con altas concentraciones de fibra cruda, fibra detergente ácido y proteína cruda producen elevados valores de incremento calórico y bajas relaciones EN:EM (Swick *et al.* 2013a; Barzegar *et al.* 2020). Sin embargo, diferentes estudios también vienen mostrando que la inclusión de niveles moderados de fibra en la dieta de pollos incrementan la digestibilidad, pero no se tiene establecido el nivel adecuado de inclusión, ya que este efecto depende de la fuente y tipo de fibra (Mtei *et al.* 2019), el mismo que afectaría su eficiencia energética.

El uso de aceites en dietas (niveles elevados), mejoran la eficiencia de uso de la energía, reduciendo el incremento calórico (guarda una alta correlación positiva con la EN) (Shannon y Brown 1969; Barzegar *et al.* 2020; Wu *et al.* 2018). De Groote (1974) reportó valores de 60%, 90% y 75% para la proteína cruda, grasa y almidón + azúcar, respectivamente, indicando que ello refleja diferencias en la eficiencia con la cual la EM de estos insumos es utilizada para crecimiento. Por su parte Gous (2010), indica que los insumos ricos en proteína tienen una relación EN:EM promedio de 63%, los cereales tienen valores alrededor de 73% y para grasas y aceites la relación fue de 90%. Cerrate *et al.* (2019) reportaron valores de k para carbohidratos 68%, grasas 86% y para proteínas 76% a 59%, que están dentro de los rangos establecidos por diferentes estudios. Los resultados del presente estudio están dentro de los rangos reportados por la mayor parte de investigadores antes citados.

En cerdos la relación EN/EM varía bastante con la composición química de las dietas y nutrientes, con relaciones para grasas (90%) y almidones (80%) que son elevados frente a las proteínas y fibra dietaria (60%). En pollos los valores son similares, pero con pequeñas diferencias entre nutrientes (Noblet et al., 2010). Además datos experimentales de Noblet *et al.* 2010) indican que la relación EN:EM varía considerablemente con la composición química de las dietas completas y nutrientes específicos (grasas > almidones > proteínas = fibra) en animales monogástricos.

Tabla 11. Comparación de valores determinados de energía metabolizable y energía neta en el estudio y la literatura, kcal/kg MS.

Ingrediente	Resultado del estudio (*)	Datos de la literatura	
		Promedio	Mínimo y máximo
Grano de maíz			
EMn	3734	3712	3110 - 4420
EN	2527	2846	2507 - 3146
EN/EM, %	67.68	78.62	70.46 - 85.60
EN/EB, %	56.60	69.46	68.02 - 70.90
EM/EB, %	83.66	84.41	76.85 - 88.00
Subproducto de trigo			
EMn	2197	1684	1300 - 2273
EN	1598	1281	926 - 1635
EN/EM, %	73.02	75.59	71.23 - 79.95
EN/EB, %	34.71	36.89	-
EM/EB, %	47.73	46.14	-
Harina de soya			
EMn	2477	2452	1650 - 2792
EN	1417	1535	1242 - 1849
EN/EM, %	57.23	62.27	48.61 - 76.85
EN/EB, %	34.71	40.21	-
EM/EB, %	52.99	53.68	52.33 - 55.20
Harina de pescado			
EMn	3289	3147	2445 - 4035
EN	1837	2151	1859 - 2501
EN/EM, %	55.88	69.48	60.77 - 80.44
EN/EB, %	37.52	54.14	51.51 - 56.76
EM/EB, %	67.20	65.27	60.78 - 70.56
Aceite de soya			
EMn	8767	8502	7427 - 9260
EN	7550	7651	6462 - 8100
EN/EM, %	86.21	86.86	75.50 - 90.01
EN/EB, %	80.36	78.96	67.64 - 84.77
EM/EB, %	93.31	92.46	89.35 - 94.18

(*): Son los valores determinados en el presente estudio.

Cuando se realiza el análisis de la eficiencia tomando como base de comparación al maíz (Tabla 12), la eficiencia para la energía metabolizable es menor con el subproducto de trigo y harina de soya (45% y 65%, respectivamente), la harina de pescado representa el 85% y el aceite de soya es superior y tiene la más alta eficiencia. Comparando estos valores con la literatura, se puede observar que el valor determinado en el estudio para el subproducto de trigo es mayor al de la literatura en 14%, teniendo la harina de soya la misma eficiencia, siendo la harina de pescado mayor en 3% y el aceite de soya también superior en 6% frente a la literatura. En cuanto a la Energía Neta, se aprecia que el aceite de soya tiene la eficiencia más alta, seguido por la harina de pescado, harina de soya y finalmente el subproducto de trigo. Realizando la comparación con los valores reportados en la literatura, se tiene que el aceite de soya, harina de soya y subproducto de trigo son mayores en 30%, 2% y 18%, respectivamente y solo en la harina de pescado la eficiencia fue inferior en 3% a lo reportado en la literatura.

Tabla 12. Eficiencia de la Energía Metabolizable y neta de los ingredientes en función al maíz.

Ingrediente	EB		EM		EN	
	Literatura	Estudio	Literatura	Estudio	Literatura	Estudio
Grano de maíz	100	100	100	100	100	100
Subproducto de trigo	99	103	45	59	45	63
Harina de soya	108	105	66	66	54	56
Harina de pescado	107	110	85	88	76	73
Aceite de soya	212	210	229	235	269	299

4.2. ESTUDIO 2: REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA NETA

4.2.1 Modelo de Estimación del Requerimiento de Energía Neta

En el presente estudio se estimó el requerimiento de la energía neta de las dietas a partir de la energía neta de mantenimiento obtenida en el primer experimento en base a Fraps (1946) modificado y, los valores de energía retenida obtenidos en el segundo estudio. La validación se realizó con los consumos hallados en el segundo Estudio (Tabla 13).

Entonces el modelo para la Energía Neta de mantenimiento y Energía Neta fue:

Dieta basal:

299.83k - a = 143.39 At libitum

231.85k - a = 92.82 70% AL

ENm (kcal/día) = a = 79.66 x W^{0.75}

EN (kcal/día) = 79.66 x W^{0.75} + ER

4.2.2 Validación del modelo para estimar el requerimiento de Energía Neta

Al realizar la validación de la EN, en base al modelo propuesto, esta muestra que la EN estimada (139.38 ± 20.59) fue similar a la EN determinada (139.46 ± 21.35) ($p=0.99$), con una alta precisión ($R=0.992$) y adecuada relación lineal ($R^2 = 0.983$), con un porcentaje de error bajo (2.17%), por lo que el modelo es válido, lo que implica que el modelo predice adecuadamente (Tabla 14). Resultados similares fueron obtenidos por Cerrate y Coon (2010) al evaluar un modelo bioquímico para estimar la energía neta de dietas e ingredientes en pollos, empleando un valor de ENm teórico, mostrando que las transformaciones energéticas y pérdidas asociadas con la utilización de los alimentos para el mantenimiento y producción pueden ser expresados en términos fisiológicos y bioquímicos (Baldwin 1968).

Tabla 13. Energía Neta determinada en el estudio II.

Detalle	Basal	B + grano de maíz	B + SP trigo	B + H soya	B + H pescado	B + aceite
Alimentación at-libitum						
PV promedio, kg	0.534	0.487	0.443	0.529	0.565	0.563
W ^{0.75}	0.625	0.583	0.543	0.620	0.651	0.650
Consumo de alimento g MS/día	71.74	74.04	69.28	62.43	62.07	69.54
EM, kcal/día	226.51	238.01	201.03	171.12	194.25	258.40
ER, kcal/día	94.57	106.13	69.19	78.18	77.23	118.47
ERp, kcal/día	53.37	55.64	40.48	54.49	55.23	59.44
ERl, kcal/día	42.77	48.49	24.92	24.55	26.15	44.82
k determinado	0.62	0.62	0.54	0.74	0.69	0.66
ENm, kcal/W ^{0.75} /día	78.68	76.71	73.55	79.48	87.03	81.84
ENm, kcal/día	49.15	44.72	39.94	49.30	56.69	53.18
EN, kcal/día	143.72	150.85	109.13	127.48	133.92	171.65
HP, kcal/día	131.94	131.88	131.84	92.94	117.02	139.93
IC, kcal/día	82.79	87.16	91.90	43.64	60.33	86.75

PV: peso vivo; W^{0.75}: peso en unidades metabólicas; EM: consumo de energía metabolizable; ER: energía retenida; ERp: energía retenida como proteína; ERl: energía retenida como lípidos; ENm: energía neta de mantenimiento; EN: energía neta; k: eficiencia de uso de la energía; HP: producción de calor; IC: incremento calórico; SP: subproducto; H: harina.

Tabla 14. Resultados de la prueba de error y coeficiente de determinación para la EN de las dietas a partir del modelo propuesto ($ENm = 79.66 \text{ kcal} \times W^{0.75} + ER$).

Dieta	PV, kg	$W^{0.75}$	ENm, kcal/día	ER, kcal/día	EN, kcal/día estimada	EN, kcal/día determinado
Alimentación at-libitum						
Basal	0.534	0.625	49.76	94.57	144.33	143.72
B + grano de maíz	0.487	0.583	46.44	106.13	152.57	150.85
B + subproducto de trigo	0.443	0.543	43.26	69.19	112.45	109.13
B + harina de soya	0.529	0.620	49.41	78.18	127.59	127.48
B + harina de pescado	0.565	0.651	51.89	77.23	129.12	133.92
B + aceite de soya	0.563	0.650	51.77	118.47	170.24	171.65
Promedio					139.38	139.46
Desviación estándar					20.59	21.35
R						0.992
R^2						0.983
MSPE						6.5688
% error						2.17

PV: peso vivo promedio; $W^{0.75}$: peso en unidades metabólicas; ENm: energía neta de mantenimiento ($77.66 \times W^{0.75}$); ER: energía retenida; EN: energía neta; ke: eficiencia de uso de la energía, estimada; MSPE: cuadrado medio del error predicho; R^2 : coeficiente de determinación.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el estudio se concluyen:

1. Los valores de Energía Neta de los ingredientes fueron: maíz grano, 2527 kcal/kg; subproducto de trigo, 1598 kcal/kg; harina de soya, 1417 kcal/kg; harina de pescado, 1837 kcal/kg y aceite de soya, 7550 kcal/kg.
2. El modelo de requerimiento de Energía Neta para pollos de carne propuesto es $EN = 79.66 \text{ kcal} \times W^{0.75} + ER$ con un error de 2.17% y un R^2 0.983.

VI. RECOMENDACIONES

1. Para la formulación de raciones de pollo de carne utilizar los valores de Energía Neta de los ingredientes en tal como ofrecido (90% de materia seca): maíz grano, 2274 kcal/kg MS; subproducto de trigo, 1438 kcal/kg MS; harina de soya 1275 kcal/kg MS; harina de pescado, 1653 kcal/kg MS y aceite de soya, 6795 kcal/kg.
2. Usar el modelo propuesto, $EN = 79.66 \text{ kcal/ } W^{0.75} + ER$, para la determinación de los requerimientos de EN en pollos de carne.
3. Determinar valores de energía neta para otros ingredientes con uso potencial en la alimentación de aves.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aaron, D.K.; Hays, V.W. 2004. How Many Pigs? Statistical Power Considerations in Swine Nutrition Experiments. *Journal of Animal Science*. 82 E-Suppl: 245–54.

Abdulla, N.R.; Loh, T.C.; Akit, H.; Sazili, A.Q.; Foo, H.L. 2016. A Note Comparing the Apparent Metabolisable Energy of Three Oil Sources and Their Combination in Broiler Chickens. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 39 (4): 617–24.

Almquist, H.J.; Halloran, H.R. 1971. Crude Fiber as a Tracer in Poultry Nutrition Studies. *Poultry Science* 50 (4): 1233–35.

Alvarenga, R.R.; Rodrigues, P.B.; Zangeronimo, M.G.; Freitas, R.T.F.; Lima, R.R., Bertechini, A.G.; Fassani, E.J. 2011. Energetic Values of Feedstuffs for Broilers Determined with in Vivo Assays and Prediction Equations. *Animal Feed Science and Technology* 168 (3–4): 257–266.

AOAC. 2007. *Official Methods of Analysis*. 18th Ed. Arlington Association of Official Chemists. Association of Official Analytical Chemists.

Baldwin, R.L. 1968. Estimation of Theoretical Calorific Relationships as a Teaching Technique. A Review. *Journal of Dairy Science* 51 (1): 104–11.

Baldwin, R.L.; Bywater, A.C. 1984. Nutritional Energetics of Animals. *Annual Review of Nutrition* 4 (3): 101–14.

Barekatain, M.R.; Noblet, J.; Wu, S.B.; Iji, P.A.; Choct, M.; Swick, R.A. 2014. Effect of Sorghum Distillers Dried Grains with Solubles and Microbial Enzymes on Metabolizable and Net Energy Values of Broiler Diets. *Poultry Science* 93 (11): 2793–2801.

Barzegar, S.; Wu, S-B.; Choct, M.; Swick, R.A. 2020. Factors Affecting Energy Metabolism and Evaluating Net Energy of Poultry Feed. *Poultry Science* 99 (1): 487–98.

- Bedford, M.R. 1996. The Effect of Enzymes on Digestion. *Journal of Applied Poultry Research* 5 (4): 370–78.
- Birsoy, K.; Festuccia, W.T.; Laplante, M. 2013. A Comparative Perspective on Lipid Storage in Animals. *Journal of Cell Science* 126 (7): 1541–1552.
- Brickett, K.E.; Dahiya, J.P.; Classen, H.L.; Gomis, S. 2007. Influence of Dietary Nutrient Density, Feed Form, and Lighting on Growth and Meat Yield of Broiler Chickens. *Poultry Science* 86 (10): 2172–81.
- Buzala, M.; Janicki, B. 2016. Review: Effects of Different Growth Rates in Broiler Breeder and Layer Hens on Some Productive Traits. *Poultry Science* 95 (9): 2151–2159.
- Caldas, J.V. 2015. Calorimetry and Body Composition Research in Broilers and Broiler Breeders. University of Arkansas, Fayetteville. ScholarWorks@UARK, Doctor of Philosophy in Poultry Science. Theses.
- Caldas, J.V.; Boonsinchai, N.; Wang, J.; England, J.A.; Coon, C.N. 2019. The Dynamics of Body Composition and Body Energy Content in Broilers. *Poultry Science* 98 (2): 866–877.
- Carew, L.B.; Hill, F.W. 1964. Effect of Corn Oil on Metabolic Efficiency of Energy Utilization By Chicks. *The Journal of Nutrition* 83 (June): 293–299.
- Carpenter, K.J.; Clegg, K.M. 1956. The Metabolizable Energy of Poultry Feeding Stuffs in Relation to Their Chemical Composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 7 (1): 45–51.
- Carrasco, S.; Bellof, G.; Schmidt, E. 2014. Nutrients Deposition and Energy Utilization in Slow-Growing Broilers Fed with Organic Diets Containing Graded Nutrient Concentration. *Livestock Science* 161 (1): 114–22.
- Cerrate, S., Coon, C. 2010. Estimation of Net Energy Values of Feedstuffs by Simulation of Biochemical Reactions in Broiler Chicks. *J. Animal Science* 88, E-Supp.
- Cerrate, S.; Ekmay, R.; England, J.A.; Coon, C. 2019. Predicting Nutrient Digestibility and Energy Value for Broilers. *Poultry Science* 98 (9): 3994–4007.
- Chami, D.B.; Vohra, P.; Kratzer, F.H. 1980. Evaluation of a Method for Determination of

True Metabolizable Energy of Feed Ingredients. *Poultry Science* 59: 569–71.

Chen, P.; Suh, Y.; Choi, Y.M.; Shin, S.; Lee, L. 2014. Developmental Regulation of Adipose Tissue Growth through Hyperplasia and Hypertrophy in the Embryonic Leghorn and Broiler. *Poultry Science* 93 (7): 1809–17.

Choct, M. 1999. Soluble Non – Starch Polysaccharides Affect Net Utilisation of Energy by Chickens. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia* 12 (January): 31–36.

Choct, M. 2004. The Net Energy Value For Commonly Used Plant Ingredient for Poultry in Australia. RIRDC. Publication, no. 04.

Close, W.H. 1990. The Evaluation of Feeds through Calorimetry Studies. In: *Feedstuff Evaluation* (Ed. J. Wiseman, D.J.A. Cole, Butterworths, London), 21–39.

Crespo, N.; Esteve-Garcia, E. 2002. Nutrient and Fatty Acid Deposition in Broilers Fed Different Dietary Fatty Acid Profiles. *Poultry Science* 81 (10): 1533–42.

Ellis, J.L.; Bannink, A.; France, J.; Kebreab, E.; Dijkstra, J. 2010. Evaluation of Enteric Methane Prediction Equations for Dairy Cows Used in Whole Farm Models. *Global Change Biology* 16 (12): 3246–56.

Emmans, G.C. 1994. Effective Energy: A Concept of Energy Utilization Applied across Species. *British Journal of Nutrition* 71 (06): 801–21.

Ettungalpadi, V.D. 2014. Net Energy of Dry Extruded Expelled Soybean Meal for Growing. Thesis Master of Science. Department of Animal Science, University of Manitoba. Canada, 120.

Farrell, D.J. 1971. An Indirect Closed Circuit Respiration Chamber Suitable for Fowl. *Poultry Science* 51 (2): 683–88.

Farrell, D.J. 1974. General Principles and Assumptions of Calorimetry. In: *Energy Requirements of Poultry* (Morris, T.R. and Freeman, B.M., Eds), *Poultry Science Symposium No. 9*, British Poultry Science Ltd, Edinburgh, no. N° 9: 124.

Farrel, D.J. 1978. Rapid Determination of Metabolizable Energy of Foods Using Cockrels. *British Poultry Science* 19 (3): 303–8.

Fraps, G.S. 1946. Composition, and Productive Energy of Poultry Feeds and Rations. Texas Agricultural Experiment Station. Division of Chemistry. Agricultural and Mechanical College of Texas 678 (February).

Fuller, H.L.; Dale, N.M.; Smith, C.F. 1983. Comparison of Heat Production of Chickens Measured by Energy Balance and by Gaseous Exchange. *J.Nutr.* 113 (0022-3166): 1403-8.

García-Rebollar, P.; Cámara, L.; Lázaro, R.P.; Dapoza, C.; Pérez-Maldonado, R.; Mateos, G.G. 2016. Influence of the Origin of the Beans on the Chemical Composition and Nutritive Value of Commercial Soybean Meals. *Animal Feed Science and Technology* 221: 245-61.

Garrido, A.P.; Teijón, R.J.M.; Blanco, G.M.A.; Olmo, L.R.; Teijón, L.C.; Castel, S.B. 2009. *Bioquímica Metabólica. Conceptos y Test, 2da Edición.* Madrid. España: Editorial Tébar, S.L. Madrid, España.

Girish, C.K.; Rama Rao, S.V.; Payne, R.L. 2013. Effect of Reducing Dietary Energy Protein on Growth Performance and Carcass Traits of Broilers. *Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production. 4th International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition.* Sacramento, California. USA.

De Goey, L.W. 2014. Net Energy System for Broilers Pioneered by France. Prediction of the Net Energy Value of Broiler Diets Is Now Possible. *Feed Strategy. News and Analysis for the Global Animal Feed Industry.*

Gous, R.M. 2010. An Effective Alternative to the Metabolizable Energy System. *Aust. Poultry Science Symp.*, 36-43.

De Groote, G.; Reyntens, N.; Amich-Gali, J. 1971. Fat Studies 2. The Metabolic Efficiency of Energy Utilization of Glucose, Soybean Oil and Different Animal Fats by Growing Chicks.

De Groote, G. 1971. The Energetic Evaluation of Rations and Feeding Stuffs for Growing Chicks. In Meeting Working Group N° 2 of the European Branches of the W.P.S.A., 1971. Nouzilly (France).

De Groote, G. 1974. A Comparison of a New Net Energy System with the Metabolizable Energy System in Broiler Diet Formulation, Performance and Profitability. *British Poultry*

Science 15 (1): 75–95.

Gutierrez, N.A.; Patience, J.F. 2012. The Metabolic Basis of Feed-Energy Efficiency in Swine. Allen D. Lemay Swine Conference Proceedings 39: 19–26. University of Minnesota Institutional Partners. USA.

Halloran, H.R.; Sibbald, I.R. 1979. Metabolizable Energy Values of Fats Measured by Several Procedures. Poultry Science 58 (5): 1299–1307.

Havenstein, G.B.; Ferket, P.R.; Qureshi, M.A. 2003. Growth, Livability, and Feed Conversion of 1957 versus 2001 Broilers When Fed Representative 1957 and 2001 Broiler Diets. Poultry Science 82 (10): 1500–1508.

Henn, J.D.; Bockor, L.; Ribeiro, A.M.L.; Coldebella, A.; De Kessler, A.M. 2014. Growth and Deposition of Body Components of Intermediate and High Performance Broilers. Revista Brasileira de Ciencia Avicola 16 (3): 319–28.

Hill, F.W.; Anderson, D.L. 1958. Comparison of Metabolizable Energy and Productive Energy Determinations with Growing Chicks. J Nutr 64 (4): 587–603.

Hill, F.; Renner, R. 1960. The Metabolizable Energy of Soybean Oil Meals, Soybean Millfeeds and Soybean Hulls for the Growing Chick. Poultry Science 39 (3): 579–83.

Hill, F.W.; Anderson, D.L.; Renner, R.; Carew, L.B. 1960. Studies of the Metabolizable Energy of Grain and Grain Products for Chickens. Poultry Science 39 (3): 573–579.

Hu, Q., Wang, F.L., Piao, X.S., Ni, J.J., Zhang, X.M., and Li, D.F. 2012. Effects of Fasting Duration and Body Weight on Fasting Heat Production in Growing Pigs. Journal of Animal and Veterinary Advances.

Hurwitz, S. 1988. Use Models in the Estimation of Amino Acids and Energy Requirements. In Carolina Poultry Nutrition Conference. Fifteenth Annual. December 7 - 8. Adam's Mark 555 South McDowell Street Charlotte, NC. USA.

Johnson, R.J. 1987. Metabolizable Energy: Recent Research with Poultry. Victorian Department of Agriculture and Rural Affairs, Animal Research Institute, Werribee, Victoria 3030, 228–243.

- Jørgensen, H.; Zhao, X-Q.; Knud, E.B.K.; Bjørn, O.E. 1996. The Influence of Dietary Fibre Source and Level on the Development of the Gastrointestinal Tract, Digestibility and Energy Metabolism in Broiler Chickens. *British Journal of Nutrition* 75 (03): 379.
- Koh, K.; Macleod, M.G. 1999. Circadian Variation in Heat Production and Respiratory Quotient in Growing Broilers Maintained at Different Food Intakes and Ambient Temperatures. *British Poultry Science* 40 (3): 353–56.
- Labussie, E.; Van Milgen, J.; De Lange, F.M.; Noblet, J. 2011. Maintenance Energy Requirements of Growing Pigs and Calves Are Influenced by Feeding Level 1, 2, 1855–61.
- Lamot, D.M.; Sapkota, D.; Wijtten, P.J.A.; Van Den Anker, I.; Heetkamp, M.J.W.; Kemp, B.; Van Den Brand, H. 2019. Diet Density during the First Week of Life: Effects on Growth Performance, Digestive Organ Weight, and Nutrient Digestion of Broiler Chickens. *Poultry Science* 98 (2): 789–95.
- De Lange, C.F.M.; Birkett, S.H. 2005. Characterization of Useful Energy Content in Swine and Poultry Feed Ingredients. *Canadian Journal of Animal Science* 85 (3): 269–80.
- Leeson, S.; Summers, J.D. 2001. *Nutrition of the Chicken*. 4th Edition. University Books. P.O. Box 1326, Guelp, Ontario, Canada N1H 6N8, 601.
- Li, Z.; Li, Y.; Liu, H.; Zhao, J.; Noblet, J.; Wang, F.; Lai, C.; Li, D. 2017. Net Energy of Corn, Soybean Meal and Rapeseed Meal in Growing Pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8 (1): 44.
- Li, Y.; Li, Z.; Liu, H.; Noblet, J.; Liu, L.; Li, D.; Wang, F.; Lai, C. 2018a. Net Energy Content of Rice Bran, Corn Germ Meal, Corn Gluten Feed, Peanut Meal, and Sunflower Meal in Growing Pigs. *Asian-Australas J. Animal Science* 31(9): 1481-1490.
- Li, Z.; Liu, H.; Li, Y.; Lv, Z.; Liu, L., Lai, C.; Wang, J.; Wang, F.; Li, D. 2018b. Methodologies on Estimating the Energy Requirements for Maintenance and Determining the Net Energy Contents of Feed Ingredients in Swine : A Review of Recent Work, *Journal Animal Science Biotechnology*. 9–39.
- Liu, W.; Cai, H.; Yan, J.; Liu, G.; Zhang, X.; Yang, H. 2014. Effects of Body Weight on Total Heat Production and Fasting Heat Production in Net Energy Evaluation of Broilers.

Chinese Journal of Animal Nutrition 26 (8): 2118–25.

Liu, W.; Liu, G.H.; Liao, R.B.; Chang, Y.L.; Huang, X.Y.; Wu, Y.B.; Yang, H.M.; Yan, H.J.; Cai, H.Y. 2016. Apparent Metabolizable and Net Energy Values of Corn and Soybean Meal for Broiler Breeding Cocks. *Poultry Science* 96 (1): 135–43.

Liu, W.; Chang, C.H.; Wu, Z.K.; Liu, G.H.; Yan, H.J.; Yang, H.M.; Cai, H.Y. 2017. Estimation of the Net Energy Requirement for Maintenance in Broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 30 (6): 849–56.

Lofgreen, G.P.; Garrett, W.N. 1968. A System for Expressing Net Energy Requirements and Feed Values for Growing and Finishing Beef Cattle. *Journal of Animal Science* 27 (3): 793.

Lopez, G.; Leeson, S. 2008a. Assessment of the Nitrogen Correction Factor in Evaluating Metabolizable Energy of Corn and Soybean Meal in Diets for Broilers. *Poultry Science* 87 (2): 298–306.

Lopez, G.; Leeson, S. 2008b. Review: Energy Partitioning in Broiler Chickens. *Canadian Journal of Animal Science* 88 (2): 205–12.

Losada, B.; García-Rebollar, P.; Álvarez, C.; Cachaldora, P.; Ibáñez, M.A.; Méndez, J.; De Blas, C. 2010. The Prediction of Apparent Metabolizable Energy Content of Oil Seeds and Oil Seed By-Products for Poultry from Its Chemical Components, in Vitro Analysis or near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology* 160 (1–2): 62–72.

Lotfollahian, H.; Hosseini, S. 2007. Evaluation of Metabolizable Energy Values of Some Feeding Stuffs. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10 (6): 995–97.

Masood, W.; Khan, S.H.; Alibhatti, S.; Parveen, A. 2011. Comparison of Sample Source (Excreta or Ileal Digesta) and Age of Broiler Chick on Measurement of Apparent Metabolizable Energy of Local Feed Ingredients. *Journal of Applied Animal Research* 39 (4): 359–66.

Mateos, G.G.; Cámara, L.; Saldaña, P.; Guzmán, P.; Lázaro, R. 2015. Evaluating the Energy Content of Ingredients in Poultry Diets - An Update. 20th European Symposium on Poultry Nutrition. 24-27 August. Prague, Czech Republic., 55–62.

- Mateos, G.G.; Cámara, L.; Fondevila, G.; Lázaro, R.P. 2018. Critical Review of the Procedures Used for Estimation of the Energy Content of Diets and Ingredients in Poultry. *Journal of Applied Poultry Research* 0: 1–20.
- McDonald, P.; Edwards, R.A.; Greenhalgh, J.F.D.; Morgan, C.A.; Sinclair, L.A.; Wilkinson, R.G. 2010. *Animal Nutrition*. Pearson Education Limited, Essex, UK. Seventh Ed: 693.
- Miller, W.A.S. 1974. The Determination of Metabolizable Energy. In: *Energy Requirements of Poultry*. Ed. T.R. Morris and B.M. Freeman, British Poultry Science Ltd, Edinburgh, 91–112.
- Mitchell, A.D.; Rosebrough, R.W.; Conway, J.M. 1997. Body Composition Analysis of Chickens by Dual Energy X-Ray Absorptiometry. *Poultry Science* 76 (12): 1746–52.
- Moir, K.W.; Tule, W.J.; Connor, J.K. 1980. Energy Losses in the Excreta of Poultry: A Model for Predicting Dietary Metabolizable Energy. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 20 (103): 151–55. <https://doi.org/10.1071/EA9800151>.
- Mtei, A.W.; Abdollahi, M.R.; Schreurs, N.; Girish, C.K.; Ravindran, V. 2019. Dietary Inclusion of Fibrous Ingredients and Bird Type Influence Apparent Ileal Digestibility of Nutrients and Energy Utilization. *Poultry Science* 98 (12): 6702–12.
- Murray, R.K.; Bender, D.A.; Botham, K.M.; Kennelly, P.J.; Rodwell, V.W.; Weil, P.A. 2010. *Harper. Bioquímica Ilustrada. 28a Edición*. Mc Graw Hill Interamerica Editores, S.A. de C.V. ISBN: 978-607-15-0304-6.
- Murugesan, G.R.; Kerr, B.J.; Persia, M.E. 2013. Evaluation of Energy Values of Various Oil Sources When Fed to Broiler Chicks. *Animal Industry Report: AS 659, ASL R2804*, 2–4.
- Musharaf, N.A.; Latshaw, J.D. 1999. Heat Increment as Affected by Protein and Amino Acid Nutrition. *Worlds Poultry Science Journal* 55(3) (June): 233–40.
- Nieto, R.; Prieto, C.; Fernández-Fígares, I.; Aguilera, J.F. 1995. Effect of Dietary Protein Quality on Energy Metabolism in Growing Chickens. *British Journal of Nutrition* 74 (2): 163–72.
- Ning, D.; Yuan, J.M.; Wang, Y.W.; Peng, Y.Z.; Guo, Y.M. 2014. The Net Energy Values of Corn, Dried Distillers Grains with Solubles and Wheat Bran for Laying Hens Using Indirect

Calorimetry Method. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27 (2): 209–16.

Nitsan, Z.; Dvorin, A.; Zoref, Z.; Mokady, S. 1997. Effect of Added Soyabean Oil and Dietary Energy on Metabolisable and Net Energy of Broiler Diets. *British Poultry Science* 38 (1): 101–6.

Noblet, J.; Shi, X.S.; Dubois, S. 1993. Metabolic Utilization of Dietary Energy and Nutrients for Maintenance Energy Requirements in Sows: Basis for a Net Energy System. *British Journal of Nutrition* 70 (2): 407–19. <https://doi.org/10.1079/bjn19930135>.

Noblet, J.; Fortune, H.; Shi, X.S.; Dubois, S. 1994. Prediction of Net Energy Value of Feeds for Growing Pigs Prediction of Net Energy Value of Feeds for Growing Pigs. *Journal of Animal Science*, Volume 72, Issue 2, February, Pages 344–354.

Noblet, J.; Karege, C.; Dubois, S.; Van Milgen, J. 1999. Metabolic Utilization of Energy and Maintenance Requirements in Growing Pigs: Effects of Sex and Genotype. *Journal of Animal Science*, Volume 77, Issue 5, May, Pages 1208–1216.

Noblet, J. 2007. Recent Developments in Net Energy Research for Swine. *Adv Pork Prod.* 18: 149-156.

Noblet, J.; Van Milgen, J.; Dubois, S. 2010. Utilisation of Metabolisable Energy of Feeds in Pigs and Poultry: Interest of Net Energy Systems?. *Australian Poultry Science Symposium*, 26–35.

Noblet, J. 2013. Use of Net Energy vs Metabolizable Energy in Swine and Poultry. *Southeast Asian Feed Technology and Nutrition Workshop*. Bangkok (Thailand), 1–9.

Noblet, J. 2015. Comparative Interests and Limits of Metabolizable Energy and Net Energy for Evaluating Poultry and Pig Feeds. *20th European Symposium on Poultry Nutrition*. 24–27 August, Prague, Czech Republic.

NRC. 1981. *Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms*. Edited by National Academy of Sciences. Second Rev. Washington, D.C. USA.

NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. Ninth Revised Edition. USA. Poultry Science. Vol. 43.

- Olukosi, O.A.; Cowieson, A.J.; Adeola, O. 2008. Influence of Enzyme Supplementation of Maize-Soyabean Meal Diets on Carcase Composition, Whole-Body Nutrient Accretion and Total Tract Nutrient Retention of Broilers. *British Poultry Science* 49 (4): 436–445.
- Petersen, C.F.; Meyer, G.B.; Sauter, E.A. 1976. Comparison of Metabolizable Energy Values of Feed INgredients for Chicks and Hens. *Poultry Science* 55: 1163–1165.
- Pirgozliev, V.; Rose, S.P.; Pirgozliev, V.; Rose, S.P. 1999. Net Energy Systems for Poultry Feeds: A Quantitative Review Net Energy Systems for Poultry Feeds. *World's Poultry Science Journal* 55: 23–36.
- Potter, L.M.; Matterson, L.D. 1960. Metabolizable Energy of Feed Ingredients. *Research Notes. Poultry Science Journal* 39 (3): 781–88.
- Priyankarage, N.; Rose, S.P.; Silva, S.S.P.; Pirgozliev, V.R. 2011. Energy, Energy Requirement and Different Energy Systems in Poultry. *S.L. Vet. Journal* 58 (A): 1–12.
- Quijano, P.W. 2005. Determinación de Energía Metabolizable Del Subproducto de Cochinilla '*Dactylopius Coccus Costa* (1835)' y su Evaluación Productiva en Reemplazo de Harina de Pescado en Dietas para Pollos de Carne. Tesis Maestria. UNALM.
- Rajaguru, S.B.; Ravindra, V. 1985. Metabolisable Energy Values for Growing Chicks of Some Feedstuffs from Sri Lanka. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36 (11): 1057–64.
- Ravindran, V.; Abdollahi, M.; Bootwalla, S. 2014. Nutrient Analysis, Apparent Metabolisable Energy and Ileal Amino Acid Digestibility of Full Fat Soybean for Broilers. *Animal Feed Science and Technology* 197: 233–240.
- Reeds, P.J.; Wahle, J.; Haggarty, P. 1982. Energy Costs of Protein and Fatty Acid Synthesis. *Proceedings of Nutrition Society* 41: 155–159.
- Reid, J.T.; Otilie, D.; White, C.D.; Anrique, R.; Fortin, A. 1980. Nutritional Energetics of Livestock : Some present boundaries of knowledge and future researchneeds. *Journal of Animal Science* 51: 1393–1415.
- Rivera-Torres, V.; Noblet, J.; Dubois, S.; Van Milgen, J. 2011. Dynamics of Energy Utilization in Male and Female Turkeys during Growth. *Animal* 5 (2): 202–10.

- Rochell, S.J.; Kerr, B.J.; Dozier, W.A. 2011. Energy Determination of Corn Co-Products Fed to Broiler Chicks from 15 to 24 Days of Age, and Use of Composition Analysis to Predict Nitrogen-Corrected Apparent Metabolizable Energy. *Poultry Science*.
- Rojas, S.W.; Arana, C.M. 1981. Metabolizable Energy Values of Anchovy Fish Meal and Oil for Chicks. *Poultry Science* 60 (10): 2274–77.
- Rostagno, H.; Teixeira, L.; Hannas, M.; Lopes, J.; Sakomura, N.; Perazzo, F.; Saraiva, A. 2017. *Tablas Brasileñas Para Aves y Cerdos: Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales*. Universidad Federal de Viçosa. Vol. 4.
- Sakomura, N.K.; Silva, R.; Couto, H.P.; Coon, C.; Pacheco, C.R. 2003. Modeling Metabolizable Energy Utilization in Broiler Breeder Pullets. *Poultry Science* 82 (3): 419–27.
- Sakomura, N.K.; Longo, F.A.; Oviedo-Rondon, E.O.; Boa-Viagem, C.; Ferraudo, A. 2005. Modeling Energy Utilization and Growth Parameter Description for Broiler Chickens. *Poultry Science* 84 (9): 1363–69.
- Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S. 2007. *Métodos de Pesquisa Em Nutrição de Monogástricos*. FUNEP - Universidade Federal de Vicoso - Minas Gerais. Brasil, 283.
- Saleh, E.A.; Watkins, S.E.; Waldroup, A.L.; Waldroup, P.W. 2004. Effects of Dietary Nutrient Density on Performance and Carcass Quality of Male Broilers Grown for Further Processing. *International Journal of Poultry Science* 3 (1): 1–10.
- Sales, J. 2009. Accuracy of the Use of Energy Conversion Factors for Compound Fish Diets. *Archives of Animal Nutrition* 63 (6): 491–509.
- Sales, J.; Janssens, G.P.J. 2003. The Use of Markers to Determine Energy Metabolizability and Nutrient Digestibility in Avian Species. *World's Poultry Science Journal* 59 (03): 314–27.
- Sauvant, D.; Perez, J.; Tran, G. 2004. *Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials*. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands and INRA, Paris. France.
- Sibbald, I.R.; Slinger, S.J. 1962. The Metabolizable Energy of Materials Fed to Growing Chicks. *Research Notes. Poultry Science* Vol 41 (5): 1612–1613.

- Sibbald, I.R.; Slinger, S.J. 1963. A Biological Assay for Metabolizable Energy in Poultry Feed Ingredients Together with Findings Which Demonstrate Some of the Problems Associated with the Evaluation of Fats. *Poultry Science* 42 (2): 313–25.
- Shannon, D.W.F.; Brown, W.O. 1969. Losses of Energy and Nitrogen on Drying Poultry Excreta. *Poultry Science*, Volume 48, Issue 1, January, Pages 41–43.
- Sibbald, I.R. 1975. The Effect of Level of Feed Intake on Metabolizable Energy Values Measured with Adult Roosters. *Poultry Science* 6 (54): 1990–97.
- Sibbald, I.R. 1982. Measurement of Bioavailable Energy in Poultry Feedingstuffs: A Review. *Canadian Journal Of Animal Science* 62 (4): 983–1048.
- Shatnawi, K. 2014. Investigation of Energy Partitioning in Modern Broiler Chickens. Thesis Degree of Doctor of Philosophy in Poultry Nutrition. Massey University, New Zealand.
- Squibb, R.L. 1971. Estimating the Metabolizable Energy of Foodstuffs with an Avian Model. *The Journal of Nutrition* 101 (9): 1211–1215.
- Swick, R. 2013. Methodology to Determine Net Energy in Broilers. *Journal of Animal Science*. E82: 245-254.
- Swick, R.A.; Wu, S.B.; Zuo, J.; Rodgers, N.; Barekatin, M.R.; Mingan, C. 2013. Implications and Development of a Net Energy System for Broilers. *Animal Production Science* 53 (11): 1231–37.
- Swick, R.A.; Wu, S.; Rodgers, N.; Choct, M. 2014. Energy Systems for Broilers - Recent Development and Relevance for Feed Formulation. Conference Paper. Queenstown, New Zealand.
- Tancharoenrat, P.; Ravindran, V.; Zaefarian, F.; Ravindran, G. 2013. Influence of Age on the Apparent Metabolisable Energy and Total Tract Apparent Fat Digestibility of Different Fat Sources for Broiler Chickens. *Animal Feed Science and Technology* 186 (3–4): 186–92.
- Tůmová, E.; Chodová, D. 2018. Performance and Changes in Body Composition of Broiler Chickens Depending on Feeding Regime and Sex. *Czech Journal of Animal Science* 63 (12): 518–25.

- Van Der Klis, J.D.; Fledderus, J. 2007. Evaluation of Raw Materials for Poultry: What's up ?. Eur. Symp. Poult. Nutr., no. May: 123–30.
- Van Milgen, J.; Labussière, E.; Noblet, J.; De Lange, C.F.M. 2018a. Bioavailability of the Dietary Energy Component. Feed Evaluation Science. Edited by The Netherlands Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.
- Van Milgen, J.; Noblet, J.; Labussière, E. 2018b. Energy in Practical Formulation – New Research, Industry Trends and Direction and Research Gaps. Journal of Animal Science 96 (suppl_2).
- Vieira, S.L.; Stefanello, C.; Cemin, H.S. 2016. Lowering the Dietary Protein Levels by the Use of Synthetic Amino Acids and the Use of a Mono Component Protease. Animal Feed Science and Technology 221: 262–66.
- Wiseman, J.; Powles, J.; Salvador, F. 1998. Comparison between Pigs and Poultry in the Prediction of the Dietary Energy Value of Fats. Animal Feed Science and Technology 71 (1–2): 1–9.
- Wolynetz, M.S.; Sibbald, I.R. 1986. Metabolism and Nutrition Need for Comparative Slaughter Experiments in Poultry Research. Poultry Science. 66: 1961-1972.
- Wu, S.B.; Swick, R.A.; Noblet, J.; Rodgers, N.; Cadogan, D.; Mingan, C. 2018. Net Energy Prediction and Energy Efficiency of Feed for Broiler Chickens. Poultry Science 98 (3): 1222–34.
- Yadalam, S. 2001. Modeling Broiler Energy and Protein Metabolism. Thesis Doctor of Philosophy. Oklahoma State University, USA.
- Yaghobfar, A. 2016. The Efficiency of AMEn and TMEn Utilization for NE in Broiler Diets. Brazilian Journal of Poultry Science, no. 1994.
- Yegani, M.; Korver, D.R. 2008. Factors Affecting Intestinal Health in Poultry. Poultry Science 87 (10): 2052–63.
- Young, R.J. 1961. The Energy Value of Fats and Fatty Acids for Chicks: I. Metabolizable Energy. Poultry Science 40 (5): 1225–33.

Yu, M.W.; Robinson, F.E.; Clandinin, M.T.; Bodnar, L. 1990. Growth and Body Composition of Broiler Chickens in Response to Different Regimens of Feed Restriction. *Poultry Science* 69 (12): 2074–81.

Zablan, T.A.; Griffith, M.; Nesheim, M.C.; Young, R.J.; Scott, M.L. 1963. Metabolizable Energy of Some Oil Seed Meals and Some Unusual Feedstuffs. *Poultry Science* 42 (3): 619–25.

Zelenka, J. 1997. Effects of Sex, Age and Food Intake upon Metabolisable Energy Values in Broiler Chickens. *British Poultry Science* 38 (3): 281–84.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Registro de pesos promedios de los animales: estudio I

Dieta	Repetición	BB, g	Inicio 7 días, g	Final 21 días, g	Diferencia, g
Basal 100%	R1	42.83	151.20	813.40	662.20
Basal 100%	R2	40.00	165.20	846.40	681.20
Basal 85%	R1	43.33	164.40	693.00	528.60
Basal 85%	R2	40.60	159.40	696.20	536.80
Basal 70%	R1	41.17	166.40	574.20	407.80
Basal 70%	R2	42.17	163.00	552.00	389.00
B + maíz 100%	R1	40.50	157.40	797.60	640.20
B + maíz 100%	R2	41.00	168.80	788.40	619.60
B + maíz 85%	R1	41.60	171.00	681.60	510.60
B + maíz 85%	R2	42.00	162.40	662.20	499.80
B + maíz 70%	R1	42.50	166.40	558.80	392.40
B + maíz 70%	R2	40.80	166.40	568.60	402.20
B + subproducto de trigo 100%	R1	42.00	163.60	796.20	632.60
B + subproducto de trigo 100%	R2	42.40	178.20	790.50	612.30
B + subproducto de trigo 85%	R1	41.80	164.60	648.75	484.15
B + subproducto de trigo 85%	R2	41.80	167.40	643.20	475.80
B + subproducto de trigo 70%	R1	42.17	170.20	548.20	378.00
B + subproducto de trigo 70%	R2	40.50	154.40	550.40	396.00
B + harina de soya 100%	R1	42.60	163.40	876.00	712.60
B + harina de soya 100%	R2	41.60	158.40	877.60	719.20
B + harina de soya 85%	R1	42.33	162.60	739.80	577.20
B + harina de soya 85%	R2	40.17	158.20	721.00	562.80
B + harina de soya 70%	R1	43.33	167.20	606.40	439.20
B + torta de soya 70%	R2	40.83	163.00	595.40	432.40
B + harina de pescado 100%	R1	41.40	161.60	963.80	802.20
B + harina de pescado 100%	R2	43.40	149.60	957.60	808.00
B + harina de pescado 85%	R1	42.50	168.40	798.40	630.00
B + harina de pescado 85%	R2	39.00	179.20	810.80	631.60
B + harina de pescado 70%	R1	41.33	173.60	600.00	426.40
B + harina de pescado 70%	R2	41.20	159.80	602.60	442.80
B + aceite de soya 100%	R1	42.83	168.60	969.40	800.80
B + aceite de soya 100%	R2	41.40	164.00	966.00	802.00
B + aceite de soya 85%	R1	41.00	149.20	756.60	607.40
B + aceite de soya 85%	R2	43.40	156.20	746.40	590.20
B + aceite de soya 70%	R1	42.17	168.80	635.40	466.60
B + aceite de soya 70%	R2	42.00	172.60	642.40	469.80

Anexo 2. Registro de pesos promedios de los animales: estudio II

Dieta	Repetición	BB, g	Inicio 7 días, g	Final 21 días, g	Diferencia, g
Basal 100%	R1	40.00	162.60	875.60	713.00
Basal 100%	R2	39.67	164.40	931.60	767.20
Basal 85%	R1	39.00	169.40	793.40	624.00
Basal 85%	R2	40.00	140.20	779.40	639.20
Basal 70%	R1	41.67	169.60	664.00	494.40
Basal 70%	R2	42.00	162.60	662.50	499.90
B + maíz 100%	R1	42.00	175.80	780.00	604.20
B + maíz 100%	R2	41.33	177.80	813.60	635.80
B + maíz 85%	R1	41.00	171.00	730.40	559.40
B + maíz 85%	R2	39.67	167.40	652.80	485.40
B + maíz 70%	R1	39.67	162.00	610.40	448.40
B + maíz 70%	R2	40.67	154.80	607.80	453.00
B + subproducto de trigo 100%	R1	40.67	155.80	729.00	573.20
B + subproducto de trigo 100%	R2	42.33	168.60	716.80	548.20
B + subproducto de trigo 85%	R1	44.33	168.00	606.00	438.00
B + subproducto de trigo 85%	R2	43.00	158.40	590.50	432.10
B + subproducto de trigo 70%	R1	42.00	168.60	530.00	361.40
B + subproducto de trigo 70%	R2	41.67	151.80	499.30	347.50
B + harina de soya 100%	R1	41.67	174.40	903.20	728.80
B + harina de soya 100%	R2	42.67	170.00	866.80	696.80
B + harina de soya 85%	R1	42.00	147.80	724.00	576.20
B + harina de soya 85%	R2	41.33	151.00	757.00	606.00
B + harina de soya 70%	R1	40.67	170.20	600.00	429.80
B + harina de soya 70%	R2	42.00	156.60	614.00	457.40
B + harina de pescado 100%	R1	40.00	170.20	966.60	796.40
B + harina de pescado 100%	R2	42.00	162.60	959.20	796.60
B + harina de pescado 85%	R1	42.00	150.60	786.20	635.60
B + harina de pescado 85%	R2	41.33	134.60	789.00	654.40
B + harina de pescado 70%	R1	43.33	174.60	591.20	416.60
B + harina de pescado 70%	R2	43.33	168.00	597.20	429.20
B + aceite de soya 100%	R1	42.00	161.20	954.60	793.40
B + aceite de soya 100%	R2	42.67	178.20	957.60	779.40
B + aceite de soya 85%	R1	40.00	181.00	802.20	621.20
B + aceite de soya 85%	R2	43.33	159.60	765.80	606.20
B + aceite de soya 70%	R1	39.00	171.00	661.00	490.00
B + aceite de soya 70%	R2	40.33	158.00	682.40	524.40

Anexo 3. Variación del peso, consumo, ganancia, energía retenida por tipo de dieta y nivel de restricción alimenticia: estudio I.

Suministro	Detalle/Dieta	Basal	B + M	B + SPT	B + HS	B + HP	B + AS
AT-LIB	PV 21 días, kg	0.8134	0.798	0.796	0.876	0.964	0.969
	PV 7 días, kg	0.158	0.163	0.171	0.161	0.156	0.166
	PV promedio, kg	0.486	0.480	0.484	0.518	0.560	0.568
	Ganancia, g/día	46.80	45.32	44.66	51.08	57.73	57.36
	Consumo, g/día	48.63	57.62	59.41	55.03	51.70	55.56
	Consumo EM, kcal/día	174.47	210.48	184.58	171.40	183.85	234.63
	ER, kcal/día	83.44	95.64	77.93	77.22	77.31	120.35
	W ^{0.75}	0.582	0.577	0.580	0.611	0.647	0.654
	Consumo EM/W ^{0.75}	299.83	364.79	318.32	280.53	284.12	358.68
	ER/W ^{0.75}	143.4	165.8	134.4	126.4	119.5	184.0
85% AL	PV 21 días, kg	0.693	0.682	0.649	0.740	0.798	0.757
	PV 7 días, kg	0.162	0.167	0.166	0.160	0.174	0.153
	PV promedio, kg	0.427	0.424	0.407	0.450	0.486	0.455
	Ganancia, g/día	37.94	36.78	34.48	41.39	44.61	43.14
	Consumo, g/día	40.29	47.23	49.17	45.25	41.23	46.54
	Consumo EM, kcal/día	145	173	153	141	147	197
	ER, kcal/día	56.05	71.38	53.32	54.96	61.24	92.87
	W ^{0.75}	0.53	0.53	0.51	0.55	0.58	0.55
	Consumo EM/W ^{0.75}	273	328	300	256	252	355
	ER/W ^{0.75}	106	136	105	100	105	168
70% AL	PV 21 días, kg	0.574	0.559	0.548	0.606	0.600	0.635
	PV 7 días, kg	0.165	0.166	0.162	0.165	0.167	0.171
	PV promedio, kg	0.369	0.363	0.355	0.386	0.383	0.403
	Ganancia, g/día	29.25	28.03	27.56	31.52	30.95	33.19
	Consumo, g/día	30.62	37.04	38.87	35.19	32.48	35.45
	Consumo EM, kcal/día	110	135	121	110	116	150
	ER, kcal/día	43.99	53.37	42.61	41.80	42.51	66.91
	W ^{0.75}	0.47	0.47	0.46	0.49	0.49	0.51
	Consumo EM/W ^{0.75}	232	290	262	224	237	296
	ER/W ^{0.75}	93	114	93	85	87	132

M: maíz; SPT: Subproducto de trigo; HS: Harina de soya; HP: Harina de pescado; AS: Aceite de soya; PV: peso vivo; EM: energía metabolizable; ER: energía retenida; W^{0.75}: unidad metabólica.

Anexo 4. Peso corporal, ganancia de proteína y grasa (gramos/pollo).

Detalle	Nivel	Peso inicial, g	Peso final, g	Ganancia proteína, g MS	Ganancia grasa, g MS
Basal (B)	AT-LIB	158.2	813.4	114.4	55.7
	85%	161.9	693.0	99.7	22.2
	70%	164.7	574.2	79.7	13.9
B + Maíz	AT-LIB	163.1	797.6	133.3	62.4
	85%	166.7	681.6	96.4	38.3
	70%	166.4	558.8	72.7	23.1
B + Subproducto de trigo	AT-LIB	170.9	796.20	117.6	44.0
	85%	166.0	648.8	85.7	31.4
	70%	162.3	548.2	76.2	13.2
B + Harina de soya	AT-LIB	160.9	876.0	131.8	35.9
	85%	160.4	739.8	108.3	18.7
	70%	165.1	606.4	84.6	11.8
B + Harina de pescado	AT-LIB	155.6	963.8	137.1	32.7
	85%	173.8	798.4	122.6	14.1
	70%	166.7	600.0	93.1	6.3
B + Aceite de soya	AT-LIB	166.3	969.4	166.8	79.3
	85%	152.7	756.6	110.4	52.6
	70%	170.7	635.4	99.5	23.7

Anexo 5. Consumo de energía metabolizable (kcal/W^{0.75})

Dieta	Consumo, kcal
	EM/W^{0.75}
Basal	299.83
B + maíz	364.79
B + subproducto de trigo	318.32
B + harina de soya	280.53
B + harina pescado	284.12
B + aceite de soya	358.68
Basal	306.83
B + maíz	368.51
B + subproducto de trigo	314.82
B + harina de soya	298.93
B + harina de pescado	284.83
B + aceite de soya	350.10

Anexo 6. Análisis químico, energía bruta y energía metabolizable determinada de los ingredientes empleados en el estudio (base seca).

Detalle	Subproducto Harina de Harina de Aceite				
	Maíz	de trigo	soya	pescado	(soya)
Humedad, %	10.31	13.98	11.28	13.37	3.21
Proteína, %	11.38	19.61	49.80	73.23	-
Grasa, %	2.98	4.35	1.92	8.05	100.00
ELN, %	80.96	60.28	36.72	-	-
Fibra Cruda, %	2.32	10.53	4.51	-	-
Ceniza, %	2.36	5.23	7.06	18.72	-
EB, kcal/kg	4464	4604	4675	4895	9396
EM, kcal/kg	3734	2197	2477	3289	8767

Donde ELN: Extracto libre de nitrógeno; EB: energía bruta.

Anexo 7. Análisis químico, energía bruta y energía metabolizable determinada de las dietas (base seca).

Tipo de dieta	Método	H° %	PC %	EE %	FC %	FDN* %	Ceniza %	ELN %	EB kcal/kg	EM kcal/kg
Basal (B)	NIRS	11.22	23.39	4.75	2.87	-	-	62.25		
	AQP	11.38	23.57	3.45	2.73	11.55	6.74	63.51	4444	3588
B + maíz	NIRS	11.51	18.28	4.43	2.39	-	-	70.03		
	AQP	11.70	17.70	2.77	2.39	10.17	4.87	72.27	4356	3653
B + SP de trigo	NIRS	11.63	20.73	4.80	4.71	-	-	63.53		
	AQP	11.51	19.91	3.99	5.50	23.75	6.26	64.33	4491	3107
B + harina de soya	NIRS	11.23	29.81	4.12	3.61	-	-	55.45		
	AQP	11.14	31.67	3.17	3.42	10.42	7.01	54.73	4437	3115
B + harina de pescado	NIRS	10.86	37.08	5.16	4.47	-	-	44.66		
	AQP	10.28	38.33	5.49	2.04	16.19	10.23	43.90	4451	3556
B + aceite de soya	NIRS	10.33	21.59	13.74	3.39	-	-	55.27		
	AQP	10.23	21.13	11.61	2.65	11.16	6.03	58.58	4928	4223
Promedio	NIRS	11.13	25.15	6.17	3.57	-	-	58.35		
	AQP	11.04	25.39	5.08	3.12	13.88	6.85	59.55	4518	
	% error		2.03	5.90	6.17	-	-	2.40		

Donde H°: Humedad; ELN: Extracto libre de nitrógeno; EB: energía bruta (bomba calorimétrica). * FDN: fibra detergente neutro, método de Van Soest; AQP: Análisis químico proximal; SP: Subproducto.

Anexo 8. Energía bruta de las dietas, kcal/kg MS.

Dieta	EB, kcal/kg MS
Basal	4475.10
Basal	4412.53
B + maíz	4316.53
B + maíz	4394.80
B + subproducto de trigo	4505.25
B + subproducto de trigo	4476.51
B + harina de soya	4383.41
B + harina de soya	4489.95
B + harina de pescado	4341.51
B + harina de pescado	4561.26
B + aceite de soya	4931.74
B + aceite de soya	4923.74

Anexo 9. Energía metabolizable de las dietas, kcal/kg MS

Dieta	EM, kcal/kg MS
Basal	3642.57
Basal	3533.13
B + maíz	3627.20
B + maíz	3678.67
B + subproducto de trigo	3207.40
B + subproducto de trigo	3006.00
B + harina de soya	3174.42
B + harina de soya	3054.96
B + harina de pescado	3546.01
B + harina de pescado	3566.33
B + aceite de soya	4240.77
B + aceite de soya	4204.71

Anexo 10. Energía metabolizable de los ingredientes, kcal/kg MS

Insumo	EM, kcal/kg MS
Maíz	3604
Maíz	3897
Maíz	3574
Maíz	3862
Subproducto de trigo	2114
Subproducto de trigo	2068
Subproducto de trigo	2313
Subproducto de trigo	2294
Torta de soya	2558
Torta de soya	2434
Torta de soya	2583
Torta de soya	2334
Harina de pescado	3254
Harina de pescado	3194
Harina de pescado	3375
Harina de pescado	3335
Aceite de soya	8491
Aceite de soya	8567
Aceite de soya	8995
Aceite de soya	9015

Anexo 11. Energía metabolizable de los ingredientes y su metabolibilidad

Detalle	Maíz	Subproducto de trigo	Harina de soya	Harina de pescado	Aceite de soya	E.E.	Valor P
Valores de energía (kcal/kg de MS)							
Energía bruta	4464a	4604b	4675c	4895d	9396e	11.13	<0.01
Energía metabolizable	3734c	2197a	2477a	3289b	8767d	83.82	<0.01
Eficiencia de uso de la energía, %							
Metabolibilidad, %	83.66c	47.73a	52.99a	67.20b	93.31d	1.40	<0.01

Anexo 12. Energía neta de las dietas, kcal/kg MS.

Dieta	EN, kcal/kg MS	k
Basal	2531.59	0.71
Basal	2634.20	0.73
B + maíz	2499.70	0.68
B + maíz	2620.98	0.72
B + subproducto de trigo	2136.79	0.69
B + subproducto de trigo	2244.59	0.72
B + harina de soya	2208.31	0.71
B + harina de soya	2257.84	0.72
B + harina de pescado	2296.22	0.65
B + harina de pescado	2421.75	0.68
B + aceite de soya	3066.13	0.73
B + aceite de soya	3093.16	0.73

Anexo 13. Energía neta de los ingredientes, kcal/kg MS.

Insumo	EN, kcal/kg MS
Maíz	2451.88
Maíz	2601.15
Subproducto de trigo	1544.21
Subproducto de trigo	1651.72
Harina de soya	1454.01
Harina de soya	1379.66
Harina de pescado	1747.03
Harina de pescado	1926.04
Aceite de soya	7877.02
Aceite de soya	7223.76

Anexo 14. Composición nutricional de las dietas experimentales, % (base como se da)

Detalle	Basal	B + maíz	B + SPT	B + HS	B + HP	B + aceite
Materia seca	88.62	88.30	88.49	88.86	89.72	89.77
Proteína calculada	20.49	16.05	18.53	27.82	34.12	18.80
Proteína determinada	20.77	15.63	17.62	26.46	33.05	19.36
Extracto Etéreo	3.06	2.45	3.53	2.82	4.93	10.42
Fibra Cruda	2.42	2.11	4.87	3.04	1.83	2.38
ELN	56.28	63.81	56.93	48.63	39.39	52.59
Ceniza	5.97	4.30	5.54	6.23	9.18	5.41
EM, Mcal/kg	3.070	3.182	2.562	2.82	3.067	3.613
Lisina	1.26	0.85	1.02	1.69	2.37	1.13
Arginina	1.36	1.02	1.25	1.89	2.07	1.22
Metionina	0.61	0.45	0.45	0.61	1.01	0.55
Metionina + Cistina	0.94	0.70	0.76	1.04	1.42	0.85
Triptófano	0.25	0.19	0.23	0.40	0.40	0.23
Treonina	0.82	0.65	0.68	1.09	1.39	0.74
Glisina - Serina	1.80	1.39	1.60	2.52	3.05	1.62
Histidina	0.55	0.41	0.47	0.74	0.85	0.50
Isoleucina	0.86	0.66	0.73	1.19	1.52	0.77
Leucina	1.72	1.47	1.43	2.22	2.67	1.55
Fenilalanina	1.02	0.80	0.85	1.36	1.53	0.92
Fenil + Tirosina	2.02	1.58	1.62	2.64	2.90	1.82
Valina	0.96	0.78	0.84	1.29	1.70	0.86

SPT: Subproducto de trigo; B: basal; HS: harina de soya; HP: harina de pescado.

Anexo 15. Energía retenida de proteína y grasa en pollos, (MS).

Dieta	Proteína, kcal/día	Grasa, kcal/día	ER, kcal/día
Basal	46.12	37.79	83.92
Basal	45.98	36.26	82.24
B + maíz	49.53	40.37	89.90
B + Maíz	58.16	42.95	101.12
B + Subproducto de trigo	45.14	29.80	74.94
B + Subproducto de trigo	50.23	29.14	79.38
B + Harina de soya	53.89	23.66	77.55
B + Harina de soya	52.65	24.23	76.88
B + Harina de pescado	55.29	20.98	76.26
B + Harina de pescado	55.29	22.56	77.84
B + Aceite de soya	64.94	53.45	118.38
B + Aceite de soya	69.41	52.06	121.47

Anexo 16. Valores energéticos de diferentes ingredientes empleados en la formulación de dietas para pollos.

Ingrediente	Valores de energía, kcal/kg			Método cálculo	Autor
	EB	MS	EN		
Maíz grano, 10% PC	-	3764	-		NRC (1994)
Maíz grano, 8% PC	3881	3277	2640	Estimado (k)	Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Maíz grano, 10% PC	4251	3741	3014	Estimado (k)	Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Maíz grano, 9% PC	-	3621	-		Sauvant <i>et al.</i> (2004)
Maíz grano, 9% PC	-	3430	2541	Estimado (k)	De Groote (1974)
Maíz grano, 8.5% PC	-	3262	-		Gous (2010)
Maíz grano, 9.9% PC	-	3785	2982	CI	Liu <i>et al.</i> (2016)
Maíz grano, 10.2% PC	-	3775	3006	CI	Liu <i>et al.</i> (2016)
Maíz grano, 10.2% PC	-	3738	2959	CI	Liu <i>et al.</i> (2016)
Maíz grano, 15% PC	-	3997	3146	CI	Liu <i>et al.</i> (2016)
Maíz grano, 7.9% PC	-	3340	-		Leeson y Summer (2001)
Maíz grano, 9.5% PC	4829	4226	-		Alvarenga <i>et al.</i> (2011)
Maíz grano, 12% PC	5409	4420	-		Alvarenga <i>et al.</i> (2011)
Maíz grano, 10.1% PC	-	3943	-		Hill <i>et al.</i> (1960)
Maíz grano, 10.4% PC	-	4361	-		Hill <i>et al.</i> (1960)
Maíz grano, 10.2% PC	-	3987	-		Hill <i>et al.</i> (1960)
Maíz grano, 9.9% PC	-	4009	-		Hill <i>et al.</i> (1960)
Maíz grano, 12.1% PC	-	3877	-		Hill <i>et al.</i> (1960)
Maíz grano, 9.3% PC	3980	3500	-		Carpenter y Clegg (1956)
Maíz grano	-	3644	-		Chami <i>et al.</i> (1980)
Maíz grano	-	3110	-		Potter y Matterson (1960)

Maíz grano	-	3833	-		Sibbald y Slinger (1962)
Maíz grano	-	3789	-		Sibbald y Slinger (1962)
Maíz grano, 9.6% PC	4437	3410	-		Rajaguru y Ravindra (1985)
Maíz grano	-	3530	-		Masood <i>et al.</i> (2011)
Maíz grano	-	3558	2507	Regresión lineal	Pirgozliev y Rose (1999)
Maíz grano	-	3298	2823	Regresión lineal	Swick <i>et al.</i> (2014)
Harina de pescado, 70% PC		2804	-		NRC (1994)
Harina de pescado, 64% PC	4564	3022	2351	Estimado (k)	Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Harina de pescado, 60% PC	4406	3109	2501	Estimado (k)	Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Harina de pescado, 75% PC	-	4035	-		Sauvant <i>et al.</i> (2004)
Harina de pescado, 71% PC	-	3721	-		Sauvant <i>et al.</i> (2004)
Harina de pescado, 66% PC	-	3483	-		Sauvant <i>et al.</i> (2004)
Harina de pescado, 65% PC	-	3100	2013	Estimado (k)	De Groote (1974)
Harina de pescado, 65.5% PC	-	3124	-		Gous (2010)
Harina de pescado, 60% PC	-	2950	-		Leeson y Summers (2001)
Harina de pescado	-	3059	1859	MB	Cerrate y Coon (2010)
Harina de pescado	-	3710	-		Petersen <i>et al.</i> (1976)
Harina de pescado, 64% PC	-	2996	-		Potter y Matterson (1960)
Harina de pescado, 62% PC	-	2445	-		Potter y Matterson (1960)
Harina de pescado, 60% PC	-	2797	-		Sibbald y Slinger (1962)
Harina de pescado, 57% PC	-	2841	-		Sibbald y Slinger (1962)
Harina de pescado, 40.1% PC	4499	2858	-		Rajaguru y Ravindra (1985)
Harina de pescado, 72.9% PC	5594	3400			Rojas y Arana (1981)
Harina de pescado	-	3200	2030	Regresión lineal	Pirgozliev y Rose (1999)
Harina de soya, 44 - 50% PC	-	2731	-		Sibbald y Slinger (1962)
Harina de soya, 50% PC	4598	2406	1849	Estimado (k)	Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Harina de soya, 49% PC	-	2506	-		NRC (1994)
Harina de soya, 49% PC	-	2543	-		Sauvant <i>et al.</i> (2004)
Harina de soya, 48% PC	-	-	1848	CI	Choct (2004)
Harina de soya, 44% PC	-	2240	1439	Estimado (k)	De Groote (1974)
Harina de soya, 50% PC	-	2470	1563	Estimado (k)	De Groote (1974)
Harina de soya, 46% PC	-	2087	-		Gous (2010)
Harina de soya, 47.5% PC	-	2492	1581	CI	Liu <i>et al.</i> (2016)
Harina de soya, 51.9% PC	-	2580	1654	CI	Liu <i>et al.</i> (2016)
Harina de soya, 47% PC	-	2540	-		Leeson y Summers (2001)
Harina de soya, 53.8% PC	4946	2654	-		Alvarenga <i>et al.</i> (2011)
Harina de soya, 55.9% PC	4987	2670	-		Alvarenga <i>et al.</i> (2011)
Harina de soya, 53.2% PC	4868	2687	-		Alvarenga <i>et al.</i> (2011)
Harina de soya, 54% PC	4868	2792	-		Alvarenga <i>et al.</i> (2011)
Harina de soya, 53.4% PC	4728	2651	-		Losada <i>et al.</i> (2010)
Harina de soya, 49.1% PC	4704	2460	-		Losada <i>et al.</i> (2010)
Harina de soya, 46% PC	-	2247	-		Hill y Renner (1960)
Harina de soya, 51.1% PC	-	2533	-		Hill y Renner (1960)
Harina de soya	-	2400	-		Chami <i>et al.</i> (1980)
Harina de soya	-	1650	-		Petersen <i>et al.</i> (1976)
Harina de soya, 44% PC	-	2247	-		Potter y Matterson (1960)
Harina de soya, 50% PC	-	2511	-		Potter y Matterson (1960)
Harina de soya	-	2570	-		Masood <i>et al.</i> (2011)
Harina de soya	-	2555	1242	Regresión lineal	Pirgozliev y Rose (1999)
Harina de soya	-	2269	1409	Regresión lineal	Pirgozliev y Rose (1999)

Harina de soya	-	2398	1373	Regresión lineal	Swick <i>et al.</i> (2014)
Harina de soya	-	2302	1394	MB	Cerrate y Coon (2010)
Subproducto de trigo, 17% PC	-	2273	-		NRC (1994)
Subproducto de trigo, 17% PC	4432	2045	1635	Estimado (k)	Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Subproducto de trigo, 17% PC	-	1852	-		Sauvant <i>et al.</i> (2004)
Subproducto de trigo, 15% PC	-	1300	926	Estimado (k)	De Groote (1974)
Subproducto de trigo, 15.5% PC	-	1459	-		Gous (2010)
Subproducto de trigo, 15.8% PC	-	1540	-		Leeson y Summers (2001)
Subproducto de trigo	-	1440	-		Petersen <i>et al.</i> (1976)
Subproducto de trigo	-	1564	-		Sibbald y Slinger (1962)
Aceite de soya	-	8333	-		NRC (1994)
Aceite de soya	9416	8835	7952	Estimado (k)	Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Aceite de soya	9370	8825	7943	Estimado (k)	Rostagno <i>et al.</i> (2017)
Aceite de soya	-	9000	8100	Estimado (k)	De Groote (1974)
Aceite de soya	-	8800	7797	MB	Cerrate y Coon (2010)
Aceite de soya	9553	8536	6462	TSC	De Groote (1971)
Aceite de soya	-	7427	-		Wiseman <i>et al.</i> (1998)
Aceite de soya	-	9260	-		Young (1961)
Aceite de soya	-	7601	-		Tanchaorenrat <i>et al.</i> (2013)
Aceite de soya	-	8401	-		Abdulla <i>et al.</i> (2016)

PC: proteína cruda; EB: energía bruta; EMn: energía metabolizable corregida por nitrógeno; EN: energía neta. MB: método bioquímico; CI: calorimetría indirecta; TSC: técnica de sacrificio comparativo. Estimado (k): calculado a partir EM x coeficiente de eficiencia, proteína digestible 76%, ENN 80%, EE 90%.

Anexo 17. Composición corporal de los pollos.

Detalle	Nivel	% humedad	% proteína	% grasa	% ceniza	H: proteína	Proteína: grasa	H°: grasa
Basal	AT-LIB	71.61	16.87	7.63	3.01	4.24	2.21	9.39
	85%	74.50	17.83	6.85	2.99	4.18	2.60	10.88
	70%	74.26	18.11	6.91	2.12	4.10	2.62	10.74
	Promedio	73.46 ^a	17.60	7.13 ^c	2.71 ^{cd}	4.17	2.48 ^{abc}	10.34 ^a
B + M	AT-LIB	66.03	19.71	9.12	3.91	3.35	2.16	7.24
	85%	69.64	17.75	8.16	3.17	3.92	2.18	8.54
	70%	70.00	17.40	8.06	3.46	4.02	2.16	8.69
	Promedio	68.56 ^b	18.29	8.45 ^a	3.51 ^b ^c	3.76	2.17 ^c	8.16 ^b
B + SPT	AT-LIB	72.04	17.98	7.51	3.78	4.01	2.39	9.59
	85%	73.04	16.99	7.24	3.70	4.30	2.35	10.08
	70%	73.89	18.26	7.01	3.88	4.05	2.60	10.54
	Promedio	72.99 ^a	17.74	7.25 ^b ^c	3.79 ^b	4.12	2.45 ^{abc}	10.07 ^a
B + HS	AT-LIB	74.53	17.75	6.84	2.81	4.20	2.59	10.89
	85%	75.38	17.84	6.61	2.79	4.22	2.70	11.40
	70%	75.40	17.97	6.61	2.03	4.20	2.72	11.41
	Promedio	75.10 ^a	17.85	6.69 ^c	2.54 ^d	4.21	2.67 ^{ab}	11.23 ^a
B + HP	AT-LIB	75.76	16.57	6.51	3.86	4.57	2.54	11.64
	85%	75.57	18.57	6.56	3.72	4.07	2.83	11.52
	70%	74.87	19.61	6.75	3.95	3.82	2.91	11.09
	Promedio	75.40 ^a	18.25	6.61 ^c	3.84 ^b	4.15	2.76 ^a	11.42 ^a
B + AS	AT-LIB	66.50	19.67	9.00	4.81	3.38	2.19	7.39
	85%	69.16	17.57	8.28	4.75	3.94	2.12	8.35
	70%	69.28	19.62	7.71	4.63	3.53	2.54	8.98
Promedio		68.31 ^b	18.95	8.33 ^{ab}	4.73 ^a	3.62	2.28 ^{bc}	8.24 ^b
Promedio general		72.30	18.12	7.41	3.52	4.01	2.74	9.91
Significancia		0.0001	0.6328	0.0004	<0.001	0.061	0.0074	0.0001

M: maíz; HS: harina de soya; SPT: subproducto de trigo; HP: harina de pescado; AS: aceite de soya.

Anexo 18. Análisis de correlación y regresión de la composición corporal de los pollos.

Componente	R	R ²	Modelo	Valor-P
Humedad : Proteína	-0.41	17.16	%Proteína=27.35 - 0.1277 % H°	<0.001
Humedad : Grasa	-0.99	97.76	%Grasa=26.141- 0.25908 % H°	<0.001
Humedad : Ceniza	-0.57	32.09	% Ceniza=13.95 - 0.1442 % H°	0.014
Humedad : H°/Proteína	0.80	63.74	H°/Proteína= -1.80 + 0.0803 % H°	<0.001
Humedad : H°/Grasa	0.99	98.59	%Humedad=50.618 + 2.1885 H°/Grasa	<0.001
Humedad : Proteína/Grasa	0.82	67.32	% Humedad=46.96 + 10.27 Proteína/Grasa	<0.001
Grasa : Proteína	0.37	13.30	% Grasa=1.80 + 0.310 % Proteína	0.137
Ceniza : Proteína	0.40	15.72	%Ceniza=-2.41 + 0.327 % Proteína	0.103
Ceniza : Grasa	0.53	27.79	%Ceniza=-0.27 + 0.512 % Grasa	0.025
H°/Proteína : Proteína	-0.88	76.84	H°/Proteína=9.187 - 0.2860 % Proteína	<0.001
H°/Proteína : Grasa	-0.76	57.88	H°/Proteína=6.170 - 0.2922 % Grasa	<0.001
H°/Proteína : Ceniza	-0.46	29.77	H°/Proteína=4.765 - 0.2156 % Ceniza	0.019
H°/Grasa : Humedad	0.99	98.59	H°/Grasa=-22.662 + 0.4505 % H°	<0.001
H°/Grasa : Proteína	-0.35	11.91	H°/Grasa=19.10 - 0.508 % Proteína	0.161
H°/Grasa : Grasa	-0.99	98.69	H°/Grasa=22.653 - 1.7201 % Grasa	<0.001
H°/Grasa : Ceniza	-0.54	28.77	H°/Grasa=13.27 - 0.956 % Ceniza	0.022
Proteína/Grasa : Proteína	0.17	2.91	Proteína/Grasa=1.67 + 0.0442 % Proteína	0.498
Proteína/Grasa : Grasa	-0.85	72.75	Proteína/Grasa=4.394 - 0.2600 % Grasa	<0.001
Proteína/Grasa : H°	0.82	67.32	Proteína: Grasa= -2.272+0.0655 % H°	<0.001
Proteína/Grasa : Ceniza	-0.35	12.00	Proteína/Grasa=2.850 - 0.1087 % Ceniza	0.159

H° : humedad.

Anexo 19. Análisis de los parámetros productivos

Peso inicial, 7 días, g

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
PESO INICIO, g	12	0.50	5.05

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	336.25	6	56.04	0.83	0.5913
Bloque	28.21	1	28.21	0.42	0.5458
Dieta	308.04	5	61.61	0.92	0.5374
Error	336.43	5	67.29		
Total	672.68	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=12.17393

Error: 67.2853 gl: 5

Bloque	Medias	n	E.E.	Sig.
R1	160.97	6	3.35	a
R2	164.03	6	3.35	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=34.99222

Error: 67.2853 gl: 5

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + harina de pescado 100%	155.60	2	5.80	a
Basal 100%	158.20	2	5.80	a
B + harina de soya 100%	160.90	2	5.80	a
B + maíz 100%	163.10	2	5.80	a
B + aceite 100%	166.30	2	5.80	a
B + subproducto de trigo 100%	170.90	2	5.80	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Peso final, 21 días, g

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
PESO 21 días, g	12	0.99	1.28

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	62468.31	6	10411.38	83.85	0.0001
Dieta	62459.80	5	12491.96	100.60	0.0001
Bloque	8.50	1	8.50	0.07	0.8040
Error	620.84	5	124.17		
Total	63089.15	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=31.29249

Error: 53.8093 gl: 5

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + maíz 100%	793.00	2	7.88	a
B + subproducto de trigo 100%	793.35	2	7.88	a
Basal 100%	829.90	2	7.88	a b
B + harina de soya 100%	876.80	2	7.88	b
B + harina de pescado 100%	960.70	2	7.88	c
B + aceite de soya 100%	967.70	2	7.88	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.88678

Error: 53.8093 gl: 5

Bloque	Medias	n	E.E.	Sig.
R1	869.40	6	4.55	a
R2	871.08	6	4.55	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Ganancia de peso, g

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
GANANCIA, g	12	0.99	1.59

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Modelo	65905.91	6	10984.32	86.86	0.0001
Dieta	65900.16	5	13180.03	104.22	<0.0001
Bloque	5.74	1	5.74	0.05	0.8397
Error	632.30	5	126.46		
Total	66538.21	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=49.85261

Error: 136.5693 gl: 5

<u>Dieta</u>	<u>Mediasn</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
B + subproducto de trigo 100%	622.45 2	7.95	d
B + maíz 100%	629.90 2	7.95	d c
Basal 100%	671.70 2	7.95	c b
B + harina de soya 100%	715.90 2	7.95	b
B + aceite de soya 100%	801.40 2	7.95	a
B + harina de pescado 100%	805.10 2	7.95	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=17.34392

Error: 136.5693 gl: 5

<u>BLOQUE</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
R1	707.05	6	4.59	a
R2	708.43	6	4.59	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Consumo, g

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
CONSUMO, g	12	0.73	5.96

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Modelo	49304.38	6	8217.40	2.22	0.2001
Dieta	48307.02	5	9661.40	2.61	0.1583
Bloque	997.36	1	997.36	0.27	0.6261
Error	18533.82	5	3706.76		
Total	67838.20	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=259.72201

Error: 3706.7633 gl: 5

<u>DIETA</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
Basal 100%	926.50	2	43.05	a
B + harina de pescado 100%	959.80	2	43.05	a
B + harina de soya 100%	1027.20	2	43.05	a
B + aceite de soya 100%	1030.60	2	43.05	a
B + maíz 100%	1077.90	2	43.05	a
B + subproducto de trigo 100%	1111.10	2	43.05	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=90.35833

Error: 3706.7633 gl: 5

<u>BLOQUE</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
R1	1013.07	6	24.86	a
R2	1031.30	6	24.86	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Conversión alimenticia

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
C.A.	12	0.91	6.81

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	0.51	6	0.08	8.41	0.0168
Dieta	0.51	5	0.10	10.06	0.0121
Bloque	0.0014	1	0.0014	0.14	0.7237
Error	0.05	5	0.01		
Total	0.56	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.42805

Error: 0.0101 gl: 5

DIETA	Medias	n	E.E.	Sig.
B + harina de pescado 100%	1.21	2	0.07	c
B + aceite de soya 100%	1.29	2	0.07	c b
Basal 100%	1.43	2	0.07	c b a
B + harina de soya 100%	1.44	2	0.07	c b a
B + maíz 100%	1.69	2	0.07	b a
B + subproducto de trigo 100%	1.79	2	0.07	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.14892

Error: 0.0101 gl: 5

BLOQUE	Medias	n	E.E.	Sig.
R1	1.46	6	0.04	a
R2	1.48	6	0.04	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 20. Análisis de la energía bruta en las dietas, kcal/kg MS

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
EB	12	0.92	1.70

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Modelo	423051.15	5	84610.23	14.39	0.0027
Dieta	423051.15	5	84610.23	14.39	0.0027
Error	35284.85	6	5880.81		
Total	458336.00	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=305.20024

Error: 5880.8085 gl: 6

<u>Dieta</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
B + maíz	4355.67	2	54.23	b
B + harina de soya	4436.68	2	54.23	b
Basal	4443.82	2	54.23	b
B + harina de pescado	4451.38	2	54.23	b
B + subproducto de trigo	4490.88	2	54.23	b
B + aceite	4927.74	2	54.23	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 21. Análisis de la energía metabolizable en las dietas, kcal/kg MS

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
EM, kcal/kg MS	12	0.98	2.18

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Modelo.	1700153.21	5	340030.64	57.33	0.0001
Dieta	1700153.21	5	340030.64	57.33	0.0001
Error	35586.08	6	5931.01		
Total	1735739.28	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=306.50021

Error: 5931.0127 gl: 6

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + subproducto de trigo	3106.70	2	54.46	c
B + harina de soya	3114.69	2	54.46	c
B + harina de pescado	3556.17	2	54.46	b
Basal	3587.85	2	54.46	b
B + maíz	3652.94	2	54.46	b
B + aceite de soya	4222.74	2	54.46	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de varianza de la EN de las dietas

Energía neta

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EN, kcal/kg MS	12	0.97	0.95	2.71

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1069030.12	5	213806.02	46.63	0.0001
DIETA	1069030.12	5	213806.02	46.63	0.0001
Error	27512.62	6	4585.44		
Total	1096542.74	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=269.49872

Error: 4585.4367 gl: 6

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + subproducto de trigo	2190.69	2	47.88	c
B + harina de soya	2233.08	2	47.88	c
B + harina de pescado	2358.98	2	47.88	c b
B + maíz	2560.31	2	47.88	b
Basal	2582.81	2	47.88	b
B + aceite de soya	3079.73	2	47.88	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de varianza de la Eficiencia de uso de la energía (k) de las dietas

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
k	12	0.6985	0.4473	2.7928

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	0.0054	5	0.0011	2.7804	0.1227
Dieta	0.0054	5	0.0011	2.7804	0.1227
Error	0.0023	6	0.0004		
Total	0.0077	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07846

Error: 0.0004 gl: 6

<u>Dieta</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
B + harina de pescado	0.6634	2	0.0139	a
B + maíz	0.7009	2	0.0139	a
B + subproducto de trigo	0.7052	2	0.0139	a
B + harina de soya	0.7170	2	0.0139	a
Basal	0.7199	2	0.0139	a
B + aceite de soya	0.7293	2	0.0139	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 22. Análisis de la energía metabolizable en ingredientes, kcal/kg MS

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
EM	20	1.00	4.10

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Modelo.	115299680.69	4	28824920.17	1025.70	<0.0001
Insumo	115299680.69	4	28824920.17	1025.70	<0.0001
Error	421538.29	15	28102.55		
Total	115721218.99	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=366.03664

Error: 28102.5528 gl: 15

Insumo	Medias	n	E.E.	Sig.
Subproducto de trigo	2197.28	4	83.82	d
Harina de soya	2477.33	4	83.82	d
Harina de pescado	3289.35	4	83.82	c
Maíz	3734.38	4	83.82	b
Aceite de soya	8767.00	4	83.82	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 23. Análisis de la energía neta de los ingredientes, kcal/kg MS

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
EN, kcal/kg MS	10	1.00	7.48

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	53509943.32	4	13377485.83	268.54	<0.0001
Insumo	53509943.32	4	13377485.83	268.54	<0.0001
Error	249080.53	5	49816.11		
Total	53759023.86	9			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=895.34870

Error: 49816.1063 gl: 5

Insumo	Medias	n	E.E.	Sig.
Harina de soya	1416.84	2	157.82	c
Subproducto de trigo	1597.97	2	157.82	c
Harina de pescado	1836.54	2	157.82	c b
Maíz	2526.52	2	157.82	b
Aceite de soya	7550.39	2	157.82	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 24. Análisis de la eficiencia EN:EB de los ingredientes

Análisis de la Varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
EN:EB	10	0.99	5.94

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Modelo	3440.64	4	860.16	106.38	0.0001
Insumo	3440.64	4	860.16	106.38	0.0001
Error	40.43	5	8.09		
Total	3481.07	9			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=11.40689

Error: 8.0857 gl: 5

<u>Insumo</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
Harina de soya	30.31	2	2.01	c
Subproducto de trigo	34.71	2	2.01	c
Harina de pescado	37.52	2	2.01	c
Maíz	56.60	2	2.01	b
Aceite de soya	80.36	2	2.01	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 25. Análisis de la eficiencia k (EN:EM) de los ingredientes

Análisis de la Varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
EN:EM	20	0.92	5.67

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Modelo	2478.36	4	619.59	41.61	<0.0001
Insumo	2478.36	4	619.59	41.61	<0.0001
Error	223.38	15	14.89		
Total	2701.74	19			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=8.42608

Error: 14.8918 gl: 15

<u>Insumo</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
Harina de pescado	55.88	4	1.93	c
Harina de soya	57.23	4	1.93	c
Maíz	67.68	4	1.93	b
Subproducto de trigo	73.02	4	1.93	b
Aceite de soya	86.21	4	1.93	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 26. Análisis del consumo de energía metabolizable/W^{0.75}

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
CONSUMO EM/W ^{0.75}	12	0.98	2.00

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Modelo	11645.84	5	2329.17	57.30	0.0001
Dieta	11645.84	5	2329.17	57.30	0.0001
Error	243.88	6	40.65		
Total	11889.72	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=25.37364

Error: 40.6474 gl: 6

<u>DIETA</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
B + harina de pescado	284.48	2	4.51	c
B + harina de soya	289.73	2	4.51	c
Basal	303.33	2	4.51	c b
B + subproducto de trigo	316.57	2	4.51	b
B + aceite de soya	354.39	2	4.51	a
B + maíz	366.65	2	4.51	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 27. Análisis de correlación y regresión del Consumo EM, kcal/d, ER-proteína, kcal/día.

Correlación

Correlación de Pearson 0.809

P-valor 0.000

Análisis de Regresión: ER-proteína, kcal/d versus Consumo EM, kcal/d

Análisis de Variancia

Fuente	SC	GL	CM	F-Valor	P-Valor
Regresión	1685.39	1	1685.39	64.38	0.000
Consumo EM, kcal/d	1685.39	1	1685.39	64.38	0.000
Error	890.04	34	26.18		
Total	2575.44	35			

Resumen del modelo

S R²

5.11642 65.44%

Coefficiente

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	9.97	4.14	2.41	0.022	
Consumo EM, kcal/d	0.2043	0.0255	8.02	0.000	1.00

Ecuación de regresión

ER-proteína, kcal/d = 9.97 + 0.2043 Consumo EM, kcal/d

Anexo 28. Análisis de Correlación y regresión del Consumo EM, kcal/d y ER-grasa, kcal/día

Correlación

Correlación de Pearson 0.937

P-valor 0.000

Análisis de Regresión: ER-grasa, kcal/d versus Consumo EM, kcal/d

Análisis de Variancia

Fuente	SC	GL	CM	F-Valor	P-Valor
Regresión	4462.79	1	4462.79	246.07	0.000
Consumo EM, kcal/d	4462.79	1	4462.79	246.07	0.000
Error	616.63	34	18.14		
Total	5079.41	35			

Resumen del Modelo

S	R ²
4.25865	87.86%

Coefficiente

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-32.07	3.45	-9.30	0.000	
Consumo EM, kcal/d	0.3324	0.0212	15.69	0.000	1.00

Ecuación de regresión

ER-grasa, kcal/d = -32.07 + 0.3324 Consumo EM, kcal/d

Anexo 29. Análisis de correlación y regresión del consumo EM, kcal/W^{0.75}/día y ER/W^{0.75}/día.

Correlación

Correlación de Pearson 0.935

P-valor 0.000

Análisis de regresión: ER/W^{0.75}/día versus Consumo EM, kcal/W^{0.75}/día

Análisis de Variancia

Fuente	SC	GL	CM	F-Valor	P-Valor
Regresión	12610	1	12610.2	110.97	0.000
Consumo EM, kcal/W ^{0.75} /d	12610	1	12610.2	110.97	0.000
Error	1818	16	113.6		
Total	14428	17			

Resumen del modelo

S	R ²
10.6599	87.40%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-61.7	17.6	-3.50	0.003	
Consumo EM, kcal/W ^{0.75} /d	0.6348	0.0603	10.53	0.000	1.00

Ecuación de Regresión

$$\text{ER/W}^{0.75}/\text{día} = -61.7 + 0.6348 \text{ Consumo EM, kcal/W}^{0.75}/\text{día}$$

Anexo 30. Análisis de correlación y regresión del consumo de Energía Metabolizable y Energía Retenida, kcal/día.

Correlación: Consumo EM, kcal/d, ER, kcal/d

Correlación de Pearson 0.970

P-valor 0.000

Análisis de regresión: ER, kcal/día versus Consumo EM, kcal/día

Análisis de Variancia

Fuente	SC	GL	CM	F-Valor	P-Valor
Regresión	13310.5	1	13310.5	542.08	0.000
Consumo EM, kcal/d	13310.5	1	13310.5	542.08	0.000
Error	834.8	34	24.6		
Total	14145.3	35			

Resumen del modelo

S	R ²
4.95524	94.10%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-27.33	4.01	-6.81	0.000	
Consumo EM, kcal/d	0.5741	0.0247	23.28	0.000	1.00

Ecuación de Regresión

$$ER, \text{ kcal/día} = -27.33 + 0.5741 \text{ Consumo EM, kcal/día}$$

Anexo 31. Análisis de correlación y regresión del consumo de EM y Energía Neta

Correlación

Correlación de Pearson	0.989
P-valor	0.0001

Análisis de regresión: EN versus CEM

Análisis de Variancia

Fuente	SC	GL	CM	F-Valor	P-Valor
Regresión	26370.0	1	26370.0	700.90	0.000
CEM	26370.0	1	26370.0	700.90	0.000
Error	602.0	16	37.6		
Total	26972.0	17			

Resumen del modelo

S	R ²
6.13375	97.77%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-27.6	10.1	-2.72	0.015	
CEM	0.9179	0.0347	26.47	0.000	1.00

Ecuación de Regresión

$$EN = -27.6 + 0.9179 \text{ CEM}$$

Anexo 32. Análisis de la energía neta de las dietas, kcal/kg MS

Energía neta

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
EN, kcal/kg MS	12	0.97	2.71

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	1069030.12	5	213806.02	46.63	0.0001
Dieta	1069030.12	5	213806.02	46.63	0.0001
Error	27512.62	6	4585.44		
Total	1096542.74	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=269.49872

Error: 4585.4367 gl: 6

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + subproducto de trigo	2188.88	2	47.88	c
B + harina de soya	2233.08	2	47.88	c
B + harina de pescado	2358.98	2	47.88	c b
B + maíz	2560.31	2	47.88	b
Basal	2582.81	2	47.88	b
B + aceite de soya	3079.73	2	47.88	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 33. Análisis de la energía retenida total (proteína + grasa), kcal/día

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
ER, grasa+proteína, kcal/d	12	0.97	4.15

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	2905.82	5	581.16	43.34	0.0001
Dieta	2905.82	5	581.16	43.34	0.0001
Error	80.46	6	13.41		
Total	2986.28	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=14.57397

Error: 13.4098 gl: 6

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + Harina de pescado	77.05	2	2.59	a
B + Subproducto de trigo	77.16	2	2.59	a
B + Harina de soya	77.22	2	2.59	a
Basal	83.08	2	2.59	a b
B + maíz	95.51	2	2.59	b
B + Aceite de soya	119.93	2	2.59	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 34. Análisis de la energía retenida como proteína, kcal/día

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
ER-proteína, kcal/día	12	0.90	5.92

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	557.61	5	111.52	10.98	0.0056
Dieta	557.61	5	111.52	10.98	0.0056
Error	60.96	6	10.16		
Total	618.57	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=12.68583

Error: 10.1603 gl: 6

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
Basal	46.05	2	2.25	b
B + Subproducto de trigo	47.69	2	2.25	b
B + Harina de soya	53.27	2	2.25	b
B + Maíz	53.85	2	2.25	b
B + Harina de pescado	55.29	2	2.25	b a
B + Aceite de soya	67.18	2	2.25	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 35. Análisis de la energía retenida como grasa, kcal/día

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
ER-grasa, kcal/día	12	0.99	3.16

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	1379.25	5	275.85	233.34	<0.0001
Dieta	1379.25	5	275.85	233.34	<0.0001
Error	7.09	6	1.18		
Total	1386.34	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.32723

Error: 1.1822 gl: 6

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + Harina de pescado	21.77	2	0.77	e
B + Harina de soya	23.95	2	0.77	e
B + Subproducto de trigo	29.47	2	0.77	d
Basal	37.03	2	0.77	c
B + Maíz	41.66	2	0.77	b
B + Aceite de soya	52.76	2	0.77	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 36. Análisis de la composición corporal

Contenido de Humedad

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
% humedad	18	0.8684	1.8884

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0.0148	5	0.0030	15.8304	0.0001
Dieta	0.0148	5	0.0030	15.8304	0.0001
Error	0.0022	12	0.0002		
Total	0.0170	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03745

Error: 0.0002 gl: 12

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + Aceite de soya	0.6831	3	0.0079	b
B + Maíz	0.6856	3	0.0079	b
B + Subproducto de trigo	0.7299	3	0.0079	a
Basal	0.7346	3	0.0079	a
B + Harina de soya	0.7510	3	0.0079	a
B + Harina de pescado	0.7540	3	0.0079	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Contenido de Proteína

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
% proteína	18	0.2262	5.6357

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0.0004	5	0.0001	0.7017	0.6328
Dieta	0.0004	5	0.0001	0.7017	0.6328
Error	0.0013	12	0.0001		
Total	0.0016	17			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02800

Error: 0.0001 gl: 12

<u>Dieta</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
Basal	0.1760	3	0.0059	a
B + Subproducto de trigo	0.1774	3	0.0059	a
B + Harina de soya	0.1785	3	0.0059	a
B + Harina de pescado	0.1825	3	0.0059	a
B + Maíz	0.1829	3	0.0059	a
B + Aceite de soya	0.1895	3	0.0059	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Contenido de Grasa

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
% grasa	18	0.8209	5.6332

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.0010	5	0.0002	10.9969	0.0004
Dieta	0.0010	5	0.0002	10.9969	0.0004
Error	0.0002	12	0.00005		
Total	0.0012	17			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01145

Error: 0.0000 gl: 12

<u>Dieta</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
B + Harina de pescado	0.0661	3	0.0024	c
B + Harina de soya	0.0669	3	0.0024	c
Basal	0.0713	3	0.0024	c
B + Subproducto de trigo	0.0725	3	0.0024	c b
B + Aceite de soya	0.0833	3	0.0024	b a
B + Maíz	0.0845	3	0.0024	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Contenido de Ceniza

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
% ceniza	18	0.8865	9.1673

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0.0010	5	0.0002	18.7509	<0.0001
Dieta	0.0010	5	0.0002	18.7509	<0.0001
Error	0.0001	12	1.0E-05		
Total	0.0011	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00885

Error: 0.0000 gl: 12

Dieta	Medias	n	E.E.	Sig.
B + Harina de soya	0.0254	3	0.0019	d
Basal	0.0271	3	0.0019	d c
B + Maíz	0.0351	3	0.0019	c b
B + Subproducto de trigo	0.0379	3	0.0019	b
B + Harina de pescado	0.0384	3	0.0019	b
B + Aceite de soya	0.0473	3	0.0019	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Relación Humedad : Proteína

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	CV
H: proteína	18	0.55	6.37

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0.94	5	0.19	2.89	0.0612
Dieta	0.94	5	0.19	2.89	0.0612
Error	0.78	12	0.07		
Total	1.72	17			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.69945

Error: 0.0650 gl: 12

<u>Dieta</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
B + Aceite de soya	3.62	3	0.15	a
B + Maíz	3.76	3	0.15	a
B + Subproducto de trigo	4.12	3	0.15	a
B + Harina de pescado	4.15	3	0.15	a
Basal	4.17	3	0.15	a
B + Harina de soya	4.21	3	0.15	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Relación Proteína : Grasa

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
Proteína: grasa	18	0.70	6.72

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.75	5	0.15	5.49	0.0074
Dieta	0.75	5	0.15	5.49	0.0074
Error	0.33	12	0.03		
Total	1.08	17			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45485

Error: 0.0275 gl: 12

<u>Dieta</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
B + Maíz	2.17	3	0.10	c
B + Aceite de soya	2.28	3	0.10	c b
B + Subproducto de trigo	2.45	3	0.10	c b a
Basal	2.48	3	0.10	c b a
B + Harina de soya	2.67	3	0.10	b a
B + Harina de pescado	2.76	3	0.10	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Relación Humedad : Grasa

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>CV</u>
H°: grasa	18	0.87	6.32

Cuadro de Análisis de la Varianza

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>GL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	30.28	5	6.06	15.45	0.0001
Dieta	30.28	5	6.06	15.45	0.0001
Error	4.70	12	0.39		
Total	34.98	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.71701

Error: 0.3920 gl: 12

<u>Dieta</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	<u>Sig.</u>
B + Maíz	8.16	3	0.36	b
B + Aceite de soya	8.24	3	0.36	b
B + Subproducto de trigo	10.07	3	0.36	a
Basal	10.34	3	0.36	a
B + Harina de soya	11.23	3	0.36	a
B + Harina de pescado	11.42	3	0.36	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 37. Análisis de correlación y regresión de la composición corporal

Análisis de Correlación

	% Humedad	% Proteína	% Grasa	% Ceniza	H°:Proteína	Proteína:Grasa
% Proteína	-0.414					
	0.087					
% Grasa	-0.989	0.365				
	0.000	0.137				
% Ceniza	-0.566	0.397	0.527			
	0.014	0.103	0.025			
H°:Proteína	0.798	-0.877	-0.761	-0.546		
	0.000	0.000	0.000	0.019		
Proteína:Grasa	0.821	0.171	-0.853	-0.346	0.320	
	0.000	0.498	0.000	0.159	0.196	
Humedad:Grasa	0.993	-0.345	-0.993	-0.536	0.752	0.863
	0.000	0.161	0.000	0.022	0.000	0.000

Análisis de regresión

% Grasa versus % Humedad

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	11.4068	11.4068	698.81	0.001
% humedad	1	11.4068	11.4068	698.81	0.001
Error	16	0.2612	0.0163		
Total	17	11.6680			

Resumen del modelo

S	R ²
0.127762	97.76%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	26.141	0.709	36.86	0.001	
% humedad	-0.25908	0.00980	-26.44	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$\% \text{ grasa} = 26.141 - 0.25908 \% \text{ humedad}$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones inusuales

Obs	% Grasa	Ajuste	Residuo	Std Residual
18	7.7100	8.1922	-0.4822	-4.00 R

R : Residual mayor

H°: Grasa versus % Humedad

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	34.4845	34.4845	1115.02	0.001
% Humedad	1	34.4845	34.4845	1115.02	0.001
Error	16	0.4948	0.0309		
Total	17	34.9794			

Resumen del modelo

S	R ²
0.175861	98.59%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-22.662	0.976	-23.21	0.001	
% humedad	0.4505	0.0135	33.39	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$H^{\circ}: \text{grasa} = -22.662 + 0.4505 \% \text{ humedad}$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones inusuales

Obs	H°: Grasa	Ajuste	Residuo	Std Residual
18	8.9800	8.5470	0.4330	2.61 R

R : Residual mayor

H: Proteína versus % Humedad

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	1.0969	1.09692	28.13	0.001
% Humedad	1	1.0969	1.09692	28.13	0.001
Error	16	0.6239	0.03900		
Total	17	1.7208			

Resumen del modelo

S	R ²
0.197472	63.74%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-1.80	1.10	-1.65	0.119	
% humedad	0.0803	0.0151	5.30	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$H: \text{proteína} = -1.80 + 0.0803 \% \text{ humedad}$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones inusuales

Obs	H:Proteína	Ajuste	Residuo	Std Residual
15	3.8200	4.2118	-0.3918	-2.08 R

R : Residual mayor

Proteína: Grasa versus % Humedad

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	0.7302	0.73015	32.96	0.001
% Humedad	1	0.7302	0.73015	32.96	0.001
Error	16	0.3544	0.02215		
Total	17	1.0846			

Resumen del modelo

S	R ²
0.148830	67.32%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-2.272	0.826	-2.75	0.014	
% humedad	0.0655	0.0114	5.74	0.001	1.00

Ecuación de regresión

Proteína: grasa = $-2.272 + 0.0655$ % humedad

% Proteína versus % Humedad

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	2.773	2.7732	3.31	0.087
% Humedad	1	2.773	2.7732	3.31	0.087
Error	16	13.390	0.8369		
Total	17	16.164			

Resumen del modelo

S	R ²
0.914824	17.16%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	27.35	5.08	5.39	0.001	
% humedad	-0.1277	0.0702	-1.82	0.087	1.00

Ecuación de regresión

$$\% \text{ proteína} = 27.35 - 0.1277 \% \text{ humedad}$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones inusuales

Obs	% Proteína	Ajuste	Residuo	Std Residual	
15	19.610	17.787	1.823	2.09	R

R : Residual mayor

% Ceniza versus % Humedad

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	3.534	3.5345	7.56	0.014
% Humedad	1	3.534	3.5345	7.56	0.014
Error	16	7.481	0.4676		
Total	17	11.015			

Resumen del modelo

S	R ²
0.683786	32.09%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	13.95	3.80	3.67	0.002	
% humedad	-0.1442	0.0525	-2.75	0.014	1.00

Ecuación de regresión

$$\% \text{ ceniza} = 13.95 - 0.1442 \% \text{ humedad}$$

H°: Grasa versus % Grasa

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	34.5210	34.5210	1204.86	0.001
% Grasa	1	34.5210	34.5210	1204.86	0.001
Error	16	0.4584	0.0287		
Total	17	34.9794			

Resumen del modelo

S	R ²
0.169267	98.69%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	22.653	0.369	61.34	0.001	
% grasa	-1.7201	0.0496	-34.71	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$H^{\circ}: \text{grasa} = 22.653 - 1.7201 \% \text{ grasa}$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones inusuales

Obs	H°: Grasa	Ajuste	Residuo	Std Residual
18	8.9800	9.3910	-0.4110	-2.51 R

R : Residual mayor

H: Proteína versus % Proteína

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	1.32235	1.32235	53.09	0.000
% Proteína	1	1.32235	1.32235	53.09	0.000
Error	16	0.39850	0.02491		
Total	17	1.72084			

Resumen del modelo

S	R ²
0.157816	76.84%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	9.187	0.712	12.90	0.001	
% proteína	-0.2860	0.0393	-7.29	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$H: \text{proteína} = 9.187 - 0.2860 \% \text{ proteína}$$

% Grasa versus % Proteína

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	1.5515	1.5515	2.45	0.137
% Proteína	1	1.5515	1.5515	2.45	0.137
Error	16	10.1165	0.6323		
Total	17	11.6680			

Resumen del modelo

S	R ²
0.795160	13.30%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	1.80	3.59	0.50	0.623	
% proteína	0.310	0.198	1.57	0.137	1.00

Ecuación de regresión

$$\% \text{ grasa} = 1.80 + 0.310 \% \text{ proteína}$$

% Humedad versus Proteína/grasa

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	114.41	114.407	32.96	0.001
Proteína/grasa	1	114.41	114.407	32.96	0.001
Error	16	55.53	3.471		
Total	17	169.94			

Resumen del modelo

S	R ²
1.86298	67.32%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	46.96	4.44	10.59	0.001	
Proteína/grasa	10.27	1.79	5.74	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$\% \text{ humedad} = \text{Proteína/grasa}$$

Ajuste y diagnóstico de observaciones inusuales

Obs	% humedad	Ajuste	Residuo	Std Residual	
18	69.280	73.051	-3.771	-2.09	R

R : Residual mayor

Humedad/Proteína versus % Grasa

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	0.99605	0.996050	21.99	0.001
% Grasa	1	0.99605	0.996050	21.99	0.001
Error	16	0.72479	0.045300		
Total	17	1.72084			

Resumen del modelo

S	R ²
0.212837	57.88%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	6.170	0.464	13.29	0.001	
% grasa	-0.2922	0.0623	-4.69	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$\text{Humedad/Proteína} = 6.170 - 0.2922 \% \text{ grasa}$$

Humedad/Proteína versus % Ceniza

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	0.5123	0.51226	6.78	0.019
% Ceniza	1	0.5123	0.51226	6.78	0.019
Error	16	1.2086	0.07554		
Total	17	1.7208			

Resumen del modelo

S	R ²
0.274839	29.77%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	4.765	0.299	15.95	0.001	
% ceniza	-0.2156	0.0828	-2.60	0.019	1.00

Ecuación de regresión

$$\text{Humedad/Proteína} = 4.765 - 0.2156 \% \text{ ceniza}$$

Ajuste y diagnóstico de observaciones inusuales

Obs	Humedad/Proteína	Ajuste	Residuo	Std Residual	
4	3.350	3.922	-0.572	-2.16	R
13	4.570	3.932	0.638	2.40	R

R : Residual mayor

% Humedad versus Humedad/Grasa

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	167.534	167.534	1115.02	0.001
Humedad/Grasa	1	167.534	167.534	1115.02	0.001
Error	16	2.404	0.150		
Total	17	169.938			

Resumen del modelo

S	R ²
0.387623	98.59%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	50.618	0.656	77.18	0.001	
Humedad/Grasa	2.1885	0.0655	33.39	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$\% \text{ humedad} = 50.618 + 2.1885 \text{ Humedad/Grasa}$$

Ajuste y diagnóstico de observaciones inusuales

Obs	% humedad	Ajuste	Residuo	Std Residual	
18	69.280	70.270	-0.990	-2.66	R

R : Residual mayor

Proteína/Grasa versus % Proteína

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	0.03158	0.03158	0.48	0.498
% Proteína	1	0.03158	0.03158	0.48	0.498
Error	16	1.05298	0.06581		
Total	17	1.08456			

Resumen del modelo

S	R ²
0.256537	2.91%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	1.67	1.16	1.44	0.169	
% Proteína	0.0442	0.0638	0.69	0.498	1.00

Ecuación de regresión

$$\text{Proteína/Grasa} = 1.67 + 0.0442 \% \text{ proteína}$$

Proteína/Grasa versus % Grasa

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	0.78906	0.789058	42.72	0.001
% Grasa	1	0.78906	0.789058	42.72	0.001
Error	16	0.29550	0.018469		
Total	17	1.08456			

Resumen del modelo

S	R ²
0.135901	72.75%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	4.394	0.297	14.82	0.001	
% grasa	-0.2600	0.0398	-6.54	0.001	1.00

Ecuación de regresión

$$\text{Proteína/Grasa} = 4.394 - 0.2600 \% \text{ grasa}$$

Ajuste y diagnóstico de observaciones inusuales

Obs	Proteína/Grasa	Ajuste	Residuo	Std Residual	R
15	2.9100	2.6386	0.2714	2.10	R

R : Residual mayor

Proteína/Grasa versus % Ceniza

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	0.1301	0.13013	2.18	0.159
% Ceniza	1	0.1301	0.13013	2.18	0.159
Error	16	0.9544	0.05965		
Total	17	1.0846			

Resumen del modelo

S R²
0.244237 12.00%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	2.850	0.265	10.74	0.001	
% ceniza	-0.1087	0.0736	-1.48	0.159	1.00

Ecuación de regresión

$$\text{Proteína/Grasa} = 2.850 - 0.1087 \% \text{ ceniza}$$

Ajuste y diagnóstico de observaciones inusuales

Obs	Proteína/Grasa	Ajuste	Residuo	Std Residual	R
15	2.9100	2.4205	0.4895	2.08	R

R : Residual mayor

Humedad/Grasa versus % Proteína

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	4.165	4.165	2.16	0.161
% Proteína	1	4.165	4.165	2.16	0.161
Error	16	30.814	1.926		
Total	17	34.979			

Resumen del modelo

S R²
1.38776 11.91%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	19.10	6.26	3.05	0.008	
% proteína	-0.508	0.345	-1.47	0.161	1.00

Ecuación de regresión

$$\text{Humedad/Grasa} = 19.10 - 0.508 \% \text{ proteína}$$

Humedad/Grasa versus % Ceniza

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	10.06	10.062	6.46	0.022
% Ceniza	1	10.06	10.062	6.46	0.022
Error	16	24.92	1.557		
Total	17	34.98			

Resumen del modelo

S	R ²
1.24793	28.77%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	13.27	1.36	9.79	0.001	
% ceniza	-0.956	0.376	-2.54	0.022	1.00

Ecuación de regresión

$$\text{Humedad/Grasa} = 13.27 - 0.956 \% \text{ ceniza}$$

% Ceniza versus % Proteína

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	1.7319	1.73192	2.98	0.103
% Proteína	1	1.7319	1.73192	2.98	0.103
Error	16	9.2836	0.58022		
Total	17	11.0155			

Resumen del modelo

S	R ²
0.761724	15.72%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-2.41	3.44	-0.70	0.493	
% Proteína	0.327	0.189	1.73	0.103	1.00

Ecuación de regresión

% ceniza = -2.41 + 0.327 % proteína

% Ceniza versus % Grasa

Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P-Valor
Regresión	1	3.0613	3.0613	6.16	0.025
% Grasa	1	3.0613	3.0613	6.16	0.025
Error	16	7.9542	0.4971		
Total	17	11.0155			

Resumen del modelo

S R²
0.705081 27.79%

Coefficientes

Termino	Coef	SE Coef	T-Valor	P-Valor	VIF
Constante	-0.27	1.54	-0.18	0.861	
% grasa	0.512	0.206	2.48	0.025	1.00

Ecuación de regresión

% ceniza = -0.27 + 0.512 % grasa