

**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA PRODUCTIVA A
DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ENERGÍA
METABOLIZABLE Y PROTEÍNA CRUDA EN LA
DIETA SOBRE EL CRECIMIENTO DE POLLOS
RHODE ISLAND RED, EN YUCATÁN, MÉXICO**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

POR:

Médico Veterinario Zootecnista

Angel Rodrigo Baas Osorio

Directores:

PhD. Luis Sarmiento Franco

PhD. Ronald Santos Ricalde

Mérida, Yucatán, México, octubre de 2017





UADY

POSGRADO
INSTITUCIONAL
EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y
MANEJO DE RECURSOS
NATURALES TROPICALES

**POSGRADO INSTITUCIONAL EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
MANEJO DE RECURSOS NATURALES TROPICALES**

**ALUMNO: MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
ANGEL RODRIGO BAAS OSORIO**

SÍNODO DEL EXAMEN DE TESIS DE GRADO

**DR. JUAN KU VERA
CCBA-UADY**

**DR. JUAN MAGAÑA MONFORTE
CCBA-UADY**

**DR. ARMÍN AYALA BURGOS
CCBA-UADY**

**DR. CARLOS SANDOVAL CASTRO
CCBA-UADY**

**DR. CARLOS AGUILAR PÉREZ
CCBA-UADY**

MÉRIDA, YUCATÁN, OCTUBRE DEL 2017

DECLARATORIA

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado para la realización del trabajo de investigación. A la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) por aceptarme en el programa del posgrado. A los directores de tesis por su esfuerzo y dedicación en todo momento. A mi familia y amigos por los buenos momentos que compartimos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Componentes de la dieta	3
2.2. Concentración de energía metabolizable en la dieta.....	3
2.3. Concentración de proteína cruda en la dieta	4
2.4. Requerimientos nutricionales.....	5
2.5. Necesidades energéticas y proteicas para el mantenimiento	6
2.6. Necesidades energéticas y proteicas para el crecimiento	7
2.7. Fisiología del crecimiento muscular en pollos.....	8
2.8. Métodos para estimar la energía metabolizable en los animales	9
2.9. Métodos para estimar los requerimientos de energía metabolizable y proteína cruda en aves.....	10
2.9.1. Regresión lineal	10
2.9.2. Balance de nitrógeno	10
2.9.3. Superficie de respuesta.	11
2.10. Evaluación de distintos niveles de proteína cruda y energía metabolizable en pollos de engorda	12
2.11. Rendimiento de canal	13
3. OBJETIVOS	15
3.1. Objetivo general.....	15
3.2. Objetivo específico	15
4. HIPÓTESIS.....	15
5. REFERENCIAS.....	16
6. ARTÍCULO.....	21

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta productiva a distintas concentraciones de energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC) en el crecimiento de pollos Rhode Island Red (RIR) de 17–119 días de edad. El experimento se dividió en 3 etapas (17–56, 57–91, 92–119 días de edad) con un arreglo factorial de 2x3 para cada una, con dos concentraciones de EM (2900 y 3100 kcal) que fueron constantes durante el experimento y tres concentraciones de PC que fueron de 22, 20 y 18% (17–56 días); 20, 18 y 16% (57–91 días); 18, 16 y 14% (92–119 días). Se utilizaron dos lotes de 72 pollos RIR cada uno, de la siguiente manera: el primer lote se utilizó para la primera etapa de alimentación (17–56 días) y el segundo lote para la segunda y tercera etapa de alimentación (57–119 días). Para obtener una aproximación del requerimiento de EM y PC se utilizó el modelo de superficie de respuesta (RSM), para cada una de las tres etapas. La ganancia de peso (GDP) y la conversión alimenticia fueron mayores de 17–56 días de edad con 2900 kcal/kg de alimento, de 57–119 días de edad no hubo diferencia significativa. El consumo de alimento se incrementó con 2900 kcal en el alimento, de 17–91 días de edad. Con 16% de PC en la dieta, los pollos presentan mayor GDP de 92–119 días de edad. La eficiencia proteica fue mejor con los niveles bajos de PC en las dietas de 17–119 días de edad. En el presente estudio se concluye que para obtener las mejores GDP, las dietas deben estar balanceadas con 2900 kcal/kg; por otra parte, para disminuir el consumo y conversión alimenticia se deberá utilizar 3100 kcal/kg, sin embargo, esto afectaría negativamente la GDP. Una aproximación a los requerimientos proteicos en la dieta para la primera etapa sería 21.3%, en la segunda 19.2%, y en la tercera 17.1%.

Palabras clave: energía metabolizable; proteína cruda; pollos Rhode Island Red; superficie de respuesta, aproximación de requerimientos.

Summary

The objective of this study was to evaluate the productive response of different amounts of both metabolisable energy (ME) and crude protein (PC) in growing Rhode Island Red (RIR) male chickens from 17 to 119 days-old. The experiment consisted in three feeding phases (17–56, 57–91, 92–119 days-old). The experimental arrangement was a factorial 2x3 for each feeding phase: two ME amounts (2900 and 3100 kcal/kg), which were constant in the experiment, and three PC amounts that were 22, 20 and 18% (17–56 days-old); 20, 18 and 16% (57–91 days-old); 18, 16 and 14% (92–119 days-old). Two batches of seventy-two chickens each one were used. The first batch included the first feeding phase (17–56 days old) and the second batch included the second and third feeding phases (57–119 days old). In order to obtain an approximation to ME and CP requirement the response surface methodology (RSM), for each phase was used. The body weight gain (BWG) and feed intake (FI) were greater from 17–56 days-old with 2900 kcal/kg in the diet, from 57–119 days-old there was not a significant effect. The FI increased with 2900 kcal/kg in the diet from 17–91 days-old. Chickens had a higher BWG from 92–119 days-old when 16% CP was included in the diet. Protein efficiency was better from 17–119 days-old when low CP concentration was included in the diet. It was concluded that for obtaining greater BWG, the diets should contain 2900 kcal/kg; on the other hand, in order to decrease FI and FCR it should be used 3100 kcal/kg, however, BWG is negatively affected. An approximation of CP requirement in the diet for the first feeding phase would be 21.3%, for the second 19.2% and for the last one 17.1%.

Key words: metabolisable energy, crude protein; Rhode Island Red chickens; response surface methodology, requirements approximation.

1. INTRODUCCIÓN

Los pollos con tasas de lento crecimiento, constituyen del 25-30% de la producción rural de aves en las áreas tropicales y subtropicales (Attia *et al.*, 2009). Estas aves son utilizadas en diferentes sistemas de producción como la de traspatio, la cual es una actividad pecuaria que se practica en el medio rural, pequeñas poblaciones y áreas suburbanas, que permite a la gente de escasos recursos económicos producir sus propios alimentos y disponer de los excedentes para la venta y apoyar la economía familiar (Centeno *et al.*, 2007).

Por otra parte, dichas aves son utilizadas en sistemas de producción al pastoreo libre o semi-intensivos debido a que poseen características que las hacen adaptarse fácilmente a las condiciones climáticas del ambiente (Rizzi *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2013; Sirri *et al.*, 2011). Debido a que crecen lentamente, no requieren altos niveles de proteína cruda (PC) en la dieta para su crecimiento y desarrollo (Sundrum *et al.*, 2006).

Sin embargo, el balance de nutrientes en la dieta es un tema crítico, ya que la respuesta del comportamiento productivo está directamente relacionada con la densidad de nutrientes de la dieta ofrecida, y esto se ve reflejado en la ganancia del productor (Horsted *et al.*, 2010; Pesti, 2009), pues en el mercado ha incrementado el costo de la PC y energía para el consumo animal, afectando directamente los costos de producción (Ren *et al.*, 2013; Rosegrant *et al.*, 2013).

Ha habido diversos reportes que indican que los pollos de lento crecimiento son menos eficientes en la producción de carne (Almasi *et al.*, 2015; Rizzi *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2013; Sirri *et al.*, 2011), aunque ésta puede ser más saludable al contener menos grasa y más ácidos grasos poliinsaturados que la carne de los pollos de medio y rápido crecimiento (Sirri *et al.*, 2011).

Además, Castellini *et al.* (2008) mencionan que la calidad de la carne se ve afectada por el genotipo, dieta, edad al sacrificio y actividad física del pollo, incluso, Fanatico *et al.* (2007) reportan que estos pollos poseen mejores características sensoriales en la carne en comparación con los pollos que poseen tasas de crecimiento rápido.

Pese a ello, no hay reportes consistentes sobre la concentración óptima de energía metabolizable (EM) y PC, para mejorar el rendimiento productivo en los pollos de razas distintas a las líneas comerciales (Wang *et al.*, 2013), tampoco para la raza RIR (Wolde *et al.*, 2011b).

A pesar de que el National Research Council (NRC, 1994) ha propuesto requerimientos de EM y PC para aves de engorda, no pueden ser totalmente aplicados en regiones tropicales porque dichos requerimientos se obtuvieron bajo condiciones específicas de microclima y líneas genéticas especializadas, además de los factores que influyen en los requerimientos de cada animal como el sexo, edad, función zootécnica (Rostagno *et al.*, 2017), por lo que es importante evaluar la respuesta productiva de los pollos RIR con base en la EM y PC de la dieta, con el propósito de implementar una estrategia de alimentación para aprovechar al máximo los nutrientes ofrecidos en la misma.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Componentes de la dieta

Los componentes de la dieta de las aves es una mezcla de varios insumos como cereales, granos, subproductos animales, vitaminas y minerales. Todos estos insumos aportan la energía y los nutrientes necesarios para el mantenimiento, crecimiento y reproducción del animal. Dicha energía proviene principalmente de la oxidación durante el metabolismo de carbohidratos, lípidos y, en ocasiones, proteínas (NRC, 1994).

2.2. Concentración de energía metabolizable en la dieta

La energía total contenida en un alimento corresponde a la energía bruta, y la cantidad de energía que es capaz de absorber el animal corresponde a la energía digestible. La diferencia entre estas dos, representa la cantidad de energía que el animal ha digerido y absorbido. En consecuencia, la energía metabolizable de un alimento corresponde a la cantidad de energía retenida por el organismo, que el animal utiliza para sus diferentes necesidades. La energía metabolizable se determina mediante la diferencia entre la energía bruta del alimento consumido, y la energía bruta presente en las heces y orina excretadas por el animal (McDonald *et al.*, 2011).

La densidad de EM en la dieta es el factor más importante en la regulación del consumo de alimento, y puede determinar la eficiencia productiva y económica de la actividad, por lo cual se deberá mantener una relación constante con todos los demás nutrientes como estrategia nutricional (Moura *et al.*, 2010). Así mismo, Wang *et al.* (2013) reportan que la densidad de energía metabolizable en la dieta influye sobre la composición corporal del pollo, y cuando la densidad es alta, hay una tendencia a ganar mayor peso vivo.

Por otra parte, la deposición de grasa está estrechamente relacionada con la tasa de crecimiento del pollo, por lo tanto, se acumulará más grasa abdominal cuando su tasa de crecimiento sea mayor. Así lo reportaron Almasi *et al.* (2015) cuando realizaron la comparación entre pollos de crecimiento medio y lento.

2.3. Concentración de proteína cruda en la dieta

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos de alto peso molecular y al igual que los carbohidratos y lípidos, contienen carbono, hidrogeno y oxígeno, pero además nitrógeno y generalmente azufre. La mayor parte de nitrógeno que requiere un animal, se encuentra en el alimento en forma de proteínas. El contenido de éstas en el alimento es calculado por la cantidad de nitrógeno determinado por el método de Kjeldahl o Dumas (McDonald *et al.*, 2011).

Por otro lado, el costo de producción de cereales ha incrementado debido a la alta demanda en producción de biodiesel. Esta situación afecta el precio de la proteína cruda disponible en el mercado e incrementa los costos de los alimentos para animales (Rosegrant *et al.*, 2013).

Según Kobayashi *et al.* (2013), los alimentos avícolas son formulados con el menor costo posible y con un mínimo de proteína cruda, para obtener las mejores ganancias en la producción. Sin embargo, se ha detectado que, al ofrecer dietas con bajos niveles de proteína cruda, el rendimiento en la canal de las aves tiende a ser baja, tal como reportan Wang *et al.* (2013). Esto sucede particularmente en pollos jóvenes, que se desea alcancen un rápido crecimiento, madurez y alta productividad (Wolde *et al.*, 2011b).

El costo del alimento representa entre el 65-75% del total de producción intensiva de aves. Por tanto, es importante reducir el desperdicio de la PC, balanceando adecuadamente la dieta, ya que este nutriente, por lo general, tiene un costo mayor que la energía metabolizable (Wolde *et al.*, 2011a; Wolde *et al.*, 2011b), y su desperdicio tiene implicaciones económicas y ambientales.

Para minimizar la excreción de nitrógeno al ambiente y mejorar el comportamiento productivo del pollo, se adecuó el término proteína ideal para referirse al balance de los aminoácidos más importantes de la dieta para el crecimiento y desarrollo del animal (Baker y Han, 1994; Emmert y Baker, 1997). Esto principalmente en metionina, lisina y triptófano, que son los tres primeros aminoácidos esenciales en los pollos.

2.4. Requerimientos nutricionales

Leeson y Summers (2001) definen requerimiento nutricional como “la cantidad mínima de nutrientes requeridos para producir la mejor ganancia de peso, eficiencia alimenticia, así como la falta de cualquier signo de deficiencia nutricional”. Por otro lado, el requerimiento de algún nutriente en estado de mantenimiento puede ser definido como, la cantidad requerida para asegurar que no haya pérdida ni ganancia del nutriente en cuestión, ofreciéndolo en la dieta en mínima cantidad para obtener un balance cero (McDonald *et al.*, 2011).

Son varios factores que pueden alterar los requerimientos nutricionales de las aves, tales como: genotipo, sexo, edad, función zootécnica, calidad de los insumos de la dieta, temperatura y humedad ambiental, y quizá en algunas ocasiones el estado de salud, entre otros factores (Rostagno *et al.*, 2017).

Por otra parte, McDonald *et al.* (2011) mencionan que un animal, se encuentra en estado de mantenimiento cuando su composición corporal se encuentra constante, y no está en crecimiento ni produciendo leche o huevos. Sin embargo, mantener un animal en condiciones de mantenimiento generalmente es sólo por interés académico para determinar el requerimiento de un nutriente.

Los animales en ayuno utilizan sus reservas corporales para satisfacer los requerimientos nutricionales del mantenimiento, de tal forma que al catabolizar sus reservas proveen la energía requerida para los procesos esenciales del cuerpo como la respiración y circulación de sangre. Este estado que presentan los animales, es conocido como balance energético negativo. Cuando a los animales se les ofrece dietas carentes de proteína y pierden nitrógeno a través de las excretas, se encuentran en balance proteico negativo (McDonald *et al.*, 2011).

Las necesidades de las vacas lecheras generalmente se encuentran de forma independiente para mantenimiento y para producción de leche, sin embargo, en las aves en crecimiento,

suelen indicarse las necesidades para mantenimiento y para crecimiento, conjuntamente (McDonald *et al.*, 2011).

Por otro lado, se han elaborado tablas de requerimientos nutricionales para producción de carne, que sirven como herramienta para balancear los componentes de una dieta y se adecuen a los factores que afectan los requerimientos. El National Research Council (NRC, 1994) propone para los pollos de líneas genéticas comerciales, tres periodos en los cuales los requerimientos de proteína cruda cambian conforme a la edad del animal (**Cuadro 1**).

Así mismo, Todd y Roselina (2014) mencionan que las tablas del NRC sirven de referencia para la nutrición de pollos comerciales en el mundo, sin embargo, se han realizado ajustes desde que comenzaron a publicarse, debido a aquellos factores que alteran los requerimientos nutricionales.

Sin embargo, los requerimientos nutricionales en estado de producción que se reportan por el NRC, o en otros estándares nutricionales, no pueden ser aplicados en su totalidad a razas locales y criollas, ya que las condiciones con las que se obtuvieron dichos requerimientos son específicas, tales como la línea genética, los insumos utilizados y el microclima o zona termoneutra ideal para los pollos.

Cuadro 1. Requerimientos establecidos por el NRC (1994).

		Etapas (semanas de vida)		
		0-3	3-6	6-8
PC	%	23	20	18
EM	Kcal/kg	3200	3200	3200

PC= proteína cruda, EM= energía metabolizable

2.5. Necesidades energéticas y proteicas para el mantenimiento

El metabolismo basal de un animal es la cantidad de calor que produce la energía de mantenimiento que requiere dicho animal para mantener sus funciones vitales. Sin

embargo, se complica la determinación del metabolismo basal, debido a que el calor producido en el animal también lo ocasiona la digestión y metabolismo, así como la actividad voluntaria. Por ello, la mejor aproximación se obtiene al mantener en ayuno al animal y medir el calor producido en estas condiciones, a este proceso se le conoce como metabolismo de ayuno. Sin embargo, la estimación de las necesidades energéticas preferiblemente se realiza con animales alimentados, ya que hay diferentes factores que afectan el metabolismo de ayuno, tales como actividad física, y temperatura ambiente.

Así mismo se observó que la producción de calor del metabolismo basal guarda estrecha relación con la superficie del área corporal o también conocido como peso vivo metabólico ($P^{0.75}$) del animal. En este sentido, en el pollo de engorda se estima que el 61% de las necesidades energéticas son destinadas al mantenimiento cuando tiene un kilogramo (kg) de peso vivo (McDonald *et al.*, 2011).

La mayor parte de nitrógeno eliminado por la orina, en animales que no reciben nitrógeno en la dieta, está dado por el catabolismo de aminoácidos que proceden del recambio proteico de las proteínas del cuerpo. Al nitrógeno excretado se le denomina nitrógeno endógeno urinario y según McDonald *et al.* (2011) hay una relación de 2 miligramos (mg) por cada kilocaloría (kcal) de metabolismo basal.

La cantidad de proteína o nitrógeno necesario para el mantenimiento del animal, es igual a las pérdidas de nitrógeno fecal y endógeno urinario. Dicha cantidad se puede determinar a través del catabolismo de ayuno donde se calculan las pérdidas de nitrógeno cuando los animales consumen dietas libres de N. La otra forma de obtener el N de mantenimiento, es determinar el N en el alimento, y será determinado por el consumo más bajo de N que tenga un balance cercano a cero (McDonald *et al.*, 2011). Sin embargo, en aves y cerdos generalmente se obtienen conjuntamente los requerimientos para mantenimiento y producción.

2.6. Necesidades energéticas y proteicas para el crecimiento

Los factores que pueden afectar la composición de las ganancias de peso son la especie animal, tamaño de la especie y madurez del animal, sin embargo, un factor decisivo es el ritmo de crecimiento. Cuando un animal aún no llega a la madurez y presenta cantidades limitadas de nutrientes acumulará menos grasa que los animales que tienen mayor disponibilidad de nutrientes. En el caso de los pollos, puede ser debido que consumen alimento básicamente para satisfacer sus necesidades energéticas, por lo tanto, si la concentración de EM aumenta en la dieta y la PC se mantiene constante, se reducirá el consumo de alimento y consecuentemente el consumo de PC. Otro aspecto de importancia es el balance de aminoácidos, los cuales deben estar en las concentraciones establecidas en las dietas para evitar cualquier efecto negativo sobre el peso vivo. En el caso particular de los pollos la metionina es el primer aminoácido limitante en la dieta (McDonald *et al.*, 2011).

2.7. Fisiología del crecimiento muscular en pollos

Para comprender la fisiología del crecimiento muscular en pollos, es importante tener en cuenta que una de las mayores diferencias entre razas o líneas genéticas, es la tasa de crecimiento, es por ello que los requerimientos de energía metabolizable y proteína cruda en el crecimiento, son diferentes con respecto al genotipo de las aves (Nesheim, 1968).

La acumulación de proteína muscular es el elemento clave en el crecimiento del músculo, como resultado de la diferencia entre la síntesis y degradación proteica. Así mismo, el crecimiento de las fibras musculo-esqueléticas no solamente involucra el incremento de la masa muscular si no también el número de núcleos debido al aumento total del ADN (Moss *et al.*, 1968).

En algunos estudios se ha demostrado que tanto la síntesis como la degradación proteica, disminuyen abruptamente a las primeras dos semanas de vida, y posteriormente disminuyen con lentitud conforme la edad avanza (McDonald y Swick, 1981). A las dos semanas de vida, el músculo pectoral de los pollos de rápido crecimiento contiene 5 veces más ADN que el músculo de los pollos de lento crecimiento.

Así mismo, se ha reportado que la baja deposición proteica puede ser ocasionada por la baja síntesis y alta degradación proteica (Kang *et al.*, 1985). Sin embargo Lands *et al.* (1999) han sugerido que la alta relación de cisteína:metionina incrementa la masa muscular, posiblemente como consecuencia en la disminución de la degradación proteica. Por otro lado, cuando la tasa de degradación proteica sobrepasa la síntesis de proteínas, el músculo esquelético sufre una atrofia (Lecker *et al.*, 2004). Por su parte, la lisina, leucina e isoleucina, son reguladores del intercambio proteico, debido a que pueden alterar la síntesis y degradación proteica (Tesseraud *et al.*, 2008).

2.8. Métodos para estimar la energía metabolizable en los animales

En aves, la medida más utilizada para expresar el contenido energético corresponde a la energía metabolizable, esto debido a que excretan simultáneamente orina y heces por la cloaca. (Francesch, 2001). La expresión mayormente usada es kcal por kg de alimento.

La producción de calor o retención de energía es utilizada para conocer el grado en que los animales utilizan la energía metabolizable de los alimentos. La producción de calor, puede medirse mediante un calorímetro de forma directa o indirecta. En la calorimetría directa, se utilizan cámaras que miden el calor que se genera al ingerir los alimentos. Estos métodos son muy complicados y costosos por lo que en la actualidad se utilizan métodos por calorimetría indirecta (McDonald *et al.*, 2011).

El método por determinación del intercambio respiratorio estima la producción de calor a partir del consumo de oxígeno de las sustancias que se oxidan en el organismo, y cuya energía se convierte en calor, dichas sustancias provienen de las tres clases de nutrientes que son carbohidratos, grasas y proteínas (McDonald *et al.*, 2011).

En la mayoría de las pruebas de alimentación, es posible medir con exactitud el consumo de energía digestible o metabolizable mientras que la retención de energía, solo puede estimarse a partir de los cambios en el peso vivo de los animales (McDonald *et al.*, 2011).

Para determinar la energía metabolizable directamente, o *in vivo*, se utiliza la técnica de recolección total. Esta consiste, por un lado, en determinar la diferencia entre las concentraciones de energía bruta de una muestra representativa de excreta y de alimento. La energía bruta es el calor emitido por la combustión que genera la muestra (ya sea excreta o alimento) También se deberá medir la cantidad que se excretó y la cantidad que ingirió el animal para poder realizar los cálculos pertinentes (Francesch, 2001).

2.9. Métodos para estimar los requerimientos de energía metabolizable y proteína cruda en aves

Los métodos utilizados para determinar los requerimientos nutricionales en pollos de engorda, pueden ser dos: dosis-respuesta y factorial. El primer método, determina los requerimientos del animal con base a la respuesta del mismo, utilizando niveles crecientes del nutriente estudiado, en la dieta. El método factorial, está basado en la determinación de la cantidad de nutriente que necesita el animal para el mantenimiento, crecimiento y/o producción. Generalmente se calcula el requerimiento con curvas de respuesta (Campos *et al.*, 2008).

2.9.1. Regresión lineal. Una de las herramientas básicas para la obtención de los requerimientos nutricionales, es la ecuación de regresión lineal la cuál es utilizada para calcular de forma directa los requerimientos nutricionales de animales en distintas etapas fisiológicas. Esta ecuación consiste en que las medias de la población Y (peso vivo, ganancia de peso, conversión alimenticia) o variable dependiente, está determinada por el valor X (niveles de proteína cruda y energía metabolizable) o variable independiente (Steel y Torrie, 1988). La definición matemática es la siguiente: $Y_i = \mu_Y \cdot X + \epsilon_i$

2.9.2. Balance de nitrógeno. El balance de nitrógeno fue el primer método para evaluar los requerimientos proteicos, realizado por primera vez en vacas en 1839 por Boussingault (Serralda *et al.*, 2003). En animales mamíferos, este método consiste en restarle el nitrógeno excretado en heces al nitrógeno ingerido en el alimento, para el caso de las aves, se mide el nitrógeno en heces y orina ya que se eliminan conjuntamente.

Por otra parte, con el método de balance de nitrógeno se determina la energía metabolizable aparente (EMA), la cual no contempla las pérdidas de carácter endógeno que no proceden directamente del alimento ingerido. Es por ello, que esta medida subestima el valor energético de los alimentos cuando hay baja ingesta de estos, ya que en el excremento hay un alto contenido de origen endógeno, por lo que adquiere mayor importancia. Por otro lado, la energía metabolizable verdadera (EMV) se calcula de manera independiente del nivel de ingestión, por lo tanto, se sustraen las pérdidas endógenas de la excreta total (Lessire, 2004).

2.9.3. Superficie de respuesta.

La metodología RSM es una técnica de optimización basada en planeamientos factoriales, la cual fue introducida por George Box en los años cincuenta, y que desde entonces ha venido tomando fuerza dentro del área de los procesos industriales. Esta técnica, en ocasiones puede utilizarse para refinar los modelos después de determinar los factores importantes (Minitab®17)

Esta metodología es una colección de técnicas estadísticas y matemáticas que pueden ser usadas para definir la relación que hay entre la respuesta a las variables independientes. Así mismo, se puede observar el efecto conjunto (sinergismo o antagonismo) de las variables independientes. En muchos casos, se utiliza el modelo de regresión para describir dichas respuestas (Khuri *et al.*, 2006). Así mismo con superficie de respuesta se puede observar los efectos conjuntos, ya sea antagonismo o sinergismo, de las variables independientes (Bas y Boyaci, 2007).

Los desarrollos incorporados hasta ahora en programas computacionales, por ejemplo, Minitab®, permiten analizar fácilmente y en forma gráfica modelos polinomiales de primer orden (efectos lineales y de interacción) y segundo orden (efectos lineales, cuadráticos y de interacción). La diferencia entre una ecuación de RSM y de un diseño factorial es la adición de los términos elevados al cuadrado (o cuadráticos), lo cual permite modelar la curvatura en la respuesta. Esto permite entender o identificar una región de una superficie de respuesta, además las ecuaciones de superficie de respuesta modelan la manera en que los

cambios en las variables afectan una respuesta de interés. Así mismo, puede hallar los niveles de las variables que optimizan una respuesta (Minitab® 17).

2.10. Evaluación de distintos niveles de proteína cruda y energía metabolizable en pollos de engorda

Zhao *et al.* (2009) observaron que el consumo de alimento en pollos de lento crecimiento aumenta a medida que la densidad de nutrientes disminuye. También midieron el efecto de la densidad de energía y proteína en tres etapas distintas. Las dietas las clasificó en alta, media y baja según la densidad de dichos nutrientes. Observaron que cuando la densidad de nutrientes es media y baja el peso vivo al sacrificio disminuye en comparación con la dieta de alta densidad.

Li *et al.* (2013), mencionan que el nivel de energía metabolizable en la dieta tiene efectos importantes sobre la ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y eficiencia de la proteína en un genotipo de ave de lento crecimiento. Por otro lado, Rama Rao *et al.* (2005) mencionan que el aumento en el nivel de energía metabolizable, afecta positivamente la ganancia de peso, mientras disminuye el consumo de alimento y aumenta la conversión alimenticia.

Li *et al.* (2013) evaluaron el efecto de dietas altas y bajas en proteína y mencionan que los pollos de lento crecimiento tienen mayor peso y eficiencia de utilización de energía cuando reciben dietas bajas en proteína. Sin embargo, también observaron que el exceso de la proteína en la dieta provoca incremento calórico.

Haunshi *et al.* (2012) evaluaron el efecto de distintos niveles de energía y proteína en la dieta de pollos de lento crecimiento de la semana 0 a 8. Observaron que la dieta con la concentración más baja de energía metabolizable (2400 kcal/kg) afecta la ganancia de peso en los animales, siendo las dietas de mayor concentración (2800 kcal/kg) las que permiten maximizarla. La concentración de proteína en la dieta no tuvo efecto sobre la tasa de crecimiento en los pollos, por lo tanto, concluyeron que el nivel más óptimo para el

crecimiento fue de 16%. También mencionan que a menor concentración de energía el consumo de alimento fue mayor afectando de igual manera la conversión alimenticia.

Por otra parte, Wolde *et al.* (2011a) evaluaron distintos niveles de proteína cruda (14% a 22%) con el mismo nivel de energía metabolizable (3400 kcal/kg) en la dieta de los pollos Rhode Island Red, y concluyen que el requerimiento es de 16% de proteína cruda de la semana 0 a 13.

Wang *et al.* (2013) evaluaron el efecto de dos dietas con diferente concentración de proteína. Observaron que los pollos de lento crecimiento requieren en la dieta menor densidad de nutrientes, en comparación con los pollos de engorda.

2.11. Rendimiento de canal

En la actualidad, el promedio del rendimiento de canal de un pollo se encuentra alrededor del 70% (Melesse, 2014), sin embargo, Mikulski *et al.* (2011) reportan 76% para pollos de crecimiento lento y rápido. Por otra parte, hay reportes del rendimiento de canal de pollos Rhode Island Red, por ejemplo, Tera (2007) reporta 56%, Wolde *et al.* (2011a) reportan 63.7% y Martínez-Pérez *et al.* (2015) reportan 72.7%.

Nawaz *et al.* (2006) encontraron que el rendimiento de canal fue similar, sin diferencia significativa, en pollos Hubbard alimentados con 16, 17 y 18% de proteína cruda y 3000 kcal/kg de alimento, comparado con dietas que contenían 18, 19 y 20% de proteína cruda en la dieta, 3200 kcal/kg de alimento.

Hai y Blaha (2000) reportan que el rendimiento de canal de pollos de engorda no se ve afectado significativamente ($p>0.05$) cuando las dietas contienen 20 y 23% de proteína cruda. Sin embargo, Kamran *et al.* (2004) reportan rendimiento de canal mayor con 20% de proteína cruda en la dieta comparada con 23%, cuando las dietas fueron suplementadas con aminoácidos esenciales.

Por otro lado, Wolde *et al.* (2011a) evaluaron distintos niveles de proteína cruda (14% a 22%) con 3400 kcal/kg energía metabolizable en la dieta de pollos Rhode Island Red, y sus

resultados indican que no hay diferencia estadística ($p > 0.05$) en el rendimiento de canal cuando el nivel de proteína cruda en la dieta es de 16%, en comparación con los niveles mayores. Bregendahl *et al.* (2002) mencionan que dicha situación puede deberse a que el bajo nivel de proteína cruda, es suficiente para sintetizar aminoácidos no esenciales.

En conclusión, es importante realizar evaluaciones sobre la respuesta productiva de los pollos RIR, con la finalidad de acercarse a las necesidades de EM y PC; debido a la escasa información que se encuentra, y consecuentemente lograr un balance adecuado de los nutrientes para evitar desperdiciarlos y reducir costos de producción.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la respuesta productiva a distintas concentraciones de energía metabolizable y proteína cruda sobre el crecimiento de pollos Rhode Island Red de 17 a 119 días de edad, bajo condiciones climáticas de Yucatán, México.

3.2. Objetivo específico

Evaluar la respuesta del crecimiento con base en los niveles de energía metabolizable y proteína cruda.

Evaluar el rendimiento de la canal y de la grasa abdominal de 92-119 días de edad.

4. HIPÓTESIS

Dado el menor potencial de crecimiento de los pollos RIR se espera que el mejor comportamiento productivo se encuentre cercano a los niveles bajos de energía metabolizable y proteína cruda ofrecidos en la dieta.

5. REFERENCIAS

- Almasi, A., Andrassyne, B. G., Milisits, G., Kustosne, P.O., Suto, Z. 2015. Effects of different rearing systems on muscle and meat quality traits of slow- and medium-growing male chickens. *British Poultry Science*. 56(3): 320-324. DOI: 10.1080/00071668.2015.1016478.
- Attia, Y. A.; Hassan, R. A.; Qota, E. M. A. 2009: Relief of negative effects from heat stress on slow-growing chicks in the tropic 1: effect of different levels of ascorbic acid and betaine. *Tropical Animal Health and Production* 41: 807–818.
- Baker, D. H., and Y. Han. 1994. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poultry Science*. 73:1441–1447.
- Bas, D., and I. H. Boyaci. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. 78: 836–845.
- Bregendahl, K., Sell J. L., Zimmerman, D. R. 2002. Effect of low protein diet on performance and body composition of broiler chicks. *Poultry Science*. 81(8): 1156-1167.
- Campos, A., Salguero, S., Albino, L., Rostagno, H., 2008. Aminoácidos en la nutrición de pollos de engorde: Proteína ideal. En: III CLANA - Congreso del Colegio Latino-Americano de Nutrición Animal. Cancún, México.
- Castellini, C., Berri, C., Le Bihan-Duval E., Martino, G. 2008. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poultry Science Journal*. 64: 500-513.
- Centeno, S. B., López, C. A., Juárez, M. A. 2007. Producción avícola familiar en una comunidad del municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla. *Técnica Pecuaria en México*. 45: 41-60

- Emmert, J. L., and D. H. Baker. 1997. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *The Journal of Applied Poultry Research*. 6(4): 462-470.
- Fanatico, A. C., Pillai, P. B., Emmert, J. L., Owens, C. M. 2007. Meat quality of slow- and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. *Poultry science*. 86: 2245-2255.
- Francesch, M. 2001. Sistemas para la valoración energética de los alimentos en aves. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 9: 35-42.
- Hai, D. I. y Blaha, J. 2000. Effect of low protein diets adequate in levels of essential amino-acids on broiler chicken performance. *Journal of Animal Science* 45: 429-436.
- Haunshi, S., Panda, A. K., Rajkumar, U., Padhi, M. K., Niranjana, M., Chatterjee, R. T. 2012. Effect of feeding different levels of energy and protein on performance of Aseel breed of chicken during juvenile phase. *Tropical Animal Health and Production*. 44: 1653–1658. DOI 10.1007/s11250-012-0120-6
- Horsted, K., Allesen-Holm, B. H. y Hermansen, J. E. 2010. The effect of breed and feed-type on the sensory profile of breast meat in male broilers reared in an organic free-range system. *British Poultry Science*. 51: 515–524.
- Kamran Z., Mirza M.A., Haq A.U. & Mahmood S. 2004. Effect of decreasing dietary protein levels with optimum amino-acids profile on the performance of broilers. *Pakistan Veterinary Journal* 24: 165-168.
- Kang, C. W., Sunde, M. L., Swick, R. W. 1985 Growth and Protein Turnover in the Skeletal Muscles of Broiler Chicks. *Poultry Science*. 64: 370-379.
- Khuri, A. I. 2006. *Response Surface Methodology and Related Topics*. World Scientific Publishing Co. Inc, Danvers, MA.

- Kobayashi, H., K. Nakashima, A. Ishida, A. Ashihara, y M. Katsumata. 2013. Effects of low protein diet and low protein diet supplemented with synthetic essential amino acids on meat quality of broiler chickens. *Animal Science Journal*. 84: 489-495. doi: 10.1111/asj.12021
- Lands, L.C., Grey, V.L., Smountas, A.A., 1999. Effect of supplementation with a cysteine donor on muscular performance. *Journal of Applied Physiology*. 87(4): 1381–1385
- Lecker, S. H., Jagoe, R. T., Gilbert, A., Gomes, M., Baracos, V., Bailey, J., Price, S. R., Mitch, W. E., Goldberg, A. L. 2004. Multiple types of skeletal muscle atrophy involve a common program of changes in gene expression. *Federation of American Societies for Experimental Biology*. 18: 39–51.
- Leeson, S., y Summers, J. D. 2001. *Nutrition of the Chicken*. 4th Edit. University Books, Guelph, Ontario, Canada.
- Lessire, M. 2004. Valores Nutritivos para las aves. In: *Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero: Cerdos, Aves, bovinos, caprinos, Conejos, caballos y peces*. Mundi-Prensa Libros. Madrid, España. pp 37-42.
- Li, Q., Xu, Z., Liu, L., Yu, H., Rong, H., Tao, L., Zhang, X., Chen, X., Gu, D., Fan, F., Li, X., Ge, C., Tian, Y., Jia, J. 2013. Effects of breeds and dietary protein levels on the growth performance, energy expenditure and expression of avUCP mRNA in chickens. *Molecular Biology Reports*. 40(4): 2769–2779. DOI 10.1007/s11033-012-2030-0
- Martínez-Pérez, M. Sarmiento-Franco, L. Santos-Ricalde, R. H., Sandoval-Castro, C., Baas-Osorio, A., Safwat, A. M., Cárdenas-Guillermo, V. 2015. Curva de crecimiento y comportamiento productivo de pollos Rhode Island Red en exterior con la inclusión de *Mucuna pruriens* procesada, en la etapa de crecimiento. Sin publicar.

- McDonald, M. L., y Swick, R. W. 1981. The effect of protein depletion and repletion on muscleprotein turnover in the chick. . Biochemical Journal. 194:811-819.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G. 2011. Animal nutrition. Pearson Education Limited. Seventh edition.
- Melesse, A. 2014. Significance of scavenging chicken production in the rural community of Africa for enhanced food security. World's Poultry Science Journal. 70: 593-606. doi: 10.1017/S0043933914000646
- Mikulski, D., Celej, J., Jankowski, J., Majewska, T., Mikulska, M. 2011. Growth Performance, Carcass Traits and Meat Quality of Slower-growing and Fast-growing Chickens Raised with and without Outdoor Access. Asian-Australasian Journal of Animal Science. 24(10): 1407-1416. DOI: dx.doi.org/10.5713/ajas.2011.11038
- Moss, F. P. 1968. The relationship between the dimensions of the fibres and the number of nuclei during normal growth of skeletal muscle in the domestic fowl. The American Journal of Anatomy. 122(3): 555-563.
- Nawaz, H., Mushtaq, T., Yaqoob, M. 2006. Effect of varying levels of energy and protein on live performance and carcass characteristics of broiler chicks. Pakistan Journal of Poultry Science 43(4): 388.
- Nesheim, M.C. 1968. Genetic variation in arginine and lysine utilization. Federation Proceedings. 27(5): 1210-1214.
- NRC, 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington D.C., USA.155.
- Pesti, G. M. 2009. Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broiler feeds on biological performance. The Journal of Applied Poultry Research. 18: 477–486.

- Rama Rao, S.V., Panda, A.K., Raju, M.V.L.N., Shyam Sunder, G., Bhanja, S.K. & Sharma R.P., 2005. Performance of Vanaraja chicken on diets containing different concentrations of metabolizable energy. *Indian Journal of Poultry Science*, 40(3): 245–248
- Ren, L. Q., Tan, H. Z., Zhao, F., Zhao, J. T., Zhang, J. Z., Zhang. H. F. 2012. Using corn starch as basal diet to determine the true metabolizable energy of protein feedstuffs in Chinese Yellow chickens. *Poultry Science*. 91(6): 1394–1399. DOI: [dx.doi.org/10.3382/ps.2011-01838](https://doi.org/10.3382/ps.2011-01838)
- Rizzi C., Contiero B. y Cassandro M. 2013. Growth patterns of Italian local chicken poulations. *Poultry Science*. 92(8): 2226-2235
- Rosegrant, M. K., Tokgoz, S., Bhandary. P. 2012. The new normal? A tighter global agricultural supply and demand relation and its implications for food security. *American Journal of Agricultural Economics Advance*. 95(2): 303-309. DOI: 10.1093/ajae/aas041
- Rostagno, H. S., Teixeira, L. F., Hannas, M. I., Lopes, J., Kazue, N., Gilherme, F., Saraiva, A., Teixeira de Abreu, M., Borges, P., de Oliveira, R. F., de Toledo, S. L., de Oliveira, C. 2017. Tablas brasileñas para aves y cerdos. Composición de alimentos y requerimientos nutricionales. Cuarta edición. Pp: 259.
- Sirri, F., Castellini, C., Bianchi, M., Petracchi, M., Meluzzi, A., Franchini, A. 2011. Effect of fast-, medium- and slow-growing strains on meat quality of chickens reared under the organic farming method. *Animal*. 5(2): 312-319.
- Steel, R. G. D. y Torrie, J. H. 1988. *Bioestadística: principios y procedimientos*. Segunda edición. McGrawll-Hill. Pp:231-232.
- Sundrum, A. 2006. Protein supply in organic poultry and pig production. Proc. 1st IFOAM Int. Conf. Anim. Organic Prod., St. Paul, MN, Aug. 23–25, 2006.

- Tera A. 2007. Assessment of the impact of feeding fish meal prepared at small scale level on feed intake, growth, and carcass traits of Rhode Island Red chicks. (Tesis de maestría). Hawassa University, Hawassa, Ethiopia. Pp: 75, 77, 80, 84.
- Tesseraud, S., Bouvarel, I., Collin, A., Audouin, E., Crochet, S., Seiliez, I., Letterier, C., 2008. Daily variations in dietary lysine content alter the expression of genes related to proteolysis in chicken pectoralis major muscle. *The Journal of Nutrition*. 139: 38–43.
- Todd, J. A., Roselina, A. 2014. Nutrient requirements of poultry publication: History and need for an update. *The Journal of Applied Poultry Research*. 23(3): 567-575. doi: 10.3382/japr.2014-00980
- Vinuesa, P., Merino, E., Gutiérrez, R. M. 2016. Curso Fundamental: Análisis estadístico en ciencias biológicas utilizando R. Disponible en: http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema9_regresion.pdf
Consultado: 2/06/2017.
- Wang, X. Q., X. Chen , H.Z. Tan , D.X. Zhang , H.J. Zhang , S. Wei & H.C. Yan. 2013. Nutrient density and slaughter age have differential effects on carcass performance, muscle and meat quality in fast and slow growing broiler genotypes. *British Poultry Science*. 54: 50-61. DOI: 10.1080/00071668.2012.745927.
- Wolde, S., Negesse, T., Melesse, A. 2011b. The effect of dietary protein concentration on nutrient utilization of Rhode Island Red chicken in Wolaita (southern Ethiopia). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14:271-278.
- Wolde, S., Negesse. T., Melesse, A. 2011a. Effect of dietary protein concentration on feed intake, body mass gain and carcass traits of Rhode Island Red chicken. *Journal of Science and Development*. 1:53-64.
- Zhao, J. P., Chen, J. L., Zhao, G. P., Zheng, M. Q., Jiang, R. R., Wen, J. 2009. Live performance, carcass composition, and blood metabolite responses to dietary

nutrient density in two distinct broiler breeds of male chickens. *Poultry Science*.
88(12): 2575–2584. doi: 10.3382/ps.2009-00245

6. ARTÍCULO

Artículo elaborado para la revista *British Poultry Science*

Evaluation of the productive response of metabolisable energy and crude protein in the diet in different concentrations, on growing Rhode Island Red male chickens, in Yucatán, México

A. BAAS-OSORIO, L. SARMIENTO-FRANCO, R. SANTOS-RICALDE AND J. SEGURA-CORREA

Department of Animal Nutrition, Faculty of Veterinary Medicine, University of Yucatan.

Correspondence to: Luis Sarmiento, Department of Animal Nutrition, Faculty of Veterinary Medicine, University of Yucatan. E-mail: luis.sarmiento@correo.uady.mx

ABSTRACT

1. The objective of current study was to evaluate the productive response of different dietary amounts of both metabolisable energy (ME) and crude protein (PC) in growing Rhode Island Red male chickens from 17 to 119 days-old.
2. The experiment consisted in three feeding phases (17–56, 57–91, 92–119 days old). The experimental arrangement was a factorial 2x3 for each feeding phase: two ME amounts (2900 and 3100 kcal/kg), which were constant in the experiment and three PC amounts that were 22, 20 and 18% (17–56 days-old); 20, 18 and 16% (57–91 days-old); 18, 16 and 14% (92–119 days-old).
3. Two batches of seventy-two Rhode Island Red chickens each one were used. The first batch was used for the first feeding phase (17–56 days old) and the second batch for the second and third feeding phase (57–119 days old). For obtaining an approximation of ME and CP requirement it was used the response surface methodology (RSM), for each phase.

4. The body weight gain (BWG) and feed intake (FI) were greater from 17–56 days-old with 2900 kcal/kg in the diet, from 57–119 days-old there was not a significant effect. The FI increased with 2900 kcal/kg in the diet from 17–91 days-old. Chickens had a higher BWG from 92–119 days-old when 16% CP was included in the diet. Protein efficiency was better from 17–119 days-old when low CP concentration was included in the diet.

5. It was concluded that for obtaining greater BWG, the diets should contain 2900 kcal/kg; on the other hand, in order to decrease FI and FCR it should be used 3100 kcal/kg, however, BWG is negatively affected. An approximation of CP requirement in the diet for the first feeding phase would be 21.3%, for the second 19.2% and for the last one 17.1%.

Key Words: Requirements approximation, slow-growing, response surface, Rhode Island Red chickens.

INTRODUCTION

The poultry, with a slow growing ratio, is used in different production systems such as the backyard poultry farming, which allows the poor people to produce their food (Centeno *et al.*, 2007). On the other hand, this poultry is used in free range systems and semi-intensive grazing because they have characteristics to make them easily adapt to the climatic conditions of the environment (Rizzi *et al.*, 2013).

There are several reports showing that slow-growing chickens are less efficient in meat production (Almasi *et al.*, 2015; Rizzi *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2013) but their meat can be healthier compared to commercial poultry meat that actually contains less fat and more polyunsaturated fatty acids than broilers medium- and rapid-growing (Martínez-Pérez *et al.*, 2017).

In the last few years, the CP and ME for animal consumption have increased their prices, directly affecting the cost production of animal meat (Ren *et al.*, 2013; Rosegrant *et al.*, 2013). Therefore, the nutrient balance is a critic topic because there is a direct relationship between the animal performance and the nutrient density in the feed (Horsted *et al.*, 2010).

Furthermore, slow growing poultry does not need a high concentration of CP and ME in the diet for growing and development (Sundrum *et al.*, 2006). Despite the National Research Council (NRC, 1994) proposing requirements of ME and CP for poultry, there are no consistent reports in slow-growing breeds, only for commercial genetic lines (Wang *et al.*, 2013), not even for Rhode Island Red chickens (Wolde *et al.*, 2011b).

Thus, it is important to know the energy and protein requirements with the purpose of implementing feeding strategies to take full advantage of the maximum amount of nutrients offered in the diet. The objective of the current study is to evaluate the response productive of ME and CP in different amounts on growing in 17–119-day-old Rhode Island Red chickens under tropical conditions of Yucatan.

MATERIALS AND METHODS

Study site

The experimental work was carried out from July to November 2016, using the animal nutrition area at the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, University of Yucatan, Mexico (FMVZ-UADY). The climate is subhumid with an average annual rainfall of 1100 mm, rainfall occurs in summer from June and October. The average annual temperature is 26°C, the average maximum temperature is around 36°C and occurs in May, the average minimum temperature is 16°C and it is in January.

Animal management

Two batches of one-day-old Rhode Island Red chickens were used for the following: The first batch was used for the first feeding phase (17–56 days old) and the second was used for the second and third feeding phases (57–91 and 92–119 days old, respectively). Both batches arrived in July 2016. At the arrival of the first batch, the chickens were weighted to arrange them into 6 groups with similar body weight means; Likewise, the chickens remained in the floor cages from 0–16 days old and each group was fed with one respective diet of the first feeding phase. When the chickens were 17-days-old, they were individually placed in elevated cages, using a completely randomised design.

At the arrival of the second batch, the chickens were received and randomly assigned to floor cages. The chickens remained in floor cages during the 7 weeks. In the 8th week, they were weighted and assigned to 6 groups with the same means to start the test in the ninth week of age (57-day-old). In the third phase, the same chickens of the previous phase were used. The chickens were weighted and the gain in their body weight was recorded weekly.

The floor cages used for both batches were equipped with a push-fit drinker and tray feeders during the first week of age. Automatic bell drinkers and hanging feeders were used later.

Characteristics of diets

Three phases were assigned in the test with a feeding program for each one. The feeding program consisted of two amounts of ME (2900 and 3100 kcal/kg), which were constant along the test and three amounts of CP that decreased by 2% from one phase to another. In the first phase, 18, 20 and 22% of CP in diet was used. In the second and third phase, 16, 18 and 20% and 14, 16 and 18% of CP in the diet were used, respectively. Lysine and methionine percentage were balanced according to NRC (1994), maintaining an approximated relation of 2:1 (100:46).

Soybean meal and maize were used as the main ingredients in the test for balancing diets. The feed was mixed in the experimental area of animal nutrition and the proximal analysis was carried out at the animal nutrition laboratory, FMVZ-UADY (Table 1).

Chickens were offered feed *ad libitum* every day and the rejection was weighed every seven days to calculate the accumulated intake. The ME intake, CP intake, protein efficiency ratio (PER, gain per gram of protein intake) and energy efficiency ratio (EER, gain per 1 kcal of ME intake) were also determined. Carcass yield was expressed as the percentage of final live weight when nonedible components are removed (head, feet, liver, gizzard, heart, blood, feathers, gastrointestinal tract, lungs, trachea and kidneys).

Statistical analyses

The arrangement of the experiment was a factorial design, completely randomized, with 12 replicates per treatment. The body weight gain (BWG), feed intake (FI), feed conversion (FC), crude protein intake (CPI), metabolisable energy intake (MEi), protein efficiency ratio (PER), energy efficiency ratio (EER), carcass performance and abdominal fat, were analysed through variance analysis with the statistics package SAS version 9.4. The mathematical model was: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk}$

Where:

Y_{ijk} is the ijk -th observation in the i -th level of factor A (ME) and j -th level of factor B (CP); μ is the general mean; α_i is the effect of i -th level factor A; β_j is the j -th level of factor B; $\alpha\beta_{ij}$ is the interaction of i -th level factor A with the j -th level of factor B; and e_{ijk} is the random error.

Only BWG was the unique variable analysed using the tool RSM of statistics package Minitab® 17, since from this variable was obtained the requirements in each feeding phase.

The mathematical model was: $Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_i a_i + \beta_j b_j + \beta_{ii} a_i^2 + \beta_{jj} b_j^2 + \beta_{ij} a_i b_j + e_{ijk}$

Where:

Y is the response of interest; β_0 is the intercept and β_i linear effect of factor A on the response of interest; β_j is the linear effect of factor B on the response of interest; β_{ii} is the quadratic effect of factor A on the response of interest, β_{jj} is the quadratic effect of factor B on the response of interest; β_{ij} is the interaction of factor A with level of factor B on the response of interest; a_i is the effect of level factor A; b_j is the level of factor B; $a_i b_j$ is the interaction of level factor A with level of factor B; and e_{ijk} is the random error.

RESULTS

ME was sufficient with 2900 kcal/kg in the diet to obtain a higher BWG, FI and FCR compared to the high level (3100 kcal/kg), which was observed from the time they were 17 to 56-days-old. The chickens that consumed 2900 kcal ME diets had a higher CP intake and ME intake but less PER (**Table 2**). From the time chickens were 57–91 days old, those that

consumed 2900 kcal of ME had higher FI, CP intake and EER but same FCR, compared with the 3100 kcal (**Table 3**). From the time between 92 to 119-days-old, higher EER with 2900 kcal of ME was observed (**Table 4**).

From 92–119 days of age, CP had a significant effect on the BWG, where the highest response was observed with the middle level (16%) in the diet. With 16 and 18% CP in the diet, it was the higher CP intake, while 14% CP resulted in better PER. From the time they were 57–91 days old, with 18 and 20% CP, it was a lower FCR and higher EER; with 18 and 16% CP, it was better PER.

CP intake was significantly higher with high CP levels in the diet (22, 20 and 18%) for 17–56, 57–91 y 92–119 days of age, respectively. Nevertheless, the PER was lower with these CP levels in the diets. The interaction of factors was observed on the FI, CP intake and ME intake from 57–91 days old (Figure 1, 2 and 3). There was no effect of the factors or interaction between them, neither for carcass yield nor for abdominal fat.

Table 5 shows the BWG response surface for the first feeding phase. CP had no linear or quadratic significant effect. The response to ME was a linear effect. The response surface analysis indicates that the optimum level for CP in the diet was 21.3% and 2900 kcal/kg of ME to reach 870.2g of BWG. The model explaining the BWG response is as follows:

$$\text{BWG} = -512 - 0.3746 (\text{EM}) + 232 (\text{PC}) - 5.46 (\text{PC})^2$$

Table 5 shows the BWG response surface for the second feeding phase. CP had no linear or quadratic effect. ME concentration had no effect on the response. Response surface analysis indicates that the optimum level for both CP and ME were 19.2% and 2900 kcal/kg, respectively, to reach 816.30g of BW. The BWG response is explained by the following model:

$$\text{BWG} = -852 - 0.1657 (\text{EM}) + 224 (\text{PC}) - 5.85 (\text{PC})^2$$

Table 5 shows the response surface for the third feeding phase and it is observed that the CP had a quadratic effect while ME had no effect. The response surface analysis indicates

that the optimum amount for CP in the diet is 17.1% and 2900 kcal/kg of ME to reach 852.4g of BW. The model explaining the BWG response is as follows:

$$\text{BWG: } -3621 + 0.024 (\text{EM}) + 525 (\text{PC}) - 15.66 (\text{PC})^2$$

DISCUSSION

Effect of metabolisable energy

Some recommendations regarding dietary ME concentrations in slow-growing chickens and their effect on the BWG are described in the literature. Nahashon *et al.* (2006) reported 3100 kcal/kg of ME; Raju *et al.* (2004) and Li *et al.* (2013) mentioned 2900 kcal/kg and Haunshi *et al.* (2012) found that 2800 kcal/kg is sufficient to maximise the BWG. These reports indicate that the range of ME for slow-growing chickens could be between 2800 and 3100 kcal/kg of ME; the differences reported can be attributed to the particular growth rate of each genotype used.

The results of the current study are within the range of the previous reports, considering that in the first feeding phase (17–56 days old) the RIR chickens obtained higher BWG with 2900 kcal/kg of ME. This is attributed to the higher feed intake and consequently high CP and ME intakes; in comparison to those chickens whose diet contained 3100 kcal/kg, which, in an attempt to regulate its ME intake, consumed less ME and therefore, had lower BWG. Zhao *et al.* (2009) and Wang *et al.* (2013) also described a positive relationship between high feed intake and higher BWG in chickens.

In the last two feeding phases (57–91 and 92–119 days old), there was no effect of dietary ME concentration on the BWG in agreement with Raju *et al.* (2004), Haunshi *et al.* (2012) and Abudabos (2014). However, in the second feeding phase (57–91 days old), the chickens had significant decrease in their feed intake when they consumed 3100 kcal/kg, causing both lower CP intake and EER, compared to those chickens that consumed 2900 kcal/kg in the diet. In the period of 92–119 days of age, EER was significantly better with 2900 kcal/kg ME in the diet, although the BWG and feed intake were similar. This could be due to the high relationship ME: CP in the diet with 3100 kcal/kg.

The PER result was lower when the diet contained 2900 kcal/kg of ME when compared to 3100 kcal, probably due to the low caloric content in the first diet, inducing the chickens to consume more feed; therefore, the relationship between the BWG and CP intake was higher compared to those chickens consuming diets with 3100 kcal/kg.

The differences in the feed intake from the current study indicate that it depends on the concentration of ME in the feed because the chickens eat to meet their energy needs (Haunshi *et al.*, 2012; Iqbal *et al.*, 2014; Rama Rao *et al.*, 2014).

Carmona *et al.* (2016) mentioned that abdominal fat increases as the age advances; in addition, Raju *et al.* (2004) and Akbari *et al.* (2016) reported that this increment is directly proportional to the ME in the diet. The carcass yield weight also increments when age advances and ME increases in the diet. However, from the time they were 92–119 days-old, the aforementioned phenomenon, neither for abdominal fat accumulation nor for carcass yield, was observed in the current study; this may be due to the fact that there were no differences in the ME intake.

Effect of crude protein

In slow-growing chickens, Mosca *et al.* (2016) recommended 16% CP in the diet for birds from 0 to 180 days-old; while Li *et al.* (2013) mentioned that 17% CP should be used from 0 to 60 days-old and Haunshi *et al.* (2012) reported 18% CP from 0 to 56-days-old. These recommendations indicate that the requirement of CP in slow-growing chickens could be between 16 and 18% when given a single concentration during the growth period.

However, the current study used three schemes where the CP in the diet ranged between 22 and 14%. Similarly, Wolde *et al.* (2011) used five diets (14, 16, 18, 20 and 22% CP) for 1–91 days-old RIR chickens and recommended 16% CP in the diet; this differs with the current study, in which the chicken growth was split in phases because the requirement of nutrients is higher in the first weeks. Likewise, it is related to the rate of protein accretion in the body that is higher in the first two weeks of life (Kang *et al.*, 1985; Wen *et al.*, 2016).

The RSM recommends the use of intermediate levels (21.3, 19.2 and 17.1% CP for phase) as ideal to improve the BWG response. In contrast, when using the ANOVA tool, the recommendations vary (18, 16 and 16% CP). The use of RSM was considered since it has a potential to adjust the behaviour of the dependent variable, when performing a multiple regression analysis with the independent variables (Khuri *et al.*, 2006; Mehri *et al.*, 2012).

Using the RMS (from 92–119 days-old) it was found that the CP level in the diet had a quadratic effect on the BWG. Although the CP intake had no significant effect on BWG when diets were 16 and 18% concentrations, there was a difference between one and another diet of 27g of CP intake that caused a significant decrease of 73g of BWG. This difference may have been because the CP intake was excessive, since there is a direct relationship between CP intake and uric acid level in the blood, derived from the amino acid catabolism of the diet (Hernández *et al.*, 2012). In fact, there is greater nitrogen excretion or fat deposition through lipogenesis according to Buyse *et al.* (1992), which leads to a higher energy expenditure affecting the growth performance (Hernández *et al.*, 2012).

In the current study, the CP in the diet had no effect on the feed intake in agreement with Alagawany *et al.* (2011) and Zeweil *et al.* (2011) feeding laying hens and Wolde *et al.* (2011) feeding RIR chickens; they did find high CP intake when the diet had high CP concentration. From 57–91 days, FCR significantly worsened with the low CP level (16%) in the diet, associated with a lower CP intake with low dietary levels and vice versa. Cheng *et al.* (1997) and Bregendahl *et al.* (2002) agreed with that finding and reported high FCR with low CP dietary levels.

From 17–56 and 92–119 days of age, the PER was better when chickens consumed low amounts of CP, in agreement with Cheng *et al.* (1997) and Haunshi *et al.* (2012).

From 57–91 days-old, the EER and PER were higher with 18% CP in the diet. It means that with 100 kcal ingested, there will be 13.6g of BWG and for every 100g of CP intake, there will be 227g of BWG. However, with a significant decrease of 16% in the EER 20% of the

PER decreased. This is due to the CP intake that directly affects these measurements (Cheng *et al.*, 1997; Haunshi *et al.* 2012).

In the current study, no effect of dietary CP on abdominal fat was observed, in agreement with Awad *et al.* (2014) and Wolde *et al.* (2011). Although in the third phase (92–119 days old) there was a quadratic effect of the CP on the GDP, this suggests that the N of the amino acids could be eliminated by the excreta, as mentioned previously (Hernández *et al.*, 2012). However, the number of observations could not be enough to show the significance in the detected trend (13 g/kg of abdominal fat difference).

Interaction of factors

The interaction of the main factors (ME and CP) was significant for the variables FI, CP intake and ME intake during the second feeding phase (57–91 days old). The best response was obtained with 20% CP and 2900 kcal in the diet. On the other hand, the chickens that consumed the diet with 16% CP and 3100 kcal, had a high feed intake. However, the lower CP intake obtained was not enough to cover the requirement of 57–91 days and the ME intake was very high, which could contribute to the greater deposition of body fat (McLeod *et al.*, 1991; Zeng *et al.*, 2015), taking into account that fat synthesis requires higher ME than CP synthesis.

With the diets of 18% CP, the concentration of ME had no influence on the CP intake, consuming similar amounts of CP as the 20% diet and 3100 of ME. With this last diet, having high nutrient concentration, lower feed intake, high CP intake and lower ME intake were obtained. This imbalance in nutrient intake could cause adverse effects on the growth rate (Kamran *et al.*, 2008), causing a tendency in curvature on the BWG chickens in the response surface.

Conclusion

In the current study was concluded that for obtaining greater BWG, the diets should contain 2900 kcal/kg; on the other hand, in order to decrease FI and FCR it should be use 3100

kcal/kg, however, BWG is negative affected. The carcass performance and abdominal fat are not affected. An approximation of CP requirement in the diet for the first feeding phase would be 21.3%, for the second 19.2% and for the last one 17.1%.

REFERENCES

- ABUDABOS, A.M. 2014. Effect of fat source, energy level and enzyme supplementation and their interactions on broiler performance. *South African Journal of Animal Science*. 44(3): 280-287.
- AKBARI S.M., A.A. SADEGHI, M. AMINAFSHAR, P. SHAWRANG and M. CHAMANI. 2016. The effect of using different energy sources on growth and some carcass characteristics in Cobb 500 broiler chicks. *Research Opinions in Animal & Veterinary Science*. 6(3): 84-88.
- ALAGAWANY, M., M.M. EL-HINDAWY, A.A. ALI, and M.M. SOLIMAN. 2011. Protein and total sulfur amino acids relationship effect on performance and some blood parameters of laying hens. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*. 14(3): 477-487.
- ALMASI, A., B.G. ANDRASSYNE, G. MILISITS, P.O. KUSTOSNE, and Z. SUTO. 2015. Effects of different rearing systems on muscle and meat quality traits of slow- and medium-growing male chickens. *British Poultry Science*. 56(3): 320-324. DOI: 10.1080/00071668.2015.1016478
- BREGENDAHL, K., J.L. SELL, and D.R. ZIMMERMAN. 2002. Effect of low protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poultry Science*. 81(8): 1156-1167.

- BUYSE, J., E. DECUYPERE, L. BERGHMAN, E.R. KUHN and F. VANDESANDE. 1992. The effect of dietary protein content on episodic growth hormone secretion and on heat production of male broilers. *British Poultry Science*. 33(5): 1101–1109
- CARMONA, J.M., C.J. LOPEZ-BOTE, A. DAZA and A.I. REY. 2016. Fat accumulation, fatty acids and melting point changes in broiler chick abdominal fat as affected by time of dietary fat feeding and slaughter age. *British Poultry Science*. Advance online publication. DOI: 10.1080/00071668.2016.1187715
- CENTENO, S.B., C.A. LÓPEZ and M.A. JUÁREZ. 2007. Producción avícola familiar en una comunidad del municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla. *Técnica Pecuaria en México*. 45(1): 41-60
- CHENG, T.K., M.L. HAMRE and C.N. COON. 1997. Effect of environmental temperature, dietary protein, and energy levels on broiler performance. *The Journal of Applied Poultry Research*. 6(1):1-17.
- AWAD E.A., M. FADLULLAH, I. ZULKIFLI, A.S. FARJAM and L.T. CHWEN. 2014. Amino Acids Fortification of Low-Protein Diet for Broilers Under Tropical Climate: Ideal Essential Amino Acids Profile. *Italian Journal of Animal Science*. 13(2):3166. DOI: 10.4081/ijas.2014.3166
- HAUNSHI, S., A.K. PANDA, U. RAJKUMAR, M.K. PADHI, M. NIRANJAN and R.T. CHATTERJEE. 2012. Effect of feeding different levels of energy and protein on performance of Aseel breed of chicken during juvenile phase. *Tropical Animal Health and Production*. 44(7): 1653–1658. DOI: 10.1007/s11250-012-0120-6
- HERNÁNDEZ, F., M. LÓPEZ, S. MARTÍNEZ, M.D. MEGÍAS, P. CATALÁ and J. MADRID. 2012. Effect of low-protein diets and single sex on production performance, plasma metabolites, digestibility, and nitrogen excretion in 1- to 48-day-old broilers. *Poultry Science*. 91(3):683-692. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01735>

- HORSTED, K., B.H. ALLESEN-HOLM and J.E. HERMANSEN. 2010. The effect of breed and feed-type on the sensory profile of breast meat in male broilers reared in an organic free-range system. *British Poultry Science*. 51(4): 515–524.
- IQBAL, Z., A. MUGHAL, Z. KAMRAN, A. ALI and U. AHSAN. 2014. Effect of constant ME:CP at different levels of CP and ME on growth performance and meat characteristics of broilers from 1-28 days. *Archiva Zootechnica*. 17(2): 43-53.
- KAMRAN, Z., M. SARWAR, M. NISA, M.A. NADEEM, S. AHMAD, T. MUSHTAQ, T. AHMAD and M.A. SHAHZAD. 2008. Effect of Lowering Dietary Protein with Constant Energy to Protein Ratio on Growth, Body Composition and Nutrient Utilization of Broiler Chicks. *Asian-Australian Journal of Animal Science*. 21(11): 1629-1634. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70586>
- KANG, C.W., M.L. SUNDE and R.W. SWICK. 1985. Growth and Protein Turnover in the Skeletal Muscles of Broiler Chicks. *Poultry Science*. 64(2): 370-379.
- KHURI, A.I. 2006. Response Surface Methodology and Related Topics. *World Scientific Publishing Company*. Inc, Danvers, MA.
- LI, Q., Z. XU, L. LIU, H. YU, H. RONG, L. TAO, X. ZHANG et al. 2013. Effects of breeds and dietary protein levels on the growth performance, energy expenditure and expression of avUCP mRNA in chickens. *Molecular Biology Reports*. 40(4): 2769-2779.
- MCLEOD, M.G. 1991. Fat deposition and heat production as responses to surplus dietary energy in fowls given a wide range of metabolisable energy: Protein ratios. *British Poultry Science*. 32(5): 1097-1108.
- MEHRI, H., A.A. DAVARPANAH and H.R. MIRZAEI. 2012. Estimation of ideal ratios of methionine and threonine to lysine in starting broiler chicks using response surface methodology. *Poultry Science*. 91(3): 771–777. DOI: <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2011-01818>

- MOSCA, F., C.A. KUSTER, S. STELLA, G. FARINA, M. MADEDDU, L. ZANIBONI and S. CEROLINI. 2016. Growth performance, carcass characteristics and meat composition of Milanino chickens fed on diets with different protein concentrations. *British Poultry Science*. 57(4): 531-537. DOI: 10.1080/00071668.2016.1174768
- NAHASHON, S., N. ADEFOPE, A. AMENYENU and M. LEMA. 2006. Growth and Carcass Characteristics of French Guinea Broilers Fed Diets with Varying Concentrations of Metabolizable Energy. *Journal of Sustainable Agriculture*. 27(4): 25-43. DOI: 10.1300/J064v27n04_04
- RAJU, M.V.L.N., G. SHYAM SUNDER, M.M. CHAWAK, S.V. RAMA RAO and V.R. SADAGOPAN. 2004. Response of naked neck (Nana) and normal (nana) broiler chickens to dietary energy levels in a subtropical climate. *British Poultry Science*. 45(2): 186-193. DOI: 10.1080/00071660410001715786
- RAMA RAO, S.V., V. RAVINDRAN, M.V.L.N. RAJU, T. SRILATHA and A.K. PANDA. 2014. Effect of different concentrations of metabolisable energy and protein on performance of White Leghorn layers in a tropical climate. *British Poultry Science*. 55(4): 532-539. DOI: dx.doi.org/10.1080/00071668.2014.935997
- RIZZI C., B. CONTIERO and M. CASSANDRO. 2013. Growth patterns of Italian local chicken poulations. *Poultry Science*, 92(8): 2226-2235
- SIRRI F., C. CASTELLINI, M. BIANCHI, M. PETRACCI, A. MELUZZI, and A. FRANCHINI. 2011. Effect of fast-, medium- and slow-growing strains on meat quality of chickens reared under the organic farming method. *Animal*, 5(2):312-319.
- VAN EMOUS, R.A., R.P. KWAKKEL, M.M. VAN KRIMPEN, H. VAN DEN BRAND and W.H. HENDRIKS. 2015. Effects of growth patterns and dietary protein levels during rearing of broiler breeders on fertility, hatchability, embryonic mortality and offspring performance. *Poultry Science*. 94(4): 681-691. DOI: 10.3382/ps/pev024.

- WANG, X. Q., X. CHEN, H.Z. TAN, D.X. ZHANG, H.J. ZHANG, S. WEI and H.C. YAN. 2013. Nutrient density and slaughter age have differential effects on carcass performance, muscle and meat quality in fast and slow growing broiler genotypes. *British Poultry Science*. 54(1): 50-61. DOI: 10.1080/00071668.2012.745927.
- WEN, Z.G., Y.K. DU, M. XIE, X.M. LI, J.D. WANG, and P.L. YANG. 2017. Effects of low-protein diets on growth performance and carcass yields of growing French meat quails (*France coturnix coturnix*). *Poultry Science* 96(5): 1364–1369. DOI: dx.doi.org/10.3382/ps/pew321
- WOLDE, S., T. NEGESSE and A. MELESSE. 2011. The effect of dietary protein concentration on nutrient utilization of Rhode Island Red chicken in Wolaita (southern Ethiopia). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1): 271-278.
- ZENG, Q.F., P. CHERRY, A. DOSTER, R. MURDOCH, O. ADEOLA and T.J. APPLGATE. 2015. Effect of dietary energy and protein content on growth and carcass traits of Pekin ducks. *Poultry Science*. 94(3): 384-394.
- ZEWEIL, H.S., A.A. ABDALAH, M.H. AHMED and R.S.A. MARWA. 2011. Effect of different levels of protein and methionine on performance of baheij laying hens and environmental pollution. *Egyptian Poultry Science*. 31(2): 621-639.

Tables

Table 1. *Analysed and calculated values of the ingredients of experimental diets.*

Metabolisable energy (kcal/kg)	2900					3100				
Crude protein (%)	22	20	18	16	14	22	20	18	16	14
Ingredients										
Yellow maize	45.608	49.400	64.120	67.720	68.100	53.32	59.800	66.200	73.170	78.700
Soybean meal 45%	37.000	30.510	27.500	22.000	14.000	39.36	33.790	28.500	22.700	17.500
Wheat salvled	11.000	14.800	5.100	7.700	15.300	-	-	-	-	-
Soybean oil	3.716	2.580	0.500	-	-	4.670	3.600	2.500	1.400	1.000
Calcic carbonate	2.086	2.100	2.150	2.200	2.200	2.100	2.200	2.200	2.200	2.300
Methionine 99%	0.190	0.210	0.230	0.250	2.700	0.190	0.210	0.200	0.130	0.100
Vitamins premix	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Minerals premix	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
NaCl	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.00
Determinate analysis (%)										
Dry matter	89.77	90.21	89.87	90.13	89.93	89.46	90.38	90.26	90.43	90.13
Crude protein	23.02	20.55	18.81	16.32	14.72	22.88	20.72	18.61	16.66	14.31
Crude fibre	2.96	2.78	2.17	2.19	2.87	2.56	1.93	2.38	1.57	1.51
Calculate analysis										
Metabolisable energy (kcal/kg)	2902	2900	2923	2924	2900	3100	3099	3100	3108	3143
Total phosphorus %	0.428	0.437	0.364	0.367	0.397	0.354	0.339	0.325	0.310	0.295
Calcium %	0.904	0.900	0.903	0.913	0.904	0.902	0.928	0.918	0.905	0.932
Total lysine (%)	1.205	1.056	0.946	0.817	0.642	1.220	1.080	0.947	0.802	0.669
Methionine (%)	0.510	0.505	0.508	0.446	0.417	0.510	0.506	0.475	0.382	0.330
Tryptophan (%)	0.287	0.257	0.224	0.198	0.166	0.280	0.249	0.219	0.167	0.157
Met + Cyst (%)	0.688	0.639	0.593	0.550	0.493	0.680	0.630	0.583	0.532	0.484

Table 2. *Metabolisable energy and crude protein effect on body weight gain (g), feed intake (g), feed conversion (g/g), crude protein intake (g), protein efficiency (g/g), metabolisable energy intake (kcal) and energy efficiency (%) from 17–56 days.*

Factors	BWG	FI	FC	CPI	MEi	PER	EER
ME (kcal/kg)							
2900	852.9 ^a	1832.2 ^a	2.15 ^a	366.3 ^a	5313.4 ^a	2.55 ^b	0.175
3100	779.0 ^b	1577.0 ^b	2.02 ^b	317.2 ^b	4888.5 ^b	2.70 ^a	0.174
CP (%)							
18	802.0	1699.8	2.12	306.0 ^b	5065.1	2.87 ^a	0.173
20	831.3	1752.7	2.11	350.6 ^a	5243.1	2.60 ^b	0.173
22	818.6	1679.3	2.05	369.4 ^a	5020.2	2.41 ^c	0.177
Root MSE	7.28	20.73	0.02	4.21	62.79	0.02	0.002
P value							
ME	< 0.0001	< 0.0001	0.0008	< 0.0001	0.001	<0.0001	NS
CP	NS	NS	NS	< 0.0001	NS	0.0005	NS
ME x CP	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

BWG= body weight gain; FI= feed intake; FC= feed conversion; CPI= crude protein intake; MEi= metabolisable energy intake; PER= protein efficiency ratio; EER= energy efficiency ratio; NS= not significant.

Table 3. Metabolisable energy and crude protein effect on BWG (g), feed intake (g), feed conversion (g/g), crude protein intake (g), protein efficiency (g/g), metabolisable energy intake (kcal) and energy efficiency (%) from 57–91 days.

Factors	BWG	FI	FC	CPi	MEi	PER	EER
<hr/>							
ME (kcal/kg)							
2900	795.46	2035.76 ^a	2.57	366.41 ^a	5903.7	2.19	0.135 ^a
3100	765.18	1919.32 ^b	2.52	346.07 ^b	5949.9	2.22	0.129 ^b
<hr/>							
CP (%)							
16	756.0	2009.73	2.66 ^a	321.56 ^c	6013.2	2.35 ^a	0.126 ^b
18	798.3	1958.69	2.46 ^b	352.56 ^b	5877.5	2.27 ^a	0.136 ^a
20	787.8	1966.39	2.50 ^b	393.28 ^a	5888.2	2.01 ^b	0.134 ^a
<hr/>							
Root MSE	8.02	18.02	0.02	3.25	54.42	0.02	0.001
<hr/>							
<i>P</i> value							
ME	NS	0.0029	NS	0.0017	NS	NS	0.0025
CP	NS	NS	0.0001	<0.0001	NS	<0.0001	0.0002
ME x CP	NS	0.0219	NS	0.0126	0.0238	NS	NS

BWG= body weight gain; FI= feed intake; FC= feed conversion; CPi= crude protein intake; MEi= metabolisable energy intake; PER= protein efficiency ratio; EER= energy efficiency ratio; NS= not significant.

Table 4. Metabolisable energy and crude protein effect on BWG (g), feed intake (g), feed conversion (g/g), carcass performance, abdominal fat (g/kg), crude protein intake (g), protein efficiency (g/g), metabolisable energy intake (kcal) and energy efficiency (%) from 92–119 days.

Factors	BWG	FI	FC	Carcass performance	Abdominal fat	CPi	MEi	PER	EER
ME (kcal/kg)									
2900	797.79	2828.21	3.55	67.31	33.01	453.1	8201.8	1.78	0.097 ^a
3100	795.40	2777.83	3.52	67.63	31.00	436.6	8611.3	1.84	0.093 ^b
CP (%)									
14	761.35 ^b	2739.87	3.62	67.08	38.21	383.5 ^b	8229.1	1.99 ^a	0.093
16	851.57 ^a	2925.84	3.44	67.43	32.95	467.9 ^a	8762.2	1.83 ^b	0.098
18	778.68 ^{ab}	2732.88	3.55	67.85	25.45	495.0 ^a	8195.9	1.58 ^c	0.095
Root MSE	13.50	14.56	0.32	0.27	3.46	7.43	138.82	0.02	0.001
<i>P</i> value									
ME	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.0189
CP	0.0006	NS	NS	NS	NS	<0.0001	NS	<0.0001	NS
ME x CP	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

BWG= body weight gain; FI= feed intake; FC= feed conversion; CPi= crude protein intake; MEi= metabolisable energy intake; PER= protein efficiency ratio; EER= energy efficiency ratio; NS= not significant.

Table 5. Orthogonal analysis of ME and CP effect on body weight gain.

	17-56 days	57-91 days	92-114 days
Term	<i>P value</i>	<i>P value</i>	<i>P value</i>
Linear	0.000	0.061	0.107
PC	0.626	0.122	0.461
EM	0.0002	0.051	0.864
Quadratic	0.134	0.153	0.0044
PC	0.134	0.153	0.0044
SEM	8.48	8.02	13.50
R ²	28.16	18.81	16.39

Figures

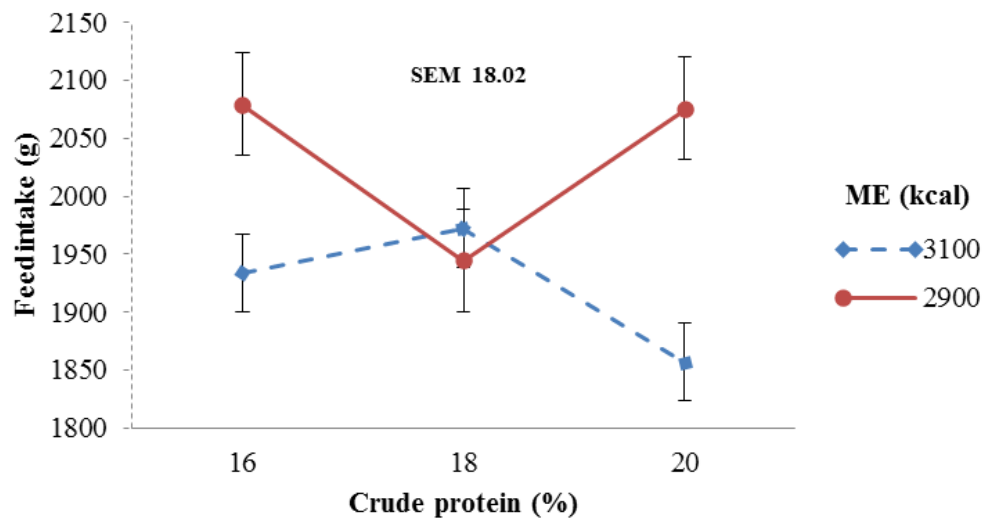


Figure 1. Interaction of crude protein and metabolisable energy for feed intake since 57–91 days old.

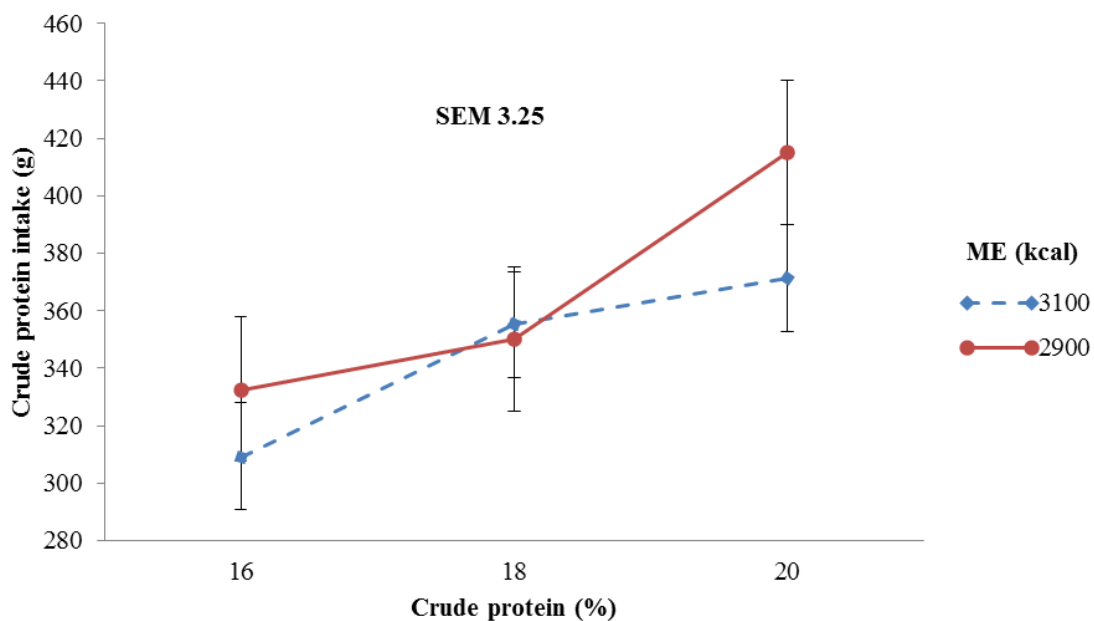


Figure 2. Interaction of crude protein and metabolisable energy for crude protein intake since 57–91 days old.

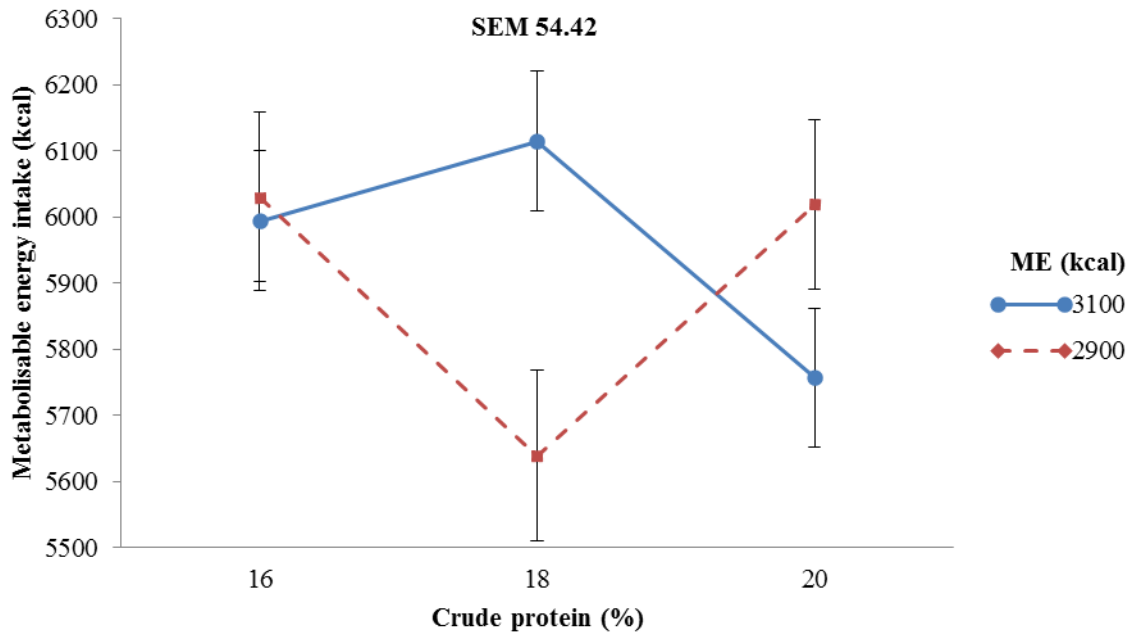


Figure 3. Interaction of crude protein and metabolisable energy for metabolisable energy intake since 57–91 days old.