

REVISIÓN DE LITERATURA

ENERGÍA METABOLIZABLE EN REPRODUCTORAS PESADAS: FACTORES QUE AFECTAN LOS REQUERIMIENTOS

Catalina Salas¹

RESUMEN

Las pollitas y reproductoras pesadas de hoy en día han sufrido cambios drásticos en rendimiento y composición corporal comparadas con las aves de hace 10 y 20 años atrás. Adicionalmente, los pollos de engorde también han presentado una mejoría en la eficiencia de la utilización de la energía de la dieta. La energía es bien conocida como uno de los nutrientes más costosos en la formulación de dietas para aves. El conocimiento de las mejorías en la utilización de la energía podría llevar a generar fórmulas de alimentos más específicas y a una reducción de los costos de producción. Es por esto que es importante conocer: ¿Cuál es el requerimiento de energía metabolizable (EM) de las reproductoras pesada actuales durante el pico de producción y durante el ciclo completo de 40 semanas de postura? ¿Existe un cambio en los requerimientos conforme las aves envejecen y disminuyen producción? ¿Cuál es el efecto del ambiente en que se encuentra las aves sobre la utilización de energía de la dieta? Un mejor conocimiento de las respuestas a estas preguntas puede ayudar a desarrollar recomendaciones nutricionales adecuadas para las reproductoras pesadas modernas.

Palabras clave: reproductoras pesadas, energía metabolizable, composición corporal, producción de huevo, ambiente

ABSTRACT

Today's broiler breeder pullets and hens have changed drastically in performance and body composition compared to birds of 10 to 20 years ago. Additionally broilers have also presented an improvement in the efficiency of energy utilization from the diet. Energy is well known to be one of the most expensive nutrients in the formulation of poultry feeds.

¹ Escuela de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Autor para correspondencia: catalina.salas@ucr.ac.cr

Recibido: Diciembre 2012 Aceptado: Febrero 2013

Knowledge of the improvements in the utilization of the energy could lead to more specifically formulated feeds and a reduction in feed costs. That is why it is important to know: What is the daily metabolizable energy (ME) requirement for today's broiler breeder hen at peak production and during the complete 40 week production period? Do the requirements change as the breeders' age and egg production decreases? What is the effect of the environment where the birds live? A better understanding of the answers for these questions can help develop adequate nutritional recommendations for the modern broiler breeder hens.

Keywords: broiler breeder hens, metabolizable energy, body composition, egg production, environment

INTRODUCCIÓN

La industria del pollo de engorde ha sido sometida a grandes cambios en las pasadas décadas. Gracias al mejoramiento genético, los pollos de engorde presentan mejoras anuales en los rendimientos productivos, lo cual hace que tengamos un ave de muy rápido crecimiento y gran eficiencia de utilización de los nutrientes. Estas mejoras genéticas también generan cambios inevitables a nivel de las madres de los pollos. Actualmente, se manejan aves muy diferentes a las utilizadas 50 años atrás, las aves modernas cuentan con una composición corporal diferente donde hay mayores niveles de deposición de carne y una pechuga más magra. Las nuevas características de estas aves nos hacen pensar que los requerimientos energéticos han cambiado significativamente y que eso ha tenido un impacto sobre la producción y rendimiento de las parvadas.

Se han encontrado reportes de reproductoras pesadas consumiendo hasta 643 kcal de energía metabolizable (EM) por día cuando las aves fueron alimentadas ad libitum (Lopez y Leeson 1995a), lo cual representa alrededor de 40% más de los requerimientos de energía sugeridos en la literatura (413 a 425 kcal/día). Cuando un sobreconsumo de nutrientes ocurre (o cuando la dieta está desbalanceada) las aves incrementan sus reservas corporales (Scott y Balnave, 1991). Diferentes problemas pueden surgir a partir de la sobrealimentación de las hembras, por ejemplo, dificultad para mantener un peso corporal óptimo durante la postura y una deposición excesiva de grasa que puede influenciar negativamente la fertilidad y la capacidad reproductiva de las aves.

El control adecuado de peso corporal y uniformidad en pollitas reproductoras es uno de los aspectos más importantes para obtener un buen rendimiento reproductivo durante el periodo de postura. Para poder llegar a la madurez sexual y tener una postura persistente, las pollitas deben tener una adecuada conformación con un nivel óptimo de masa proteica y adiposa. Variaciones en el consumo de alimento de parvadas desuniformes deben ser evaluadas pues afectan directamente la ganancia diaria de peso, la composición corporal y el rendimiento reproductivo de las aves; además, va mano a mano con el manejo de la alimentación y la nutrición del lote. Reproductoras que entran a postura con pesos corporales diferentes y escalas diferentes de conformación tienen potencialmente requerimientos de energía diferentes. Una de las interrogantes es cuánta energía metabolizable se debe alimentar a una parvada desuniforme.

Existen datos limitados que indiquen específicamente los requerimientos de aves reproductoras pesadas con diferentes pesos y conformación. La literatura indica que para reproductoras pesadas con restricción alimenticia, la energía en la dieta (más que la proteína) es el factor limitante para el ritmo de crecimiento (Pearson y Herron, 1981; Bornstein y Lev, 1982; Pearson y Herron, 1982; López y Leeson, 1995b). Cuando se suple suficiente energía, las aves presentan un incremento en el ritmo de crecimiento, pero no se obtienen respuestas similares en respuesta a la adición de más proteína (Bornstein et al., 1984).

Adicionalmente, la utilización de dicha energía es un importante componente del proceso productivo. Los mecanismos mediante los cuales las aves movilizan y depositan las fuentes de energía (en este caso en el huevo) tienen un impacto directo en el producto. El entendimiento de la utilización de la energía por parte del ave en postura ayudará a generar recomendaciones nutricionales adecuadas con la ventaja de tener un conocimiento más amplio del metabolismo de la gallina.

Requerimiento de energía metabolizable

En el campo, los programas de alimentación predominantes están basados en las guías de manejo proporcionadas por las principales casas de genética. La cuota de alimento es constantemente monitoreada y alterada de acuerdo a la etapa productiva de la parvada, la cual es usualmente disminuida poco después de la llegada a pico de postura o pico de masa de huevo. Sin embargo, otros factores como temperatura, peso corporal y

ganancia de peso también deben ser tomados en consideración antes de hacer cambios en las cantidades de alimento asignadas.

Desde el punto de vista calórico, los valores de requerimiento propuestos en la literatura van desde las 220 a 450 kcal/ave/d (Waldroup et al., 1976; Balnave et al., 1978; Bornstein et al., 1979; Pearson y Herron, 1981; Spratt y Lesson, 1987a; Spratt et al., 1990; NRC, 1994; Attia et al., 1995; Leeson y Summers, 2000; Leeson, 2003) dependiendo de la edad, etapa productiva, crecimiento y temperatura ambiental. En general, los requerimientos de EM y su eficiencia de utilización se han establecido gracias a estudios calorimétricos y técnicas de sacrificio comparativo. Las metodologías incluyen ensayos de alimentación y estudios de balances energéticos en donde las aves son alimentadas con diferentes niveles de energía y se mide la producción de calor.

Los modelos de energía han sido desarrollados principalmente para gallinas de postura comercial (Emmans, 1974; Peguri y Coon, 1988; NRC, 1994) y los modelos para reproductora pesada han sido extrapolados de esos resultados. Más recientemente, se han realizado estudios para determinar los requerimientos de energía para pollitas, reproductoras y pollo de engorde (Sakomura, 2004).

Peso corporal, composición corporal y madurez sexual

El cuerpo necesita energía para poder realizar sus funciones normales y mantenerse en su estado actual. La cantidad de energía requerida para mantener un balance de todas esas funciones y para evitar la pérdida o ganancia de peso es conocida como la energía para mantenimiento, con la cual el cuerpo es capaz de mantener el equilibrio dinámico de movilización de proteínas y grasa, mantener una temperatura corporal constante y realizar locomoción (Klasing, 2000; Sakomura, 2004). La base de energía para mantenimiento es el peso corporal metabólico, que es usualmente el peso corporal elevado a la potencia 0.75 (NRC, 1998), aunque algunos autores han desarrollado sus propios coeficientes.

Debido a la capacidad genética de rápido crecimiento, las reproductoras pesadas con pesos corporales mayores presentan un requerimiento más alto para mantenimiento y tienden a producir huevos pequeños al inicio de la postura que son inadecuados para la incubación (Bornstein et al., 1984). Es por eso que uno de los factores más importantes que afectan el rendimiento de las aves es el adecuado peso corporal y una ganancia de peso controlada.

La manera más común de evaluar requerimientos de energía para mantenimiento es la regresión lineal. En estudios de balance energético, la relación lineal entre el total de la energía retenida en el cuerpo y el total de energía ingerida determinarán el requerimiento para mantenimiento como el intercepto de la regresión (Farrell, 1974). La energía para mantenimiento puede ser afectada por una serie de factores como temperatura ambiental, edad, composición corporal, peso corporal, etapa productiva y diferencias genéticas (Sakomura, 2004). Valores de energía metabolizable para mantenimiento se muestran en la Cuadro 1 y se encuentran entre 87.2 a 116 kcal/kg^{0.75}.

Cuadro 1. Requerimientos de energía metabolizable para mantenimiento de reproductoras pesadas.

Referencia	EMm	Alojamiento
Johnson y Farrell 1983	87.2 kcal/kg ^{0.75}	Jaulas metabólicas
Spratt et al. 1990	87.7 kcal/kg ^{0.75}	Jaulas metabólicas
Sakomura 1996 y 2001	113 to 143 kcal/kg ^{0.75}	Jaulas de piso
Rabello et al. 2000	113 kcal/kg ^{0.75}	Piso
Rabello et al. 2004	91.30 kcal/kg ^{0.75}	Jaulas
Rabello et al.2006	112.8 kcal/kg ^{0.75}	Jaulas de piso
Romero et al. 2009a	107.6 to 115.6 kcal/kg ^{0.75}	Jaulas Individuales

La literatura indica que las aves con bajos pesos corporales tienden a retrasar el inicio de postura y ponen menos huevos que las aves medianas o pesadas. Se supone que los bajos pesos corporales en el momento de la madurez sexual se pueden deber a que el peso y la composición corporal límite son menores a ese peso obtenido (Robinson y Robinson, 1991) o a que las aves más pesadas sobrepasaron dicho límite antes de que fueran fotoestimuladas. Sin embargo, no es sólo un asunto de peso corporal, otros reportes indican que aves que inician postura con peso corporal mayor presentan menor

producción que las aves que entraron a postura con el peso recomendado (Robinson et al., 1993).

Aves con pesos corporales menores al momento de fotoestimulación producen menos huevos debido al atraso en la entrada a madurez sexual (Robinson y Robinson, 1991). Varios estudios indican que el peso corporal por sí solo no es el único factor determinante para alcanzar la madurez sexual pero apoyan la hipótesis de que existe un peso corporal límite que se debe alcanzar (Bornstein et al., 1984; Melnychuk et al., 2004; de Beer y Coon, 2007; Romero et al., 2009b). Hocking (2004) reportó una relación curvilínea entre el peso corporal y la edad de inicio de postura, que mayores pesos corporales tienden reducir la edad a primer huevo y que el consumo de energía es un factor limitante para el inicio de la postura en reproductoras pesadas con severa restricción alimenticia.

Renema et al. (1999) indicaron que aves que llegan a fotoestimulación con pesos corporales diferentes (estándar, 20% más pesadas y 20% más ligeras) presentan diferencias significativas para edad a la madurez sexual. Las aves más pesadas alcanzaron la madurez sexual 7,6 días (a las 24,46 semanas) antes de las aves con pesos estándar, mientras que las aves más ligeras se atrasaron 8,5 días (a las 26,76 semanas) respecto a las aves de peso estándar. Los autores encontraron que el peso corporal inicial está asociado con una reducción del tiempo de inicio de postura.

Gallinas alimentadas ad libitum no presentaron un mínimo de peso corporal o grasa corporal para iniciar la producción, lo que indica que la edad es también un requisito que se tiene que cumplir para el comienzo de la postura. Luego de que este mínimo de edad se ha cumplido, el inicio de la producción es dependiente del peso corporal (Bornstein et al., 1984). Romero et al. (2009c) encontraron que la reducción de la variabilidad de pesos corporales no afectó la edad, cantidad de folículos, peso de ovario y oviducto al momento de madurez sexual.

La composición corporal es también un factor importante para alcanzar la madurez sexual. La grasa corporal y un límite del pool de grasa parecen ser componentes importantes para el inicio de la producción (Bornstein et al., 1984). Aves con pesos corporales bajos tienden a ser más magras y a retardar su madurez sexual cuando se comparan con aves con perfil de peso mayor. Aves que son estimuladas a una edad más tardía (22 semanas) entran a postura con más lípidos en la canal y menos proteína corporal (Renema et al., 2007). El alto contenido de grasa de la yema de huevo representa una razón importante por la cual debe existir un almacenaje de grasa que

pueda ser fácilmente movilizado para el inicio de la producción. Un mayor grado de grasa parece estar asociado con el inicio de la ovulación y una mayor acumulación de grasa podría acelerar el inicio de la producción de huevo. Existen cambios marcados en el metabolismo de lípidos que afectan los lípidos hepáticos y sanguíneos al inicio de la oviposición (Bornstein et al., 1984).

Hocking (2004) reportó que el número de folículos amarillos normales al inicio de postura y la grasa abdominal están linealmente relacionados con peso corporal. Además, la edad a primer huevo se reduce de manera curvilínea con un aumento de peso corporal. La fuente de energía (carbohidratos y grasas) no afectó el inicio de la producción o la función ovárica. Sin embargo, las grasas abdominales más gruesas de las aves alimentadas con aceite en la dieta reflejan los mayores costos metabólicos de convertir carbohidratos a grasa en comparación con lípidos. No obstante, otros reportes indican que la grasa corporal parece no ser un factor limitante para alcanzar la madurez sexual (De Beer y Coon, 2007).

Romero et al. (2009c) reportaron que el alto potencial de desarrollo de músculo de las líneas de mayor rendimiento de pechuga puede influenciar que aves de menor peso corporal requieran mayores consumos para depositar suficientes lípidos antes de la madurez sexual. Los autores encontraron pesos similares de pechuga y grasa abdominal al momento de madurez sexual, lo cual puede indicar que las aves entran a postura con una composición uniforme.

Varios reportes indican que, masas magras y contenido de proteína uniformes en aves con consumo restringido son comunes en el momento de madurez sexual. Dichas masas de grasa o proteína son factores necesarios para el inicio de producción y que el contenido graso por sí solo no es suficiente para iniciar la madurez sexual, sino que puede existir un requerimiento de deposición magra (Bornstein et al., 1984; Soller et al., 1984; Wilson et al., 1995; Renema et al., 1999; Sun et al., 2006; De Beer y Coon, 2007). Reproductoras pesadas alimentadas *ad libitum* o restringidas tuvieron cantidades similares de proteína corporal total y diferentes cantidades de grasa al momento de puesta del primer huevo, lo cual indica que el contenido proteico de la canal es el principal limitante para alcanzar la madurez sexual (Sun et al., 2006).

Sin embargo, aves alimentadas con cantidades menores de alimento durante las primeras 19 semanas de vida tienen una tendencia a comenzar postura con una cantidad significativamente menor de niveles de proteína en la canal y valores numéricamente mayores de reservas de grasa e hígado más grandes. Esto indica que las aves pueden

comenzar a depositar el exceso de energía en la dieta como grasa corporal una vez que las cantidades alimentadas incrementan después de las 19 semanas (Wilson et al., 1995).

Durante la producción, a medida que la edad de las gallinas aumenta, el contenido proteico de las canales disminuye y los contenidos de grasa aumentan (Sun et al., 2006; de Beer y Coon, 2007). En general, existen pocas o nulas diferencias en las características de las canales de aves viejas a pesar de las diferencias en peso corporal, composición o asignación de alimento durante el periodo de levante (Robinson et al., 1995; Wilson et al., 1995; de Beer y Coon, 2007). Sin embargo, diferencias en peso vivo y composición corporal de gallinas viejas pueden ser atribuidas a factores nutricionales (Pearson y Herron, 1981; Spratt y Leeson, 1987b). La composición corporal está en función de las cantidades alimentadas y el ritmo de producción de huevo durante la última etapa de postura (Robinson et al., 1995).

Entonces es aparente que la gallina es capaz de adquirir y movilizar tejido corporal para compensar cantidades bajas de alimento o dietas desbalanceadas. Las reproductoras pesadas son capaces de movilizar tejidos corporales para realizar estas compensaciones sin causar daños a la producción por un periodo de ocho semanas (Neuman et al., 1998).

Energía Metabolizable y producción de huevo

Reportes en la literatura indican que reproductoras pesadas alimentadas con bajos niveles de energía son incapaces de mantener una producción de huevo adecuadamente (Spratt y Leeson, 1987b). Aves que recibieron de 300 a 330 kcal EM/d y perdieron peso, tuvieron mejor producción de huevo que las aves que recibieron la misma cantidad de calorías, ganaron peso y tuvieron un rendimiento más pobre, lo cual puede estar asociado a cambios en los requerimientos de energía. Sin embargo, esos niveles de energía pueden ser alimentados solo por cuatro semanas sin afectar significativamente en rendimiento (Neuman et al., 1998). Producciones máximas de huevo han sido reportadas con niveles de energía de 413 kcal EM/día para aves alojadas en jaulas de piso (Pearson y Herron, 1981).

Excesos de energía en el momento de madurez sexual y durante el inicio de postura resultan en menor producción de huevos, conversión alimenticia más pobre,

pesos corporales mayores y pesos de huevo mayores de lo óptimo para producción de pollitos (McDaniel y Brake, 1981; Pearson y Herron, 1981; Robinson et al., 1995). La energía extra le permite a la gallina ganar peso, lo cual va en detrimento de la producción de huevo. Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad de que la uniformidad de peso corporal afecta la producción de huevo, correcciones en el perfil corporal de las aves más ligeras de la parvada podrían mejorar la productividad del grupo (Romero et al., 2009c).

La mayoría de la información que se encuentra en la literatura que respecta al peso y composición del huevo está relacionada con el peso y la edad de la gallina. Lo anterior se encuentra indirectamente relacionada el consumo de EM, porque aves más pesadas (y con más edad) requieren más energía para mantenimiento, lo cual deja menos calorías disponibles para la formación del huevo. Robinson et al. (1995) reportaron que no existían diferencias significativas en peso de huevo para aves con diferentes pesos corporales a las 20 semanas de edad. Sin embargo, se ha reportado que el peso corporal inicial tiene un efecto en el promedio de peso de huevo de las aves. El peso de huevo inicial de las aves más livianas probablemente se compensa por el atraso en el inicio de la producción de las mismas (Renema et al., 1999; Romero et al., 2009c).

Respecto al consumo calórico de las gallinas, el peso del huevo responde a un incremento en el consumo de energía durante el periodo de transición de polla a gallina (Bornstein y Lev, 1982). Pearson y Herron (1981) reportaron pesos de huevo más altos de acuerdo a altos consumos de energía y proteína en su experimento (proporción proteína:energía de 6 g PC/100 kcal EM).

Los pesos de yema y albumen además de la proporción de yema:albumen aumentan conforme el ave aumenta en edad, lo anterior ocurre debido al incremento en la deposición de yema relativo a la deposición de albumen (Fletcher et al., 1981; Spratt y Leeson, 1987b; O'Sullivan et al., 1991; Peebles et al., 2000). Ahn et al. (1997) indicaron que proporciones de yema:albumen de huevos de gallinas tipo Leghorn era más alto entre las 55 a las 78 semanas de edad, mientras que la proporción fue menor a las 28 semanas.

Reproductoras pesadas alimentadas con niveles moderados o altos de energía (>450 kcal EM/d) producen un mayor porcentaje de yema comparado con las aves alimentadas con menos energía. Adicionalmente, el porcentaje de peso del albumen es mayor en huevos provenientes de aves que fueron alimentadas con niveles bajos vs. moderados de energía (Spratt y Leeson, 1987b; Peebles et al., 2000). Un alto contenido

de energía en la dieta podría comprometer la deposición de albumen en el huevo y promover la deposición de yema sin alterar al proporción yema:albumen (Peebles et al., 2000).

Toda la información anterior es de importancia porque un menor contenido de grasa en la yema podría estar relacionado con la alta mortalidad de pollitos originados de aves jóvenes (McNaughton et al., 1978). McNaughton et al. (1987) sugieren que esa disminución en viabilidad puede ser explicada por el hecho de que aves más maduras producen pollitos con más grasa corporal al momento del nacimiento.

Aparenta ser que la partición de la energía consumida entre el crecimiento corporal y la producción de huevo es extremadamente importante en las etapas iniciales de producción. Un incremento de 8% en la cantidad de yema puede proveer 4.7% de grasa adicional (en base seca) o 2.9 g de grasa en un huevo de 62 g (Spratt y Leeson, 1987b).

Energía Metabolizable, fertilidad, incubabilidad y peso de pollito.

El ciclo productivo de las reproductoras pesadas no termina hasta que nace el pollito. Huevos puestos a incubar que no nacen representan una pérdida para el proceso de producción y un indicador de que algo puede estar fallando en los galones de reproducción. La dieta de las aves puede tener un efecto importante en los índices de fertilidad e incubabilidad de las parvadas.

Pesos corporales bajos a las 20 semanas de edad han sido relacionados con bajos rendimientos de producción de pollitos y pobre fertilidad (Robinson et al., 1995). Un decrecimiento significativo en la fertilidad ha sido asociado con consumos de energía de 450 kcal/ave/día en el último trimestre del ciclo de postura. También, la incubabilidad se reduce cuyo la proporción de proteína:energía en la dieta es mayor a 6.28 g/100 kcal EM, con una reducción general conforme la proporción aumenta (Pearson y Herron, 1981). Estos resultados destacan la importancia de mantener una proporción adecuada de energía y proteína en la dieta (Spratt y Leeson, 1987b).

Aves alimentadas con mayores cantidades de alimento antes de las 19 semanas presentan incubabilidades mayores de huevo fértil y un mayor número de pollitos nacidos por ave alojada (Wilson et al., 1995). Además, aves alimentadas con más energía durante la producción generan progenies más pesadas que las aves alimentadas con dietas con menos energía (Spratt y Leeson, 1987a). Sin embargo, parece que no

existe un efecto directo a lo largo del plazo de consumo de energía durante el periodo productivo y la incubabilidad de huevos fértiles (Pearson y Herron, 1981; Spratt y Leeson, 1987b).

Nutrición energética de los reproductores y su efecto en la progenie

Existe poca información que indique el efecto de la nutrición de las reproductoras en el rendimiento de sus crías. Peebles et al. (2002) reportaron que el peso vivo a 43 días de pollos de engorde provenientes de aves alimentadas con bajos niveles de energía (430 kcal/d) fue mayor cuando se compararon con progenie de aves alimentadas con niveles moderados de energía (449 kcal/d).

Consumos altos de energía y proteína en gallinas presentan un efecto significativo positivo en el peso corporal de machos progenie a los 20 días de edad (Spratt y Leeson, 1987a; 1987b), pero los efectos no fueron observados en peso corporal y conversión alimenticia en la progenie (machos y hembras) a los 42 días de edad (Pearson y Herron, 1981; Spratt y Leeson, 1987a; 1987b).

McNaughton et al. (1978) reportaron que pollitos provenientes de gallinas jóvenes tienen una menor proporción de grasa corporal pero que los pesos al nacimiento no fueron diferentes respecto a aves más maduras. El efecto de la edad de la gallina en el crecimiento del pollo puede estar relacionado con los almacenes de grasa en la yema de los pollitos recién nacidos. Spratt y Leeson (1987b) encontraron diferencias en la composición corporal de machos, donde las aves que nacieron de gallinas alimentadas con dietas altas en energía resultaron tener el mayor contenido de proteína y el menor contenido de grasa en la canal a los 42 días.

Energía para actividad física

Requerimientos de energía para actividad han sido establecidos entre 7 a 20% del consumo de energía (Wenk y van Es, 1976; MacLeod et al., 1982; Sakomura, 2001). Un total de 10 a 30% de la producción de calor pueden ser atribuidos a actividad física en animales en crecimiento (MacLeod et al., 1982; Luiting, 1990). Un suministro de 50 kcal/ave/día para aves jóvenes (32 semanas) y 30 kcal/ave/d para aves más viejas (55 semanas) fue sugerido para cubrir los requerimientos de actividad en condiciones industriales (Lesson y Summers, 2000). Los requerimientos de energía para actividad pueden también ser afectados por las condiciones de crianza. Un 30 y un 50% del

metabolismo basal de aves criadas en jaulas o en piso pueden explicar actividad (MacLeod et al., 1982; Boshouwers y Nicaise, 1985). Adicionalmente, aves criadas en piso producen más calor que aves que se mantienen en jaula. Sakomura (2004) reporta una producción de calor de 144, 135 y 137 kcal/kg^{0.75}/d, para gallinas mantenidas a 13, 21 y 30 °C. Aves mantenidas en jaula bajo las mismas de temperatura produjeron menos calor que sus homólogas (78, 65 y 59 kcal/kg^{0.75}/d, respectivamente). Saiful et al. (2002) reportaron una producción de calor diaria a las 12, 14 o 16 horas de luz de 460, 469, 472 kcal/kg^{0.75}/d, respectivamente.

La producción de calor puede ser afectada por la temperatura ambiental, el consumo de alimento, la intensidad de la luz, hambruna y postura del huevo (Saiful et al. 2001). Aproximadamente un 25% de la producción de calor está relacionado con actividades físicas en aves (Boshouwers y Nicaise, 1985; Boshouwers y Nicaise, 1987). Aproximadamente un 22% de la producción de calor estaba relacionado con gasto de energía relacionado a cuentas por actividad (Saiful et al., 2002). Zhang y Coon (1994) indicaron que parte de los requerimientos de energía para mantenimiento incluyen actividades físicas como caminar, levantarse y comer.

Saiful et al. (2001) identificaron que un buen parámetro para estimar la producción de calor era medir cuentas de actividad (con un actígrafo). La contribución del ritmo de cuentas de actividad (cuentas/h) hacia la producción de calor (kcal/kg^{0.75}/h) era un 65% del total de producción de calor. Sin embargo, hay información limitada en la literatura acerca de la estimación de producción de calor que se deba directamente a actividad física.

Actividades de locomoción y comportamiento también pueden ser afectadas por los programas de alimentación, temperatura ambiental, consumo de alimento diario, programa de luz y la intensidad de luz (Zhang y Coon, 1994; Saiful et al., 2001; Saiful et al., 2002; de Jong et al., 2003). Aves con consumo restringido pasan más tiempo de pie que sentadas debido a la sensación de hambre. Aves alimentadas *ad libitum* o a un 90% *ad libitum* pasan más tiempo de pie para tratar de disipar la producción de calor debido a un consumo mayor de energía (de Jong et al., 2003). El consumo diario de alimento y la producción de calor en gallinas Leghorn (durante los periodos oscuros y de luz) decrecen con un incremento en la temperatura ambiental (Saiful et al., 2001). Cuentas de actividad (medidas con actígrafo) aumentan significativamente en gallinas sujetas a 16 horas de luz cuyo se comparan con gallinas sujetas a 12 horas. La producción de calor también tiene una tendencia a aumentar con el aumento del régimen de luz (Saiful et al., 2002). Gasto

de energía relacionado con actividad se encuentra entre 311 a 1500 cal/kg^{0.75}/h a 1 y 120 lux, indicó una dependencia del gasto de energía a la luz (Boshouwers y Nicaise, 1993).

Boshouwers y Nicaise (1987) estudiaron la influencia de la intensidad de la luz en el número e intensidad de los movimientos de las aves. Los autores reportan que el número de movimientos a todos los niveles de actividad tienen una correlación positiva con el logaritmo de la intensidad de la luz y que el gasto de energía relacionado a actividad fue altamente significativo y afectado positivamente por la intensidad de luz. Se encontró que la actividad física era casi cero en la oscuridad y que al inicio del fotoperiodo el número de movimientos incrementó drásticamente (Boshouwers y Nicaise, 1987).

Boshouwers y Nicaise (1987) estimaron la producción de calor relacionada con actividad sustrayendo la producción de calor durante el descanso de la producción de calor total. Ellos calcularon la producción de calor durante el descanso mediante un análisis de regresión de la producción de calor y el número de movimientos en todas las intensidades, tomando el intercepto a intensidad cero como indicador de la producción de calor durante el descanso.

Li et al. (1991) observaron producción de calor, tiempo de pie y actividades de consumo de alimento en ponedoras. Sus resultados muestran que la producción promedio de calor durante el periodo oscuro fue de 79 kcal/kg^{0.75}/h el cual fue 33% más bajo que la producción de calor durante el periodo de luz. Los autores también observaron un incremento en el ritmo de producción de calor asociado con levantarse y comer, con un estimado de alrededor de 18 y 5% de la producción de calor diaria, respectivamente.

MacLeod et al. (1988) estudiaron el gasto de energía y la actividad física en ponedoras bajo diferentes regímenes de luz. Para dicho estudio, utilizaron un radar-doppler medidor de actividades y jaulas metabólicas simultáneamente. Ellos reportaron que cambios en los patrones de luz no afectaron la producción de calor o la producción de calor a cero actividad por un periodo de 24 horas, pero que si se afectaron durante los intervalos de luz y oscuridad. Las aves redistribuyeron las cuentas de actividad y producción de calor de tal manera que no hubo cambios en los costos totales de energía atribuibles a actividad. Para grupos expuestos a 14 horas de luz, 90% de los costos de actividad fueron durante el periodo de luz. El costo energético de una cuenta de actividad en el periodo de luz fue de aproximadamente 3,56 cal/kg^{0.75}.

MacLeod et al. (1988) determinaron la producción de calor a cero actividad utilizó regresión individual de 13 minutos de producción de calor con las cuentas de actividad

respectivas. El costo de energía por actividad fue calculado por la diferencia entre el total de producción de calor y la producción de calor a cero actividad.

Temperatura ambiental. La temperatura ambiental es una de los factores más importantes que influyen la producción de calor (Sakomura, 2004). Una vez que los animales se encuentran fuera de su zona termoneutral (20 a 27°C) las aves necesitan energía extra para mantener la temperatura corporal. En bajas temperaturas, las aves requieren ingerir más energía para aumentar la producción de calor y mantener una temperatura corporal adecuada. A temperaturas mayores de 26°C, las reproductoras necesitan más energía para disipar el calor y como consecuencia la EM_m también aumenta (Rabello et al., 2000). Leeson y Summers (2000) sugirieron un aumento diario de suministro de energía a temperaturas entre los 14 y 35 °C. Un efecto cuadrático de la temperatura en EM_m fue encontrado a temperaturas mayores a los 26 °C.

Se han reportado efectos lineales y efectos cuadráticos de la temperatura (Waldroup et al., 1976; NRC, 1994; Peguri y Coon, 1988; Rabello et al., 2006). La relación lineal debe ser considerada únicamente para temperaturas alrededor de la zona termal de confort (Sakomura, 2004).

Eficiencia de la utilización de la energía. La relación entre el consumo de energía y el contenido de energía del producto representa la eficiencia de utilización de la energía del animal y puede depender de temperatura, raza y composición de la dieta (Luiting, 1990; Zhang y Coon, 1994). Además, esta eficiencia puede ser afectada por las condiciones ambientales, peso corporal y genética (Luiting, 1990; Klasing, 2000; Leeson y Summers, 2000). La composición de la dieta es también uno de los factores importantes que afectan la eficiencia de utilización de la energía. Ácidos grasos insaturados tienen una mayor eficiencia de utilización de la energía que carbohidratos y aminoácidos. Grasa dietética puede ser más fácilmente convertida en grasa corporal que carbohidratos y proteínas (Hocking, 2004).

Para reproductoras pesadas, la eficiencia de utilización de la energía para mantenimiento (km) varía entre 0,67 a 0,80 y arriba del mantenimiento (kg) desde 0,57 a 0,69 (Sakomura, 2004). Se han reportado eficiencias parciales para crecimiento (0,65 y 0,45) y producción de huevo (0,62 y 0,64) en ponedoras y reproductoras pesadas, respectivamente (Sakomura, 2004). La habilidad de las aves para utilizar la energía también se pueden ver afectadas por la edad, estado nutricional y factores ambientales.

El crecimiento y desarrollo de la progenie pueden ser afectadas por la eficiencia energética de las reproductoras a través de factores hereditarios que afectan la eficiencia y también a través del tamaño del huevo (Romero et al., 2009b). Gallinas con menores requerimientos para mantenimiento reparten más energía hacia la producción del huevo que aves que tienen mayores requerimientos de mantenimiento (Romero et al., 2009a). Sin embargo, minimizar los requerimientos de mantenimiento en los reproductores puede que no sea compatible con la maximización de la producción y rendimientos de los pollos de engorde (Romero et al., 2009b).

CONSIDERACIONES FINALES

La nutrición energética juega un papel preponderante en la composición corporal, ganancia de peso y producción de las aves. Un aumento en la cantidad de energía ofrecida durante los inicios de la producción puede generar un aceleramiento de la entrada a la madurez sexual por un aumento en la deposición de grasa en las aves más livianas. También se pueden lograr algunas mejoras en la viabilidad de los pollitos, pues se generaría una mayor deposición de grasa en la yema que ayudará al pollito a desarrollarse mejor.

Sin embargo, conforme la edad de la gallina aumenta, el aumento en la cantidad de energía ofrecida no necesariamente se traduce en mejores rendimientos durante la postura. Niveles intermedios de energía han presentado los mejores resultados en cantidad de huevos por ave. La fertilidad e incubabilidad de los huevos se ve afectada con niveles altos de energía y relaciones altas de proteína:energía. Las gallinas tenderán a ganar peso más rápido, lo cual también va en detrimento de la ovulación. Esto adicionalmente aumenta los requerimientos de mantenimiento y deja una menor proporción de la energía para la producción de huevo.

Adicionalmente, el incremento en el diseño y uso de enzimas como aditivos en la nutrición de aves amerita una evaluación exhaustiva de las posibles mejoras en la digestibilidad de la energía que sean de beneficio para la industria.

LITERATURA CITADA

- Ahn, D.U.; Kim, S.M.; Shu, H. 1997. Effect of egg size and strain and age of hens on the solids content of chicken eggs. *Poultry Science* 76,914-919.
- Attia, Y. A.; Burke, W. H.; Yamani, K. A.; Jensen, L. S. 1995. Daily energy allotments and performance of broiler breeders. 2. Females. *Poultry Science* 74, 261-270.
- Balnave, D.; Farrell, D.J.; Wolfenden, J.B.; Cumming, R.B. 1978. The effect of ovariectomy on liver metabolism and maintenance energy requirement of hens. *Br. Poult. Sci.* 19, 583-590.
- Bornstein, S.; Plavnik, I.; Lev Y. 1984. Body weight and/or fatness as potential determinants of the onset of egg production in broiler breeder hens. *Br Poult Sci* 25,323-41.
- Bornstein, S.; Lev Y. 1982. The energy requirements of broiler breeders during the pullet-layer transition period. *Poultry Science* 61, 755-765.
- Bornstein, S.; Hurwitz, S.; Lev Y. 1979. The amino acid and energy requirements of broiler breeder hens. *Poultry Science* 58, 104-116.
- Boshouwers, F. M.; Nicaise, E. 1985. Automatic gravimetric calorimeter with simultaneous recording of physical activity for poultry. *Br. Poult. Sci.* 26, 531-541.
- Boshouwers, F.M.G.; Nicaise E. 1987. Physical activity and energy expenditure of laying hens as affected by light intensity. *Br Poult Sci* 28,155-63.
- Boshouwers, F.M.G.; Nicaise E. 1993. Artificial light sources and their influence on physical activity and energy expenditure of laying hens. *Br.Poult. Sci.* 34, 11-19.
- De Beer, M.; Coon, C.N. 2007. The effect of different feed restriction programs on reproductive performance, efficiency, frame size, and uniformity in broiler breeder hens. *Poult Sci* 86,1927-39.
- De Jong, I. C.; Van Voorst, A. S.; Blokhuis, H. J. 2003. Parameters for quantification of hunger in broiler breeders. *Physiol. Behav.* 78, 773-783.
- Emmans, G.C. 1974. The effect of temperature on performance of laying hens. In: *Energy requirements of Poultry*. Morris T.R., Freeman B.M., editors. Edinburgh. British Poultry Science. Pages 79-90.
- Farrel, D.J. 1974. General principles and assumptions of calorimetry. In: *Energy Requirements of Poultry*. Morris T.R., Freeman B.M., editors. Edinburgh. British Poultry Science. 1-23.

- Fletcher, D.L.; Britton, W.M.; Rahn, A.P.; Savage, S.I. 1981. The influence of layer flock age in egg components yields and solids content. *Poultry Science* 60, 983-987.
- Hocking, P.M. 2004. Roles of body weight and feed intake on the ovarian follicular dynamics in broiler breeders at the onset of lay and after a forced molt. *Poultry Science* 83, 2044-2050.
- Johnson, R. J.; Farrell, D. J. 1983. Energy metabolism of groups of broiler breeders in open-circuit respiration chambers. *Br. Poult. Sci.* 24, 439-453.
- Klasing, K. C. 2000. *Comparative Avian Nutrition*. CAB Intl. New York, NY.
- Leeson, S. 2003. Broiler breeder nutrition: What's new and what challenges do we face. In: *Proceedings of the 50th Maryland Nutrition Conference and 1st Mid-Atlantic Nutrition Conference*. College Park, MD. Pages 59-63
- Leeson, S.; Summers, J.D. 2000. *Broiler breeder production*. University Books, Guelph, Ontario.
- Li, Y.; Ito, T.; Yamamoto, S. 1991. Diurnal variation in heat production related to some physical activities in laying hens. *Br Poult Sci* 32,821-7.
- López, G.; Leeson, S. 1995. Response of Broiler Breeder to Low-Protein Diets. 2. Offspring Performance. *Poultry Science* 74, 696-701.
- Luiting, P. 1990. Genetic variation of energy partitioning in laying hens: causes of variation in residual feed consumption. *World's Poult. Sci. J.* 46, 133-152.
- MacLeod, M.G.; Jewitt, T.R.; Anderson, J.E.M. 1988. Energy expenditure and physical activity in domestic fowl kept on standard and interrupted lighting patterns. *Br Poult Sci* 29, 231-44.
- McDaniel, G.R.; Brake J. 1981. Factors affecting broiler breeder performance. 1. Relationship of daily feed intake level to reproductive performance of pullets. *Poultry Science* 60, 307-312.
- McNaughton, J.L.; Deaton, J.W.; Reece, F.N.; Haynes, R.L. 1978. Effect of age of parents and hatching egg weight on broiler chick mortality. *Poult Sci* 57, 38-44.
- Melnychuk, V.L.; Kirby, J.D.; Kirby Y.K.; Emmerson, D.A.; Anthony, N.B. 2004. Effect of strain, feed allocation program, and age at photostimulation on reproductive development and carcass characteristics of broiler breeder hens. *Poultry Science* 83,1861-1867.
- National Research Council (NRC). 1994. *Nutrient requirements of poultry*. 9.ed. National Academy of Sciences, Washington, DC.

- National Research Council (NRC). 1998. Nutrient requirements of Swine. 10th edition. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Neuman, S.L.; Harms, R.H.; Russell, G.B. 1998. An innovative change in energy restriction for broiler breeder hens. *J. Appl. Poultry Res.* 7, 328-335.
- O'Sullivan, N.P.; Dunnington, E.A.; Siegel, P.B. 1991. Relationships among age of dam, egg components, embryo lipid transfer, and hatchability of broiler breeder eggs. *Poultry Science* 70, 2180-2185.
- Pearson, R. A.; Herron, K. M. 1981. Effects of energy and protein allowance during lay on the reproductive performance of broiler breeder hens. *Br. Poult. Sci.* 22, 227-239.
- Pearson, R.; Herron, K.M. 1982. Relationship between energy and protein intakes and laying characteristics in individually-caged broiler breeder hens. *Br. Poult. Sci.* 23, 145-159.
- Peebles, E.D.; Zumwalt, C.D.; Gerard, P.D.; Latour, M.A.; SMITH, T.W. 2002. Market age live weight, carcass yield, and liver characteristics of broiler offspring from breeder hens fed diets differing in fat and energy contents. *Breeders, Offspring, Energy* 81, 23-9.
- Peebles, E.D.; Zumwalt, C.D.; Doyle, S.M.; Gerard, P.D.; Latour, M.A.; Boyle, C.R.; Smith, T.W. 2000. Effects of breeder age and dietary fat source and level on broiler hatching egg characteristics. *Poult Sci* 79, 698-704.
- Peguri, A.; Coon, C.N. 1988. Development and evaluation of prediction equations for metabolizable energy and true metabolizable energy intake for Dekalb XL-Link White Leghorn hen. In: *Proceeding of Minnesota Nutrition Conference and Degussa Technology Symposium*. Blomington. Pages 199-211.
- Rabello, C.B.V.; Sakomura, N.K.; Longo F.A.; Couto, H.P.; Pacheco, C.R.; ERNANDES, J.B.K.F. 2006. Modeling energy utilization in broiler breeder hens. *Br Poult Sci* 47(5), 622-631.
- Rabello, C. B. V.; Sakomura, N. K.; PACHECO C.R.; Resende, K. T.; Longo, F. A. 2000. Prediction equation of metabolizable energy requirements for broiler breeders In. *XXI World's Poultry Congress*. Montreal - Canada - CD-Room.
- Rabello, C. B. V.; Sakomura, N.K.; Pacheco, C.R.; Resende, K.T.; Longo, F.A. 2004. Efeito da temperatura e do sistema de criação sobre as exigências de energia metabolizável para manutenção de aves reprodutoras pesadas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 382-390.
- Renema, R.A.; Robinson, F.E.; Zuidhof, M.J. 2007. Reproductive efficiency and metabolism of female broiler breeders as affected by genotype, feed allocation, and age at photostimulation. 2. Sexual maturation. *Poult Sci* 86, 2267-77.

- Renema, R.A.; Robinson, F.E.; Newcombe, M.; McKay, R.I. 1999. Effects of body weight and feed allocation during sexual maturation in broiler breeder hens. 1. growth and carcass characteristics. *Poult Sci* 78, 619-28.
- Robinson, F.E.; Robinson, N.A.; Hardin, R.T. 1995. The effects of 20-week body weight and feed allocation during early lay on female broiler breeders. *J Appl Poultry Res* 4, 203-10.
- Robinson, F.E.; Robinson, N.A. 1991. Reproductive performance, growth and body composition of broiler breeder hens differing in body weight at 21 weeks of age. *Can. J. Anim. Sci.* 71, 1233-1239.
- Robinson, F.E.; Wilson, J.L.; Yu, M.W.; Fasenko, G.M.; Hardin, R.T. 1993. The relationship between body weight and reproductive efficiency in meat type chickens. *Poultry Science* 72, 912-922.
- Romero, L.F.; Zuidhof, M.J.; Renema R.A.; Naeima A.; Robinson, F.E. 2009a. Characterization of energetic efficiency in adult broiler breeder hens. *Poultry Science* 88, 227-235.
- Romero, L.F.; Zuidhof, M.J.; Renema, R.A.; Robinson, F.E.; Naeima, A. 2009b. Nonlinear mixed models to study metabolizable energy utilization in broiler breeder hens. *Poultry Science* 88, 1310–1320.
- Romero, L.F.; Renema, R.A.; Naeima, A.; Zuidhof, M.J.; Robinson, F. 2009c. Effect of reducing body weight variability on the sexual maturation and reproductive performance of broiler breeder females. *Poultry Science* 88, 445-52.
- Saiful, I.M.; Fujita, M.; Ito, T. 2001. Actigraph as a device for estimation of heat production of white leghorn under high ambient temperature. *J Poult Sci* 38, 324-32.
- Saiful, I.M.; Fujita, M.; Ito T. 2002. Effect of physical activities on heat production of white leghorn under different lighting regimes. *J Poult Sci* 39, 159-66.
- Sakomura, N.K. 2004. Modeling energy utilization in broiler breeders, laying hens and broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science* 6(1), 1-11.
- Sakomura, N.K. 1996. Nutritional requirements of poultry using the factorial model. In: *International Symposium on Nutritional Requirements of Poultry and Swine*. Viscosa, Brazil. Pages 17-42.
- Sakomura, N.K. 2001. Subject: Confirma os modelos para determinar as exigências energéticas para matrizes pesadas, poedeiras comerciais e frangos de corte. *Avicultura Industrial*.
- Scott, T.A.; Balnave, D. 1991. Influence of temperature, dietary energy, nutrient concentration and self-selection feeding on the retentions of dietary energy,

- protein and calcium by sexually-maturing egg-laying pullets. *Br Poult Sci* 32, 1005-16.
- Soller, M.; Eitan, Y.; Brody, T. 1984. Effect of diet and early quantitative feed restriction in the minimum weight requirement for onset of sexual maturity in white rock broiler breeders. *Poultry Science*. 63,1255-1261.
- Spratt, R. S.; Bayley, H.S.; McBride, B.W.; Leeson S. 1990. Energy metabolism of broiler breeder hens. 1. The partition of dietary energy intake. *Poultry Science* 69, 1339–1347.
- Spratt, R.S.; Leeson, S. 1987a. Broiler breeder performance in response to diet protein and energy. *Poult Sci* 66, 683.
- Spratt, R.S.; Leeson, S. 1987b. Effect of protein and energy intake of broiler breeder hens on performance of broiler chicken offspring. *Poult Sci* 66, 1489-94.
- Sun, J.M.; Richards, M.P.; Rosebrough, R.W., Ashwell, C.M.; McMurtry J.P.; Coon, C.N. 2006. The relationship of body composition, feed intake, and metabolic hormones for broiler breeder females. *Poult Sci* 85, 1173-84.
- Waldroup, P. W.; Johnson, Z.; Russel, W. D. 1976. Estimating daily nutrient requirement for broiler breeder hens. *Feedstuffs* 48 (28).
- Wenk, C.; Van Es, J. H. 1976. Energy metabolism in growing chickens as related to their physical activity. In: *Proceedings of the VII Symposium of the Energy Metabolism of Farm Animals*. Vichy, France. Pages 189-192
- Wilson, J.L.; Robinson, F.E.; Renema, N.A.; Hardin, R.T. 1995. Effects of feed allocation on female broiler breeders. *J Appl Poultry Res* 4, 193-202.
- Zhang, B; Coon, C.N. 1994. Nutrient modeling for laying hens. *J. Appl. Poult. Res.* 3, 416-431.