



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

---

---

NIVEL DE SUBSTITUCIÓN DE DL-METIONINA POR BETAÍNA  
ANHIDRA EN DIETAS DE GALLINAS DE PRIMER CICLO

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA**

PRESENTA:

LAURA ESTEFANÍA CASTRO CORTÉS

Asesores:

MVZ Dr. Benjamín Fuente Martínez

MVZ MC Xóchitl Hernández Velasco



México, D.F.

2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

*A mis padres Elena y Francisco por todo el amor, apoyo y comprensión que siempre me han mostrado y por enseñarme el camino hacia la superación personal y profesional.*

*A mis hermanos Ricardo, Alexandra, Gabriela y en especial Ana por soportarme en mis malos días, pero sobre todo por creer en mí.*

*A mi abuelita Elena quien me enseñó a valorar mi trabajo.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y por supuesto a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por brindarme sabiduría y abrirme las puertas hacia nuevos senderos.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola por concederme conocimientos y experiencia práctica para mi formación en el área avícola.

Al Dr. Benjamín Fuente Martínez por su infinita paciencia y tiempo dedicado, por sus consejos y apoyo para poder concretar este proyecto, pero sobre todo gracias por invertir en mi parte de su conocimiento.

Al Dr. Ernesto Ávila González por abrirme las puertas al CEIEPAv para que pudiera realizar este trabajo, así como por sus enseñanzas y conocimiento compartido.

A la Dra. Xóchitl Hernández por su apoyo como colaboradora de este trabajo, por las minuciosas revisiones y atenciones que me brindó.

A los miembros del jurado Dras. Elizabeth Posadas, Analía Balderas, Yolanda Castañeda y Gabriela Gómez por la revisión, consejos y correcciones para la elaboración del presente trabajo.

A los profesores del centro: Dr. Arturo, Dra. Alma, Dr. Jorge, Dr. David y sobre todo al Dr. Tomás por instruirme durante mi estadía en la granja.

A la Dra. María del Pilar Castañeda Serrano por fomentar el gusto en el estudio y práctica avícola, además de compartir conocimientos y experiencias.

Al Dr. Aarón Ernesto López Aguilar de Du Pont- Danisco Animal Nutrition quien proporcionó la betaína anhidra, ingrediente utilizado para la elaboración de este trabajo, además de compartir y discutir algunas dudas y experiencias sobre el mismo.

A la Dra. Viviana Schroeder Radecke de Du Pont- Danisco Animal Nutrition, por su apoyo en la divulgación de este trabajo.

A mis compañeros y amigos del CEIEPAv que compartieron conmigo tiempo, anécdotas y conocimiento, gracias por su apoyo.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Situación avícola actual.....	3
1.2 Metionina.....	6
1.3 Colina.....	8
1.4 Betaína.....	9
1.5 Relaciones metabólicas entre metionina, colina y betaína.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	18
3. HIPOTESIS.....	19
4. OBJETIVOS.....	20
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
5.1 Análisis estadístico.....	24
6. RESULTADOS.....	26
7. DISCUSIÓN.....	29
8. CONCLUSIONES.....	34
9. REFERENCIAS.....	35
10. CUADROS Y FIGURAS.....	40

## RESUMEN

CASTRO CORTÉS LAURA ESTEFANÍA. Nivel de sustitución de DL-metionina por betaína anhidra en dietas de gallinas de primer ciclo. (Bajo la dirección del MVZ Dr. Benjamín Fuente Martínez y MVZ MC Xóchitl Hernández Velasco)

Con el objeto de evaluar diferentes niveles de inclusión de betaína anhidra en sustitución de DL-metionina sobre el comportamiento productivo de la gallina de postura, se utilizaron 432 gallinas de 64 semanas de edad. Las aves se distribuyeron en un diseño completamente al azar en 9 tratamientos con 4 repeticiones de 12 gallinas cada una. Se emplearon dietas con base en sorgo + pasta de soya. Los tratamientos variaron de 0.427% de aminoácidos azufrados digestibles hasta 0.611% con incrementos de 0.046%. Lo que correspondió a una adición en la dieta basal de 0, 25, 50, 75 y 100% de DL-metionina sintética, y de la misma forma para betaína anhidra en reemplazo de esta última. Durante los 70 días de experimentación se llevaron registros semanales del porcentaje de postura, consumo de alimento (g), conversión alimentaria (kg: kg), peso promedio de huevo ave/día (g) y masa de huevo ave/día (g). A los datos obtenidos de las variables antes mencionadas de los tratamientos 1 al 5 se les realizó una regresión lineal simple para establecer una curva de respuesta de la DL-metionina. La equivalencia de betaína anhidra con DL-metionina se calculó mediante la fórmula:  $X = (y - y_0) / 1$ . Al realizar la sustitución de DL-metionina por betaína anhidra se encontró para conversión alimentaria 15% (315 g de DL-metionina), porcentaje de producción 20% (420 g de DL-metionina), masa de huevo ave/ día 13.5% (283 g de DL-metionina) y peso de huevo 2% (42 g de DL-metionina).

## 1. INTRODUCCIÓN

En el 2014, se presentó un incremento del 2% en la producción de alimento balanceado para animales. A nivel mundial la avicultura mantiene su posición como principal consumidor de alimento balanceado en el mercado con una participación de 45% equivalente a 439 millones de toneladas (Alltech, 2014). México se ubicó en el cuarto lugar con 29 millones de toneladas de alimento balanceado, de las cuales 6.1 millones se destinaron para la alimentación de gallinas de postura y 8.4 millones para pollo de engorda (CONAFAB, 2013).

Durante el periodo de 1994-2014, el consumo de alimento balanceado para aves creció a un ritmo anual de 2.8%, siendo el sector avícola el principal demandante de granos en México (UNA, 2015).

En el 2013 el mercado global de DL-metionina fue de 850,000 Ton, y tan sólo más de 600,000 Ton se produjeron solamente para alimento animal, en comparación con el mercado de la DL- metionina para uso como aditivo nutritivo para humanos y aplicaciones médicas que asciende al menos a 10,000 Ton/año; sin embargo, debido a que el costo es más elevado para uso humano \$250 USD/kg que para uso animal \$4.83 USD/kg, la ganancia monetaria resultado de la demanda en toneladas de este ingrediente para estas aplicaciones de uso humano comparadas con las de uso animal podrían ser equivalentes (Willke, 2014).

El CONAFAB estimó en 2014 la demanda de aminoácidos limitantes para la industria avícola: 21,228.8 Ton en total de lisina, de las cuales 12,914.2 Ton para las dietas de pollos y 8,314.6 Ton para gallinas. En cuanto a la metionina se calcularon 25,356.4 Ton; 10,063.4 para la inclusión en dietas para gallinas y 15,293.5 para pollo de engorda. Por último para el cloruro de colina se tiene una demanda estimada total de 9,466.5 Ton, donde 3,439.5 es para postura y 6,026.8 para pollo de engorda (CONAFAB, 2013).

### **1.1 Situación avícola actual**

México tiene una participación importante a nivel mundial respecto a la industria avícola, pues genera 4.7% de la producción mundial, después de Japón (4.9%), Rusia (5.0%), India (8.2%), Estados Unidos (9.5%) y China (45.2%). La avicultura representa 63% de la producción pecuaria, donde 6 de cada 10 personas, incluyen en su dieta alimentos avícolas como pollo, huevo y pavo. En cuanto al Producto Interno Bruto total (PIB), la actividad avícola genera un 0.90%, mientras que en el PIB pecuario participó con 43.98% (UNA, 2015).

Durante el 2014, el país produjo 2, 571,270 millones de toneladas de huevo con un valor de 55,792 millones de pesos, siendo el estado de Jalisco el primer productor, con una participación de 55%, seguido por Puebla con 16%, Sonora con 8%, Yucatán con 5%, La laguna con 4%, Sinaloa con 3%, Nuevo León y Guanajuato con 2%, en cuanto al resto corresponde un 5% (UNA, 2015).

La parvada nacional está conformada por 152 millones de gallinas ponedoras. Las líneas genéticas de huevo con mayor participación son Bovans White con 57%, seguido de Hy line con el 32%. El 96% de la producción es de huevo blanco y 4% restante de huevo rojo (UNA, 2015).

Anualmente se producen 117 millones de cajas de huevo, mismas que se comercializan a través de los mercados tradicionales y centrales de abasto a granel en 82% y en empaques cerrados 14%, principalmente en tiendas de autoservicio y tiendas de conveniencia (UNA, 2015).

En el 2014 las enfermedades como la Influenza Aviar han afectado y restringido los flujos comerciales en todo el mundo. Esta situación mantiene en alerta a las organizaciones de salud animal, debido a que los brotes se han presentado en diversas partes del mundo (UNA, 2015).

La industria avícola de México sigue enfrentando los estragos de la Influenza aviar de alta patogenicidad, a 35 meses del primer brote en el país (Junio 2012). El programa contra la Influenza aviar (IA) se ha tenido que ajustar fortaleciendo las acciones con el objetivo de recobrar el estatus de país libre; para hacer factible la exportación, se ha iniciado la regionalización de aquellas zonas que están libres de IA (UNA, 2015). Aunque en 2013 la IA afectó a la industria de carne de ave, el impacto fue mayor para la industria del huevo; situación que se refleja en el flujo de importaciones (UNA, 2015).

La importación de huevo para plato en 2014, redujo su participación a 2.2% en el consumo nacional, como signo de la recuperación de la producción nacional (UNA, 2015).

En nuestro país el huevo juega un papel importante, tradicionalmente por su costo accesible a la mayor parte de la población, así como por su alto valor nutricional y versatilidad en su preparación. El principal país consumidor de huevo a nivel mundial es México; en el 2014 se reportó un consumo de 21.7 kg per cápita (UNA, 2015).

El elevado potencial genético de las líneas de producción avícola actuales sólo se puede expresar con alimentos proteicos y energéticos de alta calidad (FAO, 2013). Las aves de corral no tienen una necesidad de proteínas *per se*, sin embargo necesitan cumplir con los requerimientos de aminoácidos esenciales por medio de su consumo en la dieta, por otro lado el adecuado suministro de proteínas en la dieta ayuda a que el organismo no utilice estos aminoácidos esenciales para formar otros compuestos necesarios en el metabolismo (FAO, 2013).

Después de la energía, los aminoácidos son el grupo de nutrientes más caros en la dieta, representando aproximadamente 40 a 45% del costo total del alimento (Cuca, *et al.* 2009).

La síntesis de las proteínas de músculos y huevos requiere un suministro de 20 aminoácidos, de los cuales diez de ellos no se sintetizan en absoluto o bien, se

sintetizan demasiado lento como para satisfacer las necesidades metabólicas. Por ello se consideran esenciales, para las aves estos aminoácidos son: lisina, metionina, treonina, triptófano, isoleucina, leucina, histidina, valina, fenilalanina y arginina (Pesti, *et al.* 2005).

La mayoría de las dietas avícolas comerciales son deficientes en aminoácidos azufrados; debido a que las necesidades de metionina son muy altas y no pueden ser cubiertas por los ingredientes, hay una gran necesidad de adicionar metionina sintética en las dietas avícolas (Pillai, *et al.* 2006).

Especialmente en tiempos donde hay alza de precios en materias primas como resultado de la limitada disponibilidad de ingredientes para alimento, los nutricionistas buscan opciones para disminuir los costos como sea posible. Parte de esta discusión es porque existe la opción de reemplazar algunos ingredientes por otros sin afectar el comportamiento productivo. Es así que profesionales en nutrición animal se han planteado la interrogante, sobre si la adición de la metionina puede ser reemplazada por la betaína (Rodrigueiro, 2010)

## **1.2 Metionina**

Es un aminoácido esencial, puede servir como precursor de la cisteína; además forma parte de la fuente de azufre de algunos aminoácidos proteínogénicos importantes, debido a que el azufre que contienen es responsable de los enlaces disulfuro que estabilizan las estructuras terciarias de las proteínas (Soriano, 2006).

La metionina es esencial para varias funciones en el cuerpo como: síntesis proteica, regulación de la división celular, reducción de las especies reactivas del oxígeno, y como donadora de grupos metilo que interactúan para formar otros metabolitos importantes como la carnitina (Kalbande, *et al.* 2009).

La metionina es el principal aminoácido limitante en las dietas para aves (Pillai, *et al.* 2006; Pesti, *et al.* 2005). Dentro de las estructuras con mayor contenido de metionina se encuentran las albúminas contenidas en el huevo. Esta es una razón de la alta demanda de metionina en la industria de la producción de huevo (Willke, 2014) .

La metionina es una fuente de azufre para la biosíntesis de cisteína, por medio de la reacción de la serina con homocisteína para formar cistationina, sin embargo esta reacción es irreversible, por lo que la cisteína no puede producir metionina (Kidd, *et al.* 1997).

Debido a que la metionina es un aminoácido que no se puede sintetizar tan rápido para satisfacer las necesidades metabólicas, requiere que se suministre en la dieta; sin embargo cierta cantidad se puede sintetizar de *novo* a partir de homocisteína, y requiere de un grupo metilo que es donado dependiendo de la especie animal, en la rata se trata principalmente de la betaína (Trimetilglicina) y en la oveja de 5-metiltetrahidrofolato (Urich, 1994).

En la actualidad la metionina generalmente se usa y comercializa en dos formas: DL-metionina y análogo hidroxilado de la metionina (ácido 2-hidroxi-4-metilmercapto butírico o HMB). La DL-metionina se obtiene mediante la síntesis química a partir de propileno, metiltiol y amoniaco. El producto comercial sólido tiene una riqueza en metionina superior al 99% y el líquido (sal sódica), menos usado en la industria, contiene un 40% de metionina y un 6.2% de Na (De Blas, *et al.* 2010).

### **1.3 Colina**

La colina es una amina cuaternaria (trimetil etanolamina), en su forma pura es un líquido incoloro, viscoso, que frecuentemente es higroscópico. La fuente de uso más común y fácil de manejar es el cloruro de colina, se produce por síntesis química para uso en la industria de la alimentación. El cloruro de colina en forma de sal se compone de cristales blancos delicuescentes, que son muy solubles en agua y alcoholes (DSM, 2015).

La colina tiene cuatro funciones principales:

- 1) Forma parte de los componentes estructurales de las células de la membrana en forma de fosfatidilcolina (lecitina) y esfingomielina.
- 2) Juega un rol como agente lipotrópico en la prevención del hígado graso, debido su función en el metabolismo de las grasas en el hígado
- 3) Actúa como neurotransmisor en forma de acetilcolina
- 4) Es fuente de grupos metilo (Balchem Corporation, 1990).

Está bien establecido que la colina también puede actuar como un donador de grupos metilo y que tiene un efecto “ahorrador” de la metionina. Sin embargo, antes de que la colina pueda actuar como donante de un grupo metilo tiene que ser convertido a betaína en la mitocondria (Schutte, *et al.* 1997). La demanda de colina como donante de grupos metilo es probablemente el factor más importante que determina la rapidez con la que una dieta deficiente de colina inducirá una patología (DSM, 2015).

#### **1.4 Betaína**

La betaína es un trimetil derivado del aminoácido glicina, que se obtiene como un subproducto del procesamiento de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*), sin embargo de forma natural se encuentra en pequeñas cantidades en el organismo de plantas y animales (Ratriyanto, *et al.* 2009), en la figura 1 se muestra su estructura química. Es especialmente importante en la formación de purinas como el ácido úrico y en la detoxificación y excreción de metales pesados en el cuerpo (Pesti, *et al.* 2005).

Las formas más populares de betaína (grado alimenticio), son la betaína anhidra, betaína monofosfatada y el clorhidrato de betaína. En cuanto a los posibles efectos de la betaína en sus distintas formas en la alimentación animal, dependen de sus propiedades químicas. El hidrocloreto de betaína muestra baja solubilidad en agua en comparación con la betaína anhidra y monohidrato de betaína, lo que

reduce su actividad osmótica. Por otra parte, el hidrocloreto de betaína soporta las disminuciones de pH en el estómago (Eklund, *et al.* 2005).

Con base en su peso molecular, la betaína contiene entre 0.9 y 3.75 veces más grupos metilo que la metionina y la colina, respectivamente. La eficiencia de metilación de la betaína y de la metionina es similar, pero la colina es menos efectiva ya que depende de la eficiencia de la biotransformación en betaína (De Blas, *et al.* 2010).

Un kg de betaína anhidra (97% de pureza) aporta una cantidad de grupos metilo equivalentes a 1.25 kg de DL-metionina (99% de pureza) o 1.65 kg de cloruro de colina (70% de pureza) (Kidd, *et al.* 1997).

La betaína actualmente tienen varias aplicaciones en el ámbito animal, las principales características que le permiten ser un producto funcional en la industria son: su uso como donador de grupos metilo, como osmolito orgánico y por su aceptación por varias especies por su buena palatabilidad.

En la acuicultura, la betaína es considerada como un componente importante del sabor de carne de peces y crustáceos, indispensable en el control de estrés en especies como los salmónidos que requieren una rápida adaptación en el balance osmótico, cuando se transfieren de agua dulce a agua marina. Además es considerado un buen estimulante del apetito, pues incrementa el consumo de alimento (Guérin, 2001).

En condiciones fisiológicas adversas (estrés osmótico), en el caso de la exposición a patógenos, y en la coccidiosis en las aves de corral, la betaína puede contribuir a la mejora de la estructura intestinal, la digestibilidad y por lo tanto el rendimiento de los pollos afectados. Además de mejorar la salud intestinal, puede inhibir parcialmente la invasión por coccidiosis y aumentar la eficiencia de los coccidiostátos (Santos, *et al.* 2013).

Al ser incluido en la dieta de animales monogástricos, la betaína también reduce el contenido de grasa en la canal y es asociado con un aumento en el porcentaje de carne magra; éstas características son de gran interés pues su acción satisface las necesidades del consumidor en la búsqueda de alimentos más sanos, con un menor contenido de grasa (Ratriyanto, *et al.* 2009).

Al estar relacionada la acción de la betaína en el metabolismo de proteínas y lípidos, su uso en la alimentación animal tiene la intención de optimizar el rendimiento, con efectos positivos sobre la conversión alimentaria en aves de corral y cerdos, y así obtener mejoras en la calidad de la canal (Santos, *et al.* 2013).

Desde la década de 1940 se han estudiado los efectos de la betaína en la alimentación de las aves de corral (Pereira, 2008). En pollo de engorda los estudios sobre el uso de la betaína más importantes, han sido sobre su uso como sustituto de metionina (Saunderson, Mackinlay; 1990), debido a que la betaína

tiene como principal función donar un grupo metilo a la homocisteína para que ésta forme metionina.

Virtanen y Rosi en 1995 presentaron evidencias de que la betaína podría tener un efecto ahorrador de metionina en las dietas de pollo de engorda. Debido al impacto comercial de este descubrimiento se realizaron más estudios para verificar la veracidad de esta aplicación, Sun y colaboradores en 2008 encontraron que para pollos de engorda se podría sustituir hasta 25% de metionina por betaína.

A partir de la experiencia observada con el uso de la betaína en el pollo de engorda, se comenzó a investigar su impacto en los parámetros productivos en gallinas en postura, sin embargo en un inicio se enfocaban a investigar la sustitución de colina por betaína, como es el caso de Abel, *et al.*, en 1986 al igual que Harms y Russell en 2002.

Yalcin, *et al.*, en 1992 usando gallinas de 24 semanas, divididas en tres tratamientos, dos de ellos con la adición de 50 y 100 ppm de betaína; encontraron que en el grupo con la mayor adición, disminuyó 1.34% el consumo de alimento y aumentó la producción de huevo significativamente, sin afectar el peso y las variables de calidad de huevo.

Yadalam y colaboradores en 1999 usando gallinas comerciales Leghorn de 21 semanas de edad, con diferentes niveles de metionina (0.48, 0.43, y 0.37%) con y

sin betaína, obtuvieron una interacción significativa entre la betaína y la metionina a baja concentración, pues la adición de betaína a la dieta con el contenido más bajo de metionina logró mejorar la producción de huevo; sin embargo no se observó el mismo efecto en los tratamientos con niveles de metionina más altos.

Ryu, *et al.*, en 2003 realizaron estudios sobre el impacto de la betaína adicionada en dietas, evaluaron el efecto en los parámetros productivos, sanguíneos y en la osmolaridad ileal con inclusiones de 0, 300, 600 y 1200 mg betaína por kilogramo en la dieta de gallinas ISA- Brown en postura, donde observaron efectos positivos en la producción de huevo; sin embargo también encontraron una disminución en el peso de huevo y un aumento en el nivel de colesterol sérico y presión osmótica ileal. Park *et al.* en 2005<sup>a</sup>, evaluaron los efectos de la betaína en parámetros sanguíneos como el colesterol y triglicéridos séricos, grasa abdominal e hígado y colesterol en la yema de huevo, donde encontraron en este último parámetro una disminución con la adición de betaína.

Por último en el mismo año, realizaron experimentos con betaína para evaluar los efectos con distintos niveles de proteína en las dietas, donde encontraron que la adición de 600 ppm de betaína en la dieta mejoró el peso de huevo, masa de huevo y conversión alimentaria (Park, *et al* 2005b).

Otros estudios sobre betaína incluyen pruebas sobre su efecto en la secreción de factores de insulina (Choe, *et al.* 2010); parámetros productivos y séricos bajo diferentes niveles de amoníaco en verano (Gudev, *et al.* 2011) y su efecto en el

nivel de mRNA de la lipogénesis y el gen promotor de metilación en la síntesis de ácidos grasos (Xing, Jijiang; 2012).

De los estudios anteriores, no se ha demostrado si la betaína puede o no sustituir totalmente a la metionina, pues en la mayoría de los casos se usa a la betaína como un aditivo, más no como un sustituto, es decir, se provee la cantidad de metionina adecuada para las aves, dejando a especulación si actúa o no como sustituto.

### **1.5 Relaciones metabólicas entre metionina, colina y betaína**

La betaína, colina y metionina son todos nutrientes que contienen nitrógeno y comparten rutas en el metabolismo (figura 2). La colina y la metionina son sin duda nutrientes esenciales en la dieta para las aves, sin embargo la betaína no lo es, esta última sólo es una molécula importante en algunas funciones de las células, además de formar parte de las reservas de estructuras de un carbono a partir de aminoácidos (Galbis, 1999).

La betaína participa en la reacción de transmetilación de homocisteína a metionina, permite al cuerpo conservar la metionina y aumentar su disponibilidad como un aminoácido esencial para la síntesis de proteínas (Park, Ryu; 2011).

El metabolismo de la metionina se inicia con la formación de S-Adenosil metionina (SAM), que es desmetilado para formar S-Adenosil-Homocisteína (SAH). Esta

sustancia, después del proceso de hidrólisis, forma adenosina y homocisteína. La homocisteína puede seguir dos caminos distintos: el ciclo de remetilación o la transulfuración. Esta última vía alternativa se produce cuando hay exceso de metionina en el cuerpo, no siendo necesaria su recuperación, con la síntesis de cisteína. La remetilación de la homocisteína es catalizada por la enzima betaína-homocisteína metil transferasa (BHMT), lo que permite la recuperación de la metionina. Esta enzima permite la donación de grupos metilo de la betaína a la homocisteína, para que esta última a su vez se convierta en metionina. El ciclo de la remetilación se ve favorecido cuando hay una deficiencia relativa de metionina (Santos, *et al.* 2013).

Por otro lado, la colina necesita para su síntesis que el S-adenosil metionina done un grupo metilo a la fosfatidil etanolamina y que posteriormente sea hidrolizado; por tal razón la metionina puede sustituir a la colina en los mamíferos; en contraste, las aves tienen una limitada capacidad para producir este paso inicial en la biosíntesis, por ello requieren de la ingesta en la dieta de colina preformada (Dilger, *et al.* 2007).

La colina para poder realizar la función de donador de grupos metilo, primero se tiene que oxidar dentro de la mitocondria en betaína, y de esta forma cuando la metionina se transforma a homocisteína, podrá recibir un grupo metilo a partir de la betaína. Como fuente de grupos metilo, la betaína sustituye parcialmente las necesidades de colina y metionina (Ratriyanto, *et al.* 2009).

Al donar un primer grupo metilo, la betaína, se convierte en dimetilglicina (DMG) este compuesto contiene ahora dos grupos metilo, los cuales pueden escindirse vía oxidación en fragmentos de un carbono. Durante esta reacción, la dimetilglicina es degradada a sarcosina y finalmente a glicina. Los fragmentos de un carbono pueden ser usados para la síntesis de  *novo* de grupos metilo en la forma de metiltetrahidrofolato, los cuales son transferidos por medio de la enzima THFMT a la homocisteína para formar metionina (Eklund,  *et al.* 2005).

Si la colina o la betaína, donan su grupo metilo a la homocisteína para formar metionina, más metionina estaría disponible para reacciones de síntesis de proteínas y de metilación (Pesti,  *et al.* 2005).

En la industria alimenticia, la poca disponibilidad de la DL-metionina sintética surgió en el 2014 por problemas en la producción de materias primas en USA, haciendo que los principales productores en ese país no pudieran abastecer de metionina a su región, por lo que necesitaron del apoyo de otras países en Europa y Asia; al tener una demanda tan alta a nivel mundial, la disponibilidad del producto y la infraestructura fueron insuficientes ocasionando el incremento de su precio (Solla, 2014).

En varios países, subdesarrollados; las poblaciones urbanas crecen y de igual forma prefieren y consumen más productos del sector avícola. Esta producción a gran escala, requiere más insumos, como los aminoácidos en especial la metionina. En el pasado, la experiencia muestra que la demanda de este

aminoácido por el mercado de alimentación de la avicultura supera la producción de la metionina, por lo que hay un constante flujo de producción y precios en el mercado que determinan la oferta del producto final hacia el consumidor (Pellet, 2013). Adicionalmente, la genética ha mejorado a las especies productivas incrementando su necesidad de nutrientes en la dieta, en especial en los niveles de aminoácidos. Por lo que la búsqueda de ingredientes que disminuyan costos en la producción es una tarea constante (Pellet, 2013).

## **2. JUSTIFICACIÓN**

En 2014 debido a problemas en la producción de algunas materias primas, se generó poca disponibilidad de DL-metionina sintética, ocasionado un aumento en la demanda mundial con las consecuentes repercusiones para la industria alimentaria animal (Solla, 2014). Es por ello que actualmente, se buscan alternativas para poder reemplazar este ingrediente. La betaína anhidra puede ser una opción para sustituir a la metionina en dietas para aves.

### **3. HIPOTESIS**

La betaína anhidra substituirá en 100% a la DL-metionina sintética en dietas para gallina de postura de primer ciclo con base en sorgo-pasta de soya.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Evaluar diferentes niveles de inclusión de DL-metionina sintética y betaína anhidra sobre el comportamiento productivo de la gallina de postura.

### **4.2 Objetivos particulares**

1.-Medir el porcentaje de postura, peso promedio de huevo y consumo de alimento ave/día en gallinas de primer ciclo, alimentadas con dietas con diferentes niveles de inclusión de DL- metionina sintética y betaína anhidra.

2.-Calcular la masa de huevo, índice de conversión, porcentaje de huevo roto, huevo sin cascarón y huevo sucio en gallinas de primer ciclo alimentadas con dietas con diferentes niveles de inclusión de DL-metionina sintética y betaína anhidra

3. Determinar la ganancia o pérdida de peso de las aves alimentadas con dietas con diferentes niveles de inclusión de betaína anhidra y DL- metionina sintética.

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México. El cual se ubica en la calle Manuel M. López s/n, colonia Zapotitlán, Delegación Tláhuac, México DF; en los paralelos 19°17'30" latitud norte y meridianos 99°00'30", a una altitud de 2,250 msnm; con un clima templado subhúmedo (Cw), una precipitación pluvial media anual de 747mm y una temperatura media anual de 16°C, siendo enero el mes más frío y mayo el mes más caluroso (García, 1988).

Todos los procedimientos de manejo de las aves cumplieron con los requisitos señalados por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de los Animales Experimentales (CICUAE) de la FMVZ de la UNAM con base en la Norma Oficial Mexicana 062 (NOM-062-ZOO-1999).

Se utilizaron 432 gallinas de la estirpe Bovans White de primer ciclo con un peso promedio de  $1623 \pm 45.9$ g, de 64 semanas de edad y 46 semanas en producción. El experimento se realizó en una caseta de ambiente natural, en jaulas tipo California (espacio de  $400 \text{ cm}^2$  / ave) de dos niveles con una distribución piramidal, con bebederos de copa uno por cada dos jaulas y un comedero tipo canaleta. Las aves se distribuyeron en un diseño completamente al azar en 9 tratamientos con 4 réplicas de 12 gallinas cada una (3 aves por jaula) se les

proporcionó un fotoperiodo de 16 h luz por día. El agua y el alimento se ofrecieron *ad libitum* durante todo el experimento.

Antes de formular las dietas, se analizó el contenido de aminoácidos a los ingredientes empleados por medio de la técnica de espectrofotometría NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy), en los laboratorios de EVONIK®.

Se emplearon dietas con base en sorgo + pasta de soya que cubrieron las necesidades nutricionales de acuerdo a la etapa productiva y a las recomendaciones del manual de la estirpe (ISA, 2009) (Cuadro 1) a excepción de la DL-metionina sintética, la cual se adicionó en diferentes porcentajes en la dieta (0, 25, 50,75 y 100%). La sustitución de DL-metionina o betaína anhidra\* se realizó con silica\*\*, la cual no aportó nutrientes que afectaran la dieta. Los tratamientos variaron de 0.427% de aminoácidos azufrados digestibles (AAD=Metionina + Cistina) hasta 0.611% con incrementos de 0.046%.

Los tratamientos fueron:

- 1.- Dieta sin DL-metionina y sin betaína anhidra.
- 2.- Dieta con 25% DL-metionina
- 3.- Dieta con 50% DL-metionina
- 4.- Dieta con 75% DL-metionina
- 5.- Dieta con 100% DL-metionina

---

\*Betafín, DANISCO Betaína anhidra mín. 96%.

\*\* Sipernat 22s, EVONIK ,Silica, químicamente preparado

- 6.- Dieta con 25% betaína anhidra
- 7.- Dieta con 50% betaína anhidra
- 8.- Dieta con 75% betaína anhidra
- 9.- Dieta con 100% betaína anhidra

Al inicio y al final del experimento se pesaron 144 aves (33%) del total de la población (16 aves por tratamiento), mediante un muestreo aleatorio simple sin reemplazo (Méndez, *et al.* 2004) para determinar la ganancia o pérdida de peso. Durante los 70 días de experimentación se evaluaron semanalmente el porcentaje de postura, consumo de alimento ave/día (g), conversión alimentaria (kg: kg), peso promedio de huevo ave/día (g), masa de huevo ave/día (g), porcentaje de huevo sucio, roto y sin cascarón (fárfara).

## 5.1 Análisis estadístico

A los datos obtenidos de las variables estudiadas de los diferentes niveles de inclusión de DL-metionina y betaína anhidra se les realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño completamente al azar y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey con una significancia de  $P < 0.05$ .

Adicionalmente se creó una variable a la cual se le denominó “variable productiva”, mediante la técnica de componentes principales (Hair, 1999), empleando las variables conversión alimentaria, masa de huevo ave/día y ganancia de peso global.

Además a los datos obtenidos de los tratamientos de DL-metionina se les realizó una regresión lineal simple para establecer una curva de respuesta de la DL-metionina con una significancia de  $P < 0.05$ . Mediante el siguiente modelo:

$$y = \mu_0 + \mu_1 X_1$$

Donde:

$y$  = variable de respuesta (porcentaje de postura (%), peso promedio de huevo ave/día (g), consumo de alimento ave/día (g), índice de conversión (kg: kg), masa de huevo ave/día (g), porcentaje de huevo roto, sucio, sin cascarón, ganancia o pérdida de peso global y variable productiva.

$\mu_0$  = ordenada al origen

$\mu_1$  = coeficiente de regresión

$X_1$  = nivel de DL-metionina

La equivalencia de betaína anhidra con DL-metionina se calculó mediante la fórmula:

$$X_1 = (Y - a_0) / a_1$$

Donde

$X_1$  = equivalencia de betaína anhidra

$y$  = respuesta productiva promedio de betaína anhidra

$a_0$  y  $a_1$  = coeficientes de regresión de DL-metionina

Para el análisis estadístico de las variables estudiadas se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 19.

## 6. RESULTADOS

En el Cuadro 2, se muestra los resultados obtenidos en las variables productivas con distintos niveles de inclusión de DL-metionina en diez semanas de experimentación. No se encontró efecto en el consumo de alimento ave/día, porcentaje de huevo roto, sucio, sin cascarón (en fáfara), ni en la ganancia global de peso para ninguno de los diferentes niveles de DL-metionina ( $P>0.05$ ).

El porcentaje de postura, se incrementó en 6 unidades porcentuales conforme se fueron aumentando los niveles de inclusión de DL-metionina sintética en la dieta. El peso de huevo y masa de huevo ave/día presentaron la mejor respuesta a partir de la inclusión de 75% de DL-metionina sintética que corresponde a 0.565% de Metionina+Cistina digestible (61.9g y 57.6g respectivamente). La mejor conversión alimentaria la presentaron las aves que recibieron la dieta con 100% de inclusión de DL-metionina, que correspondió a 0.611% de Metionina+Cistina digestibles en la dieta (1.75 kg) ( $P<0.05$ ). La variable productiva mostró un mejor comportamiento estadísticamente significativo ( $P<0.05$ ) conforme aumentó la adición de DL-metionina en la dieta.

Los resultados promedio en los parámetros productivos, con distintas inclusiones de betaína anhidra en sustitución de DL-metionina en la dieta, se muestran en el Cuadro 3, donde se observa que no hubo una diferencia en la respuesta en los distintos niveles de inclusión de betaína en ninguna de las variables estudiadas ( $P>0.05$ ).

Al realizar la regresión lineal de los diferentes niveles de inclusión de DL-metionina con las variables productivas se encontró para porcentaje de postura que por cada 1% de incremento de DL-metionina sintética en la dieta, la producción aumentó un 0.056%, lo cual es explicado por la siguiente ecuación:  $y=88.68+0.056*\%$  inclusión de DL-metionina;  $R^2=0.40$ ;  $P<0.05$  (Figura 3). Al substituir en la ecuación los niveles de betaína anhidra se calculó que se puede substituir hasta un 20% de DL-metionina por betaína anhidra lo que representó 0.464% de Metionina+Cistina digestible (Figura 4).

El peso de huevo aumentó 0.02 g por cada 1% de incremento de DL-metionina en la dieta lo cual es explicado por la siguiente ecuación  $Y=59.83+0.020*\%$  inclusión de DL-metionina;  $R^2=0.45$ ;  $P<0.05$  (Figura 5). Al realizar la substitución de los valores en la ecuación por la betaína se calculó que se puede substituir hasta un 2% de DL-metionina por betaína anhidra lo que representó 0.431% de Metionina+Cistina digestible (Figura 6).

En cuanto al índice de conversión alimentaria disminuyó 0.0018 kg por cada 1% de incremento de DL-metionina sintética en la dieta, lo cual es explicado por la siguiente ecuación  $y= 1.924-0.0018*\%$  inclusión de DL-metionina;  $R^2=0.61$ ;  $P<0.05$  (Figura 7). Al realizar la substitución de los valores en la ecuación por la betaína se calculó que se puede substituir hasta un 15.3% de DL-metionina por betaína anhidra lo que representó 0.460% de aminoácidos azufrados digestibles (Figura 8).

Por último para la variable masa de huevo aumentó 0.052 g por cada 1% de incremento de DL-metionina en la dieta, lo cual es explicado por la siguiente ecuación  $y = 53.06 + 0.052 * \% \text{ Inclusión de DL-metionina}$ ;  $R^2 = 0.57$ ;  $P < 0.05$  (Figura 9). Y al realizar la sustitución de los valores de betaína en la ecuación se calculó que se puede substituir hasta un 13.5% de DL-metionina por betaína anhidra lo que representó 0.452% de Metionina+Cistina digestible (Figura 10).

El componente principal llamado “variable productiva” formado por las variables: índice de conversión, masa de peso y ganancia de peso, explica casi el 70% de la variación en conjunto de esas variables. Adicionalmente, el componente principal explica el 96% de la variación en el índice de conversión, 95% de la variación en la masa de huevo y 16% en la variación de la ganancia de peso.

A la variable productiva (resultado de la técnica de componentes principales) se le realizó una regresión lineal con los niveles de DL-metionina, con la cual se calculó el nivel de sustitución de betaína anhidra correspondiente a 15% en la dieta, la cual es explicada por la siguiente ecuación  $y = -0.725 + (0.021 * \% \text{ inclusión de DL-metionina})$ ;  $R^2 = 0.55$ ;  $P < 0.05$ , (Figura 11); y equivalente a 0.454% de aminoácidos azufrados digestibles como se observa en la Figura 12.

## 7. DISCUSIÓN

Los resultados promedio de las variables postura y masa de huevo obtenidos para los tratamientos con diferentes inclusiones de DL-metionina, fueron mayores respecto al manual de la estirpe (ISA, 2009), esto puede deberse a la persistencia después del pico en la postura que mostraron las aves. Mientras que para la conversión alimentaria se obtuvo una mejora en los valores de los tratamientos donde la inclusión de DL-metionina fue mayor, esto se relaciona a una mayor eficiencia en el uso de este ingrediente para la formación de huevo (Willke, 2014), en cuanto al peso promedio de huevo se obtuvieron valores ligeramente inferiores respecto al manual de la estirpe para los tratamientos con baja inclusión de metionina.

Los tratamientos con DL-metionina, obtuvieron una clara mejora en la producción de huevo, peso de huevo ave/día, conversión alimentaria, masa de huevo ave/día, y en la variable productiva conforme los niveles de inclusión de DL-metionina se incrementaban en la dieta, lo cual concuerda con lo reportado por Fuente *et al* en 2001, que encontraron el mismo efecto pero con gallinas de 24 semanas de edad, con dietas de cinco diferentes niveles de aminoácidos digestibles que variaron de 0.41 a 0.65%, sin embargo en su experimento tuvieron diferencias en el consumo de alimento, mostrando un mayor consumo conforme aumentaba la inclusión de metionina. Se reconoce que el contenido de aminoácidos esenciales afecta el consumo de alimento, por lo que las dietas deficientes en uno o más aminoácidos

esenciales dan como resultado un menor consumo y una baja de peso (Cuca, *et al.* 2009)

A pesar de no encontrar diferencia estadística entre los tratamientos con inclusiones de betaína anhidra, distintos autores han reportado que la adición de este ingrediente puede beneficiar la producción y peso de huevo. Zou en 2001, observó un incremento en las concentraciones de hormonas FSH y LH en la pituitaria anterior (adenohipófisis) con la adición de 800 ppm, lo cual podría explicar el efecto positivo en el comportamiento productivo (Xing, Jijiang; 2012), esto a partir de la adición de casi un 40% de la betaína empleada en este trabajo.

Zou, *et al.*, en 1998, reportaron una mejora en la producción de huevo y conversión alimentaria, debido al efecto de la adición en las dietas de: 1) 800 ppm de betaína, 2) 70 ppm tiroproteína y 3) una sinergia entre betaína más tiroproteína, donde se observó un aumento de las hormonas triyodotironina (T3) y tiroxina (T4) para cada tratamiento, las cuales también pueden mejorar la función ovárica y la ovulación, y por consecuencia la producción de huevo.

Para el año 2002, Zou y Lu obtuvieron mejoras en la producción de huevo en un 8.67% y conversión alimentaria en un 9.02% en gallinas ISA-Brown de 20 semanas de edad, con una inclusión de 600 ppm de betaína en comparación con la dieta en el estudio anterior, sin embargo es necesario considerar que en dicho trabajo se emplearon gallinas de postura semipesadas, las cuales tienen un mayor

consumo de alimento y por consecuente de nutrientes para mostrar un mejor comportamiento productivo (Zou, Lu; 2002).

Yalcin y colaboradores desde 1992, ya habían observado una mejora en la conversión alimentaria, sin embargo a diferencia de Zou y Lu, sólo adicionaron una sexta parte de betaína en la dieta para generar una reducción de 3, 77% en el consumo promedio de alimento/ docena de huevo.

A partir de las evidencias anteriores se podría explicar que en este experimento se haya encontrado que los porcentajes calculados de betaína en sustitución de DL-metionina para las variables porcentaje de huevo y conversión alimentaria sean de 20 y 15% correspondientemente, ya que en algunos estudios se encontró que con tan solo 100g/ton se logra encontrar una mejora en la respuesta.

La betaína también actúa como un promotor de la lipogénesis (Xing, Jijiang; 2012) y de agentes lipotróficos en el hígado promoviendo la movilización de lípidos a la yema de huevo, hasta un punto en donde los aminoácidos azufrados son necesitados para la síntesis de la proteína de huevo, así mismo Lu y Zou, en 2006 al probar la inclusión de 600 ppm de betaína en la dieta de gallinas de 20 semanas de edad encontraron un aumento en las concentraciones de los precursores de la yema, VLDL (lipoproteínas de muy baja densidad) y vitelogen (Lu, Zou; 2006).

Aunque la betaína funge como donadora de grupos metilo en reacciones de transmetilación para la síntesis de diversas sustancias como la carnitina y creatina

(Kidd *et al.* 1997). La metionina cumple otras funciones además de ser donadora de grupos metilo, siendo la de mayor relevancia la formación de proteínas (Willke, 2014), efecto que se reflejó claramente en el peso del huevo, en donde solamente la betaína pudo sustituir a la metionina en un 2%, pues como observaron Harms y Russell en 2002, si una dieta tiene niveles adecuados de metionina y colina no se observará respuesta negativa en producción y peso de huevo por ello es importante que no se desvíe su empleo para la formación de otros compuestos.

Al realizar la técnica de componentes principales se obtuvo que el porcentaje calculado para la equivalencia de betaína anhidra en DL-metionina fué de 15%, lo que corresponde en este estudio a la sustitución de 315 gramos de DL-metionina adicionada que podrían ahorrarse sin que esto afectara los parámetros productivos.

García *et al.*, 1999 realizaron un estudio con pollos de engorda, mostrando la biodisponibilidad de la betaína en comparación con la metionina, obteniendo que para la variable peso corporal tenía un 50% y para conversión alimentaria un 67%; por lo cual es necesario realizar estudios de este estilo para aves de postura y analizar por qué la adición de betaína muestra diferentes respuestas según su porcentaje de inclusión en la dieta y el tipo de estirpe de aves empleadas.

En estudios futuros también se recomienda la evaluación de los niveles de la betaína homocisteína metiltransferasa (BHTM) para conocer la actividad de la betaína en relación al metabolismo de la metionina, así como los niveles de

retilación de la homocisteína como lo realizaron Emmert, *et al.* 1996 para pollo de engorde, para conocer cuánta metionina puede generar esta vía en gallinas de postura.

## 8. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, bajo las condiciones experimentales empleadas se puede concluir que los niveles calculados para la sustitución de DL-metionina por betaína anhidra son: para porcentaje de postura 20% (0.464% AAD), conversión alimentaria 15% (0.460% AAD), masa de huevo ave/día 13.5% (0.451% AAD) y peso promedio de huevo 2% (0.431% AAD) en la dieta total.

Con base en el uso de la técnica de componentes principales se calculó que el nivel de inclusión de betaína anhidra equivalente a DL-metionina es de 15% (0.454% AAD) en la dieta total, resultado en el cual no se afectan las variables productivas.

## 9. REFERENCIAS

1. Abel H, Libal R, Icking H. 1986. Untersuchungen zum Einfluß von Cholin und Betain bei unterschiedlichem Methioningehalt des Legehennenfutters auf Parameter der Legeleistung und Futtermittelverwertung. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 56:59-65.
2. Alltech, 2014. Encuesta global sobre alimento balanceado. Kentucky, US. [http://es.alltech.com/sites/default/files/alltech\\_globalfeedsummary\\_2015\\_spa.pdf](http://es.alltech.com/sites/default/files/alltech_globalfeedsummary_2015_spa.pdf) [Consulta: 15 marzo 2015].
3. Balchem Corporation, 1990. *Choline, functions and requirements*. s.l.:Balchem Corporation.
4. Choe HS, Li HL, Park JH, Kang CW, Ryu KS. 2010. Effects of dietary betaine on the secretion of insulin-like growth factor-I and insulin-like growth factor binding protein-1 and -3 in laying hens. *Asian- Aust*, 23(3):379-384.
5. [CONAFAB] 2013 .Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal (México) 2015. *La Industria Alimentaria Animal de México*. México, DF.:sn.
6. Cuca-García M, Ávila-González E, Pro MA. 2009. *La alimentación de las aves*. 2a ed. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
7. De Blas C, Mateos GG, García-Rebollar P. 2010. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*. 3ra. ed. Madrid: FEDNA.
8. Dilger RN, Garrow TA, Baker DH. 2007. Betaine can partially spare choline in chicks but only when added to diets containing a minimal level of choline. *J.Nutr*.137: 2224-2228.
9. DSM, in Animal Nutrition and Health, 2015.Choline properties and metabolism, [https://www.dsm.com/markets/anh/en\\_US/Compendium/poultry/choline.html](https://www.dsm.com/markets/anh/en_US/Compendium/poultry/choline.html) [Consulta: 14 marzo 2015].
10. Eklund M, Bauer E, Wamatu J, Mosenthin R. 2005. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. *Nutrition Research Reviews*, 18: 31-48.
11. Emmert JL, Garroe TA, Baker DH, 1996. Hepatic betaine-homocysteine methyltransferase activity in chicken is influenced by dietary intake of sulfur amino acids, choline and betaine. *The Journal of Nutrition*, 126(8): 2050-8.

12. Fuente-Martinez B, Ávila-González E, Buntinx-Dios SE, Lecumberri-López J, 2001. *Determinación de las necesidades de lisina, aminoácidos azufrados y treonina digeribles en gallinas de postura para la formulación de dietas con base al concepto de proteína ideal (Tesis de maestría)*. D.F., México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia–UNAM.
13. Galbis-Perez JA, 1999. Efectos específicos de algunos sustituyentes. *Panorama actual de la química farmacéutica*. Madrid, España: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, pp. 310-316.
14. García M, 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climáticas de Köppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana*. México D.F.: Talleres Offset Larios.
15. García MN, Bakalli RI. 1999. Relative Bioavailability of two labile methyl sources methionine and betaine. *Poultry Science*, 78(Suppl.1):135.
16. Gudev D, Popova-Ralcheva S, Yanchev I, Moneva P, Petrov E, Ignatova M. 2011. Effect of betaine on egg performance and some blood constituents in laying hens reared indoor under natural summer temperatures and varying levels of air ammonia. *Bulgarian Journal Agriculture Science*, 17(6):859-866.
17. Guérin M. 2000. *Uso de betaína en alimentos acuícolas: atractante, osmorregulador o metabolito lipotrófico?*. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Noviembre 15-18 La Paz, B.C.S., México.
18. Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Black WC. 1999. Análisis multivariante. 5ª ed. Madrid, España: Prentice Hall.
19. Harms RH, Russell GB. 2002. Betaine does not improve performance of laying hens when the diet contains adequate choline. *Poultry Science*, 81(1):99-101.
20. ISA, 2009. *Guía de manejo de la nutrición de las ponedoras comerciales Bovans White*. s.l.:ISA A Hendrix Genetics Company.
21. Kalbande VH, Ravikanth K, Maini S, Rekhe DS. 2009. Methionine supplementation options in poultry. *International Journal of Poultry Science*, 8(6):588-591.
22. Kidd MT, Ferket PR, Garlich JD, 1997. Nutritional and osmoregulatory functions of betaine. *World's Poultry Science Journal*, 53:125-139.

23. Lu JJ, Zou XT. 2006. Effects of adding betaine on laying performance and contents of serum yolk precursors VLDL and VTG in laying hen. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & life Sciences)*.32: 287-291.
24. Méndez-Ramírez, I., Eslava-Gómez G., Romero-Mares P., 2004. *Conceptos básicos de muestreo*. México: UNAM-IIMAS.
25. [NOM]. *Norma Oficial Mexicana*. [PDF 22 agosto 2001]. NOM-062-ZOO-1999. *Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio*. México: DOF-SEGOB. <http://www.senasica.gob.mx/?doc=743> [Consulta: 22 agosto 2015]
26. [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura , 2013. *Revisión del desarrollo avícola*. s.l.:FAO.
27. Park JH., Park SY, Ryu KS. 2005a. Effects of dietary betaine and energy levels on liver fats and cholesterol in laying hen. *Korean Journal Poultry Science*, 32(3): 149-156.
28. Park JH, Park SY, Ryu KS. 2005b. Effects of dietary betaine and protein levels on performance, blood composition, abdominal fat and liver amino acid, concentration in laying hens. *Korean journal Poultry Science*, 32:157-153
29. Park JH, Ryu KS, 2011. Relationship between dietary protein levels and betaine supplementation in laying hens. *Japan Poultry Science*, 48(4):217-222.
30. Pellet, F. 2013. *Adisseo: Bringing value through precision and dedication* <http://www.efeedlink.com/contents/12-19-2013/01ffc9e6-ffe8-44ec-a551-3a2b5a96d2ee-c253.html> [Consulta: 12 Sep 2015].
31. Pereira-Zanin PW, Menten-Machado JF. 2008. Avaliação de complexo enzimático e betáína natural nas rações de frangos de corte criados em aviário comercial(Tesis maestría).Piracicaba, San Paulo, Brazil: Universidad de San Paulo. <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp088650.pdf> [Consultado 7 sep 2015]
32. Pesti GM, Bakalli RI, Driver JP, Atencio A, Foster EH. 2005. *Poultry nutrition and feeding*. Primera ed. Vancouver BC: Trafford Publishing Co.
33. Pillai P, Fanatico AC, Beers KW, Blair ME, Emmet JL. 2006. Homocysteine remethylation in young broilers fed varying levels of methionine, choline, and betaine. *Poultry Science*, 85(I): 90-95.

34. Ratriyanto A., Mosenthin R., Bauer E., Eklund M., 2009. Metabolic, Osmoregulatory and Nutritional Functions of Betaine in Monogastric Animals. *Asian- Australian Journal of Animal Science*, 22(10):1461-1476.
35. Rodrigueiro R, 2010. O Que Esperar da betaína como fonte poupadora da DL-Metionina suplementar.  
[www.avisite.com.br/cet/img/20101105\\_evonik.pdf](http://www.avisite.com.br/cet/img/20101105_evonik.pdf) [Consulta: 08/05/2015].
36. Ryu MS, Park JH, Shin KH, Na JS, Rye KS. 2003. Effects of dietary supplementation of betaine on performance, lipid metabolic parameters, and blood and ileal osmolality in laying hens. *Korean Journal Poultry Science*, 30(4):259-267.
37. Santos-Araújo LR, Viana-Dias A, Bandeira-Barros T, Barboza-Guimarães D, Furtado-Cantanhêde L, Toniolli R. 2013. Aplicações da betaína na produção animal. *Revista de ciências da vida*, 33(1): 64-74.
38. Saunderson C, Mackinlay J. 1990. Changes in body-weight, composition and hepatic enzyme activities in response to dietary methionine, betaine and choline levels in growing chicks. *British Journal of Nutrition*, 63(2):339-349.
39. Schutte J, De Jong J, Smink W, Pack M, 1997. Replacement value of betaine for DL-methionine in male broiler chicks. *Poultry Science*, 76(2):321–325.
40. Solla, 2014. *Solla.com*. Situación de metionina y treonina a nivel global <http://www.solla.com/content/situacion-de-metionina-y-treonina-nivel-global> [Consulta: 28 Marzo 2015].
41. Soriano Del Castillo, J. M., 2006. *Nutrición básica humana*. Valencia, España: Universitat de Valencia, Servei de Publicacions.
42. Sun H, Yang WR, Yang ZB, Wang Y, Jiang SZ, Zhang GG. 2008. Effects of betaine supplementation to methionine deficient diet on growth performance and carcass characteristics of broilers. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 3(3):78-84.
43. Unión Nacional de Avicultores, 2015. *Compendio de indicadores económicos del sector avícola*. <http://www.una.org.mx/> [Consulta: 15 Junio 2015].
44. Urich K. 1994. Sulphur-Containing Amino Acids. *Comparative Animal Biochemistry*. New York: Springer-Verlag, p. 422.

45. Virtanen E., Rosi L., 1995. *Effects of betaine on methionine requirement of broilers under various environmental conditions*. Proc. of the Austral . Poultry Science Symposium. Sydney, Australia, University of Sydney.
46. Willke T. 2014. Methionine production - a critical review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(24):9893-9914.
47. Xing J, Jijiang Y. 2012. Effect of dietary betaine supplementation on mRNA level of lipogenesis genes and on promoter CpG methylation of fatty acid synthase (FAS) gene in laying hens. *African Journal of Biotechnology*. 11:6633-6640.
48. Yadalam S, Bryant MM, Roland DA, 1999. *Influence of betaine on the performance of commercial leghorns*. s.l., Poultry Science.
49. Yalçın S, Ergün A, Çolpan I. 1992. The effects of betaine supplementation on egg quality in laying hen. *Veteriner Fakultesi Dergisi, Universitesi Ankara*, 39:325-335.
50. Zou XT. 2001. Effects of betaine on endocrinology of laying hens and its mechanism of action. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 21:300-303.
51. Zou XT, Lu JJ. 2002. Effects of betaine on the regulation of the lipid metabolism in laying hen. *Agricultural Science in China*.1:1043-1049.
52. Zou XT, Ma YL, Xu ZR. 1998. Effects of betaine and thyroprotein on laying performance and approach to mechanism of the effects in hens. *Acta Agriculturae Zhejiang*,10:144-149.

## 10. CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Composición de la dieta experimental empleada para determinar el nivel de sustitución de DL-metionina por betaína anhidra en gallinas Bovans White.

Ingrediente	Cantidad (kg)
Sorgo	611.755
Pasta soya	223.000
Carbonato de calcio	113.000
Aceite vegetal	31.000
Ortofosfato de calcio	9.000
Sal	4.500
Premezcla de vitaminas y minerales *	2.400
DL-metionina	2.100
Pigmento rojo natural †	1.200
Cloruro de colina 60%	0.800
Promotor de crecimiento no antibiótico ‡	0.600
L-lisina HCL	0.350
Antioxidante §	0.150
Fitasa **	0.100
Pigmento amarillo sintético ††	0.045
Total	1000.000
<b>Análisis calculado</b>	
Energía metabolizable, Kcal/kg	2,892
Proteína cruda, %	16.73
Metionina+cistina, %	0.70
Metionina+cistina digestibles, %	0.61
Lisina,%	0.79
Lisina digestible,%	0.72
Treonina,%	0.61
Treonina digestible, %	0.51
Fósforo disponible,%	0.40
Calcio total,%	4.45
Sodio,%	0.18

\* Vitaminas y minerales/kg: Vitamina A: 4,000,000 MUI; Vitamina D3 666,666 UIP; Vitamina E 10,000 UI; Vitamina K3 1.16g; Vitamina B1 0.83 g; Vitamina B2 2.33g; Vitamina B6 1.66g; Vitamina B12 6.66 mg; Niacina 10g; Ácido pantoténico 3.33g; Ácido fólico 0.33g; Biotina 33.33mg; Colina 100g; Hierro 20g, Zinc 26.66g; Manganeso 36.66g; Cobre 5g; Iodo 0.33g; Selenio 0.1g; cbp (1000g).

† Avired(PIVEGS) pigmento avícola extraído del fruto de chile (*Capsicum Annum*), 5g/kg

‡ ALQUEER FEED, *Lactobacillus farciminis* (2.5 x 10<sup>12</sup> UFC), endo-1,3 (4 betaglucanasas (33000 U), endo 1, 4 beta-xilanasas (48000 U).

§ Feed-Ox, (Dresesn Química S.A. de C.V.), BHA (Butil hidroxil anisol) 1.2%, BHT (Butil hidroxil tolueno) 9.0%, Etoxiquin 4.8%. Agentes quelantes 10%, excipiente cbp 100%.

\*\* Quantum TR 5000 P, (AB Vista Feed ingredients), Aditivo enzimático, 5000 FTU/g

†† Essenzia Golden Yellow, ROHA, concentración xantofilas naturales de flor de cempazuchitl : 1.40%

Cuadro 2. Resultados promedio de parámetros productivos en gallinas alimentadas con distintos porcentajes de inclusión de DL-metionina en la dieta.

Variable	Porcentaje de inclusión de DL-metionina en la dieta					EEM
	0	25	50	75	100	
	(0.427)*	(0.473)*	(0.519)*	(0.565)*	(0.611)*	
Postura, %	88.12 <sup>b</sup>	91.09 <sup>ab</sup>	90.99 <sup>ab</sup>	92.95 <sup>ab</sup>	94.12 <sup>a</sup>	0.61
Consumo de alimento, g	101	102	101	101	101	0.13
Conversión alimentaria, kg: kg	1.943 <sup>b</sup>	1.857 <sup>ab</sup>	1.834 <sup>ab</sup>	1.770 <sup>a</sup>	1.756 <sup>a</sup>	0.014
Peso huevo ave/día, g	59.4 <sup>b</sup>	60.5 <sup>ab</sup>	61.0 <sup>ab</sup>	61.9 <sup>a</sup>	61.3 <sup>a</sup>	0.20
Masa huevo ave/día, g	52.4 <sup>b</sup>	55.1 <sup>ab</sup>	55.5 <sup>ab</sup>	57.6 <sup>a</sup>	57.7 <sup>a</sup>	0.42
Huevo roto, %	5.01	1.76	2.30	1.85	2.95	0.42
Huevo en fáfara, %	1.15	0.27	0.50	0.81	1.30	0.15
Huevo sucio, %	1.46	1.12	1.69	1.70	2.11	0.15
Ganancia de peso global, kg	-0.17	-0.89	0.57	0.95	0.60	0.29
Variable productiva	-0.909 <sup>b</sup>	-0.032 <sup>ab</sup>	0.321 <sup>ab</sup>	1.093 <sup>a</sup>	1.152 <sup>a</sup>	0.53

\*Valores entre corchetes, corresponden al porcentaje de Metionina+Cistina digestibles en la dieta.

Diferente letra en la misma fila indica que los tratamientos son distintos (P<0.05; Tukey)

EEM= error estándar de la media

Cuadro 3. Resultados promedio de los parámetros productivos en gallinas alimentadas con distintos porcentajes de inclusión de betaína anhidra en sustitución de DL-metionina en la dieta.

Variable	Porcentaje de inclusión de betaína anhidra en la dieta					EEM
	0	25	50	75	100	
	(0.427)*	(0.427)*	(0.427)*	(0.427)*	(0.427)*	
Porcentaje de postura	88.12	92.03	87.35	90.65	89.19	0.55
Consumo de alimento, g	101	101	101	101	101	0.13
Conversión alimentaria, kg: kg	1.943	1.823	1.955	1.891	1.907	0.014
Peso huevo ave/día, g	59.46	60.83	59.99	59.17	59.55	0.20
Masa huevo ave/día, g	52.42	55.98	52.35	53.65	53.12	0.42
Huevo roto, %	5.01	2.98	1.42	3.55	1.67	0.42
Huevo en fáfara, %	1.15	0.78	1.43	0.97	1.38	0.15
Huevo sucio, %	1.46	2.78	1.93	2.03	2.69	0.15
Ganancia de peso global, kg	-0.17	0.40	-0.18	-1.30	0.27	0.29
Variable productiva	-0.909	0.444	-0.991	-0.536	-0.541	0.63

\*Valores entre corchetes, corresponden al nivel de nutriente de Metionina+Cistina total en la dieta.

No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre ninguno de los tratamientos ( $P > 0.05$ ; Tukey)

EEM= Error estándar de la media

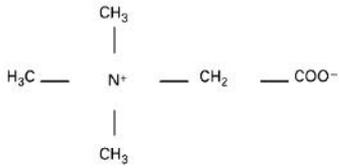


Figura 1. Estructura química de la betaína (Eklund, *et al.* 2005)

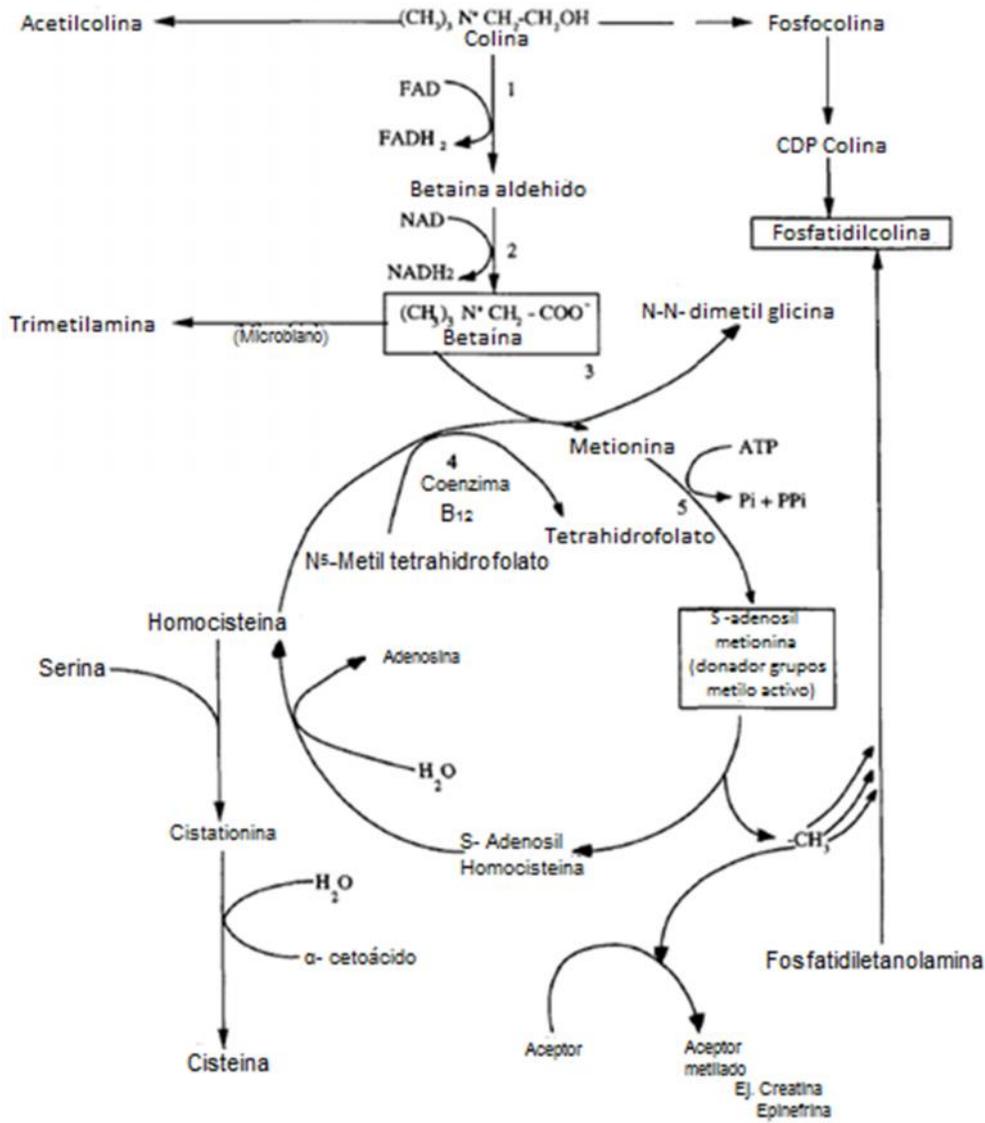


Figura 2. Metabolismo de colina y betaína en las aves (Kidd, *et al.* 1997)

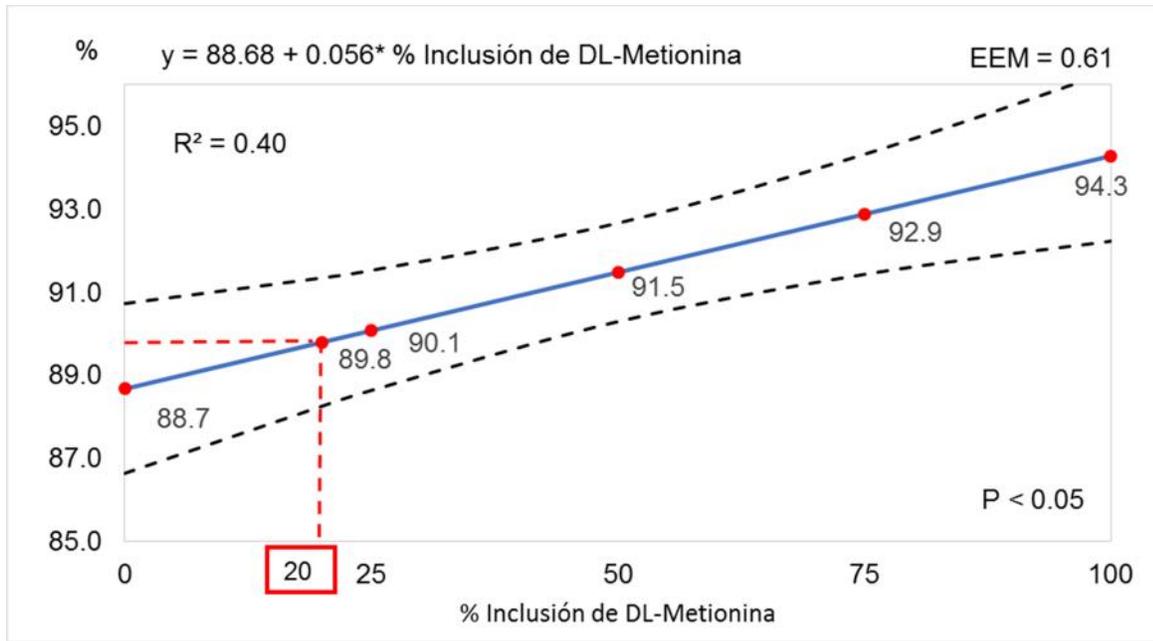


Figura 3. Porcentaje calculado de sustitución de DL-metionina por betaína anhidra en producción de huevo, expresado en porcentaje DL-metionina sintética

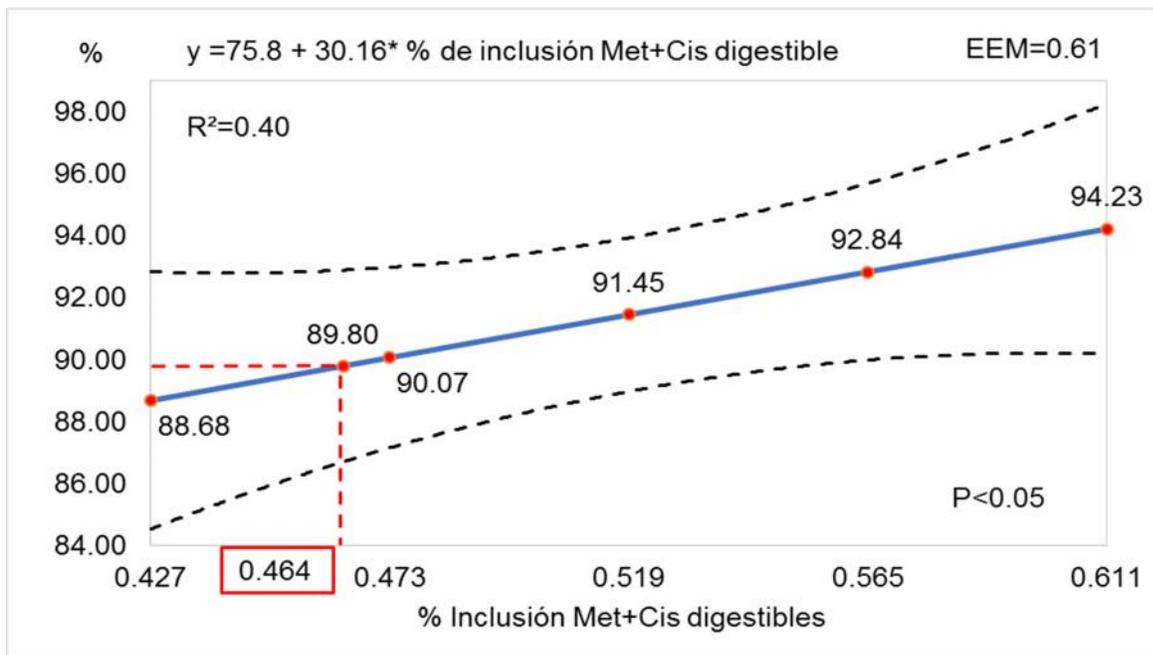


Figura 4. Porcentaje calculado de sustitución de DL-metionina por betaína anhidra en producción de huevo, expresado en aminoácidos azufrados digestibles.

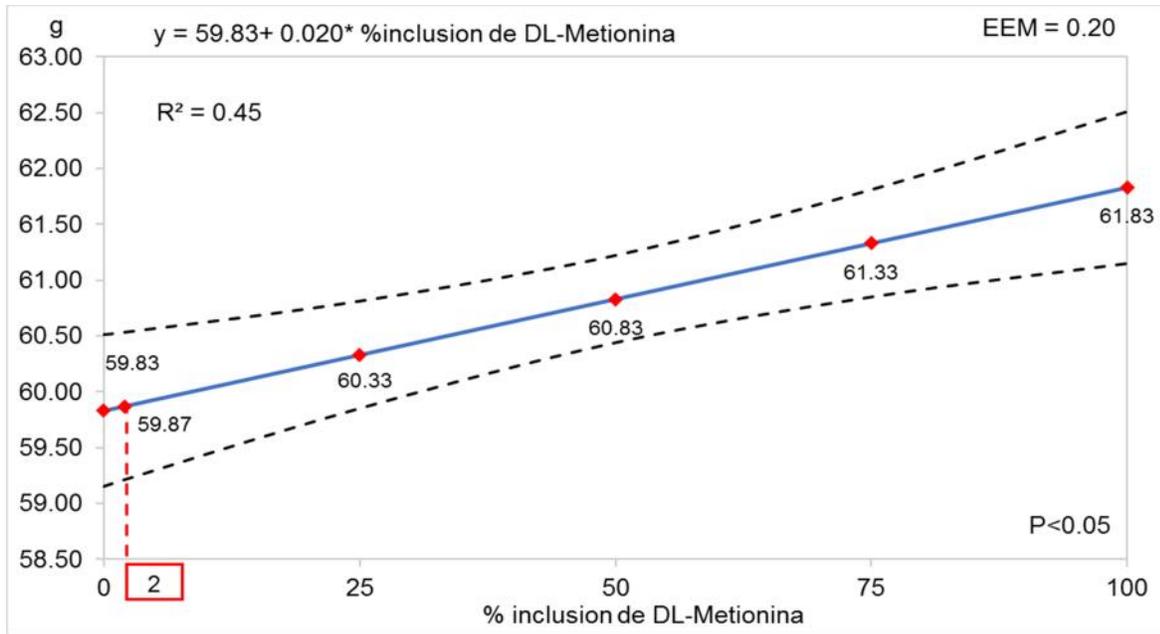


Figura 5. Porcentaje calculado de sustitución de DL-metionina por betaína anhidra en peso de huevo ave/día, expresado en porcentaje DL-metionina sintética

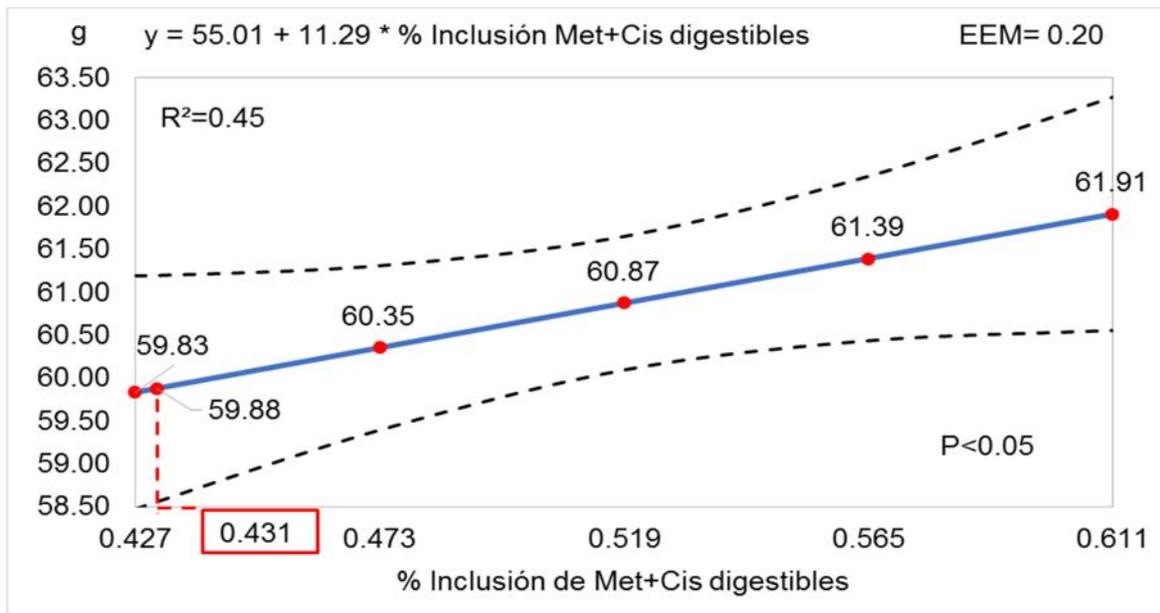


Figura 6. Porcentaje calculado de sustitución de DL-metionina por betaína anhidra en peso de huevo ave/día, expresado en aminoácidos azufrados digestibles.

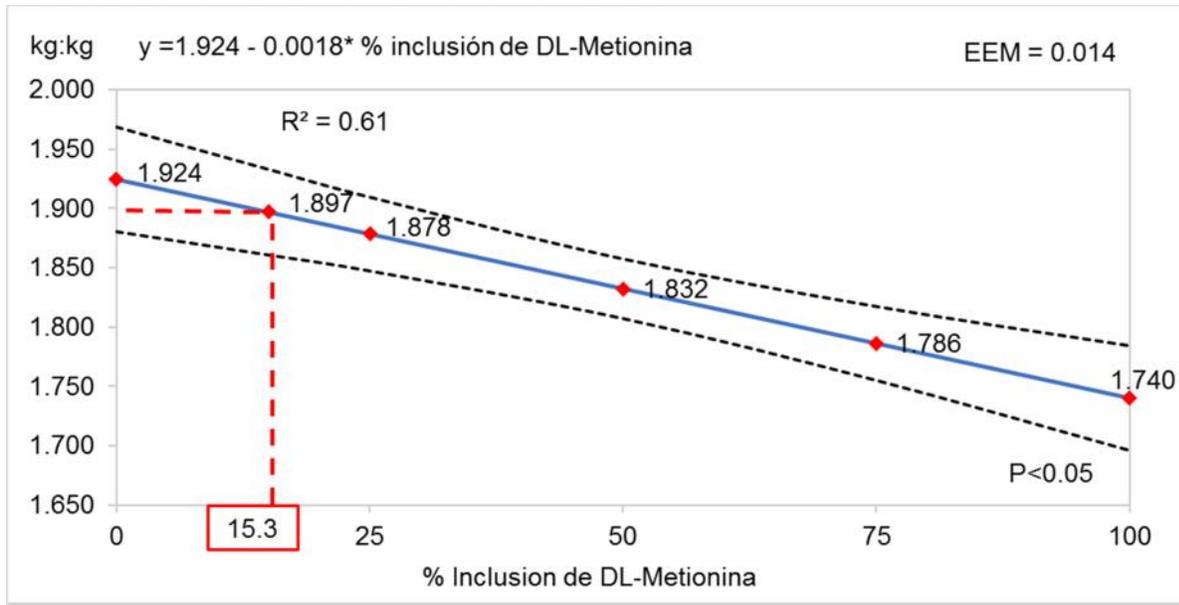


Figura 7. Porcentaje calculado de sustitución de DL-metionina por betaína anhidra en índice de conversión alimentaria, expresado en porcentaje DL-metionina sintética.

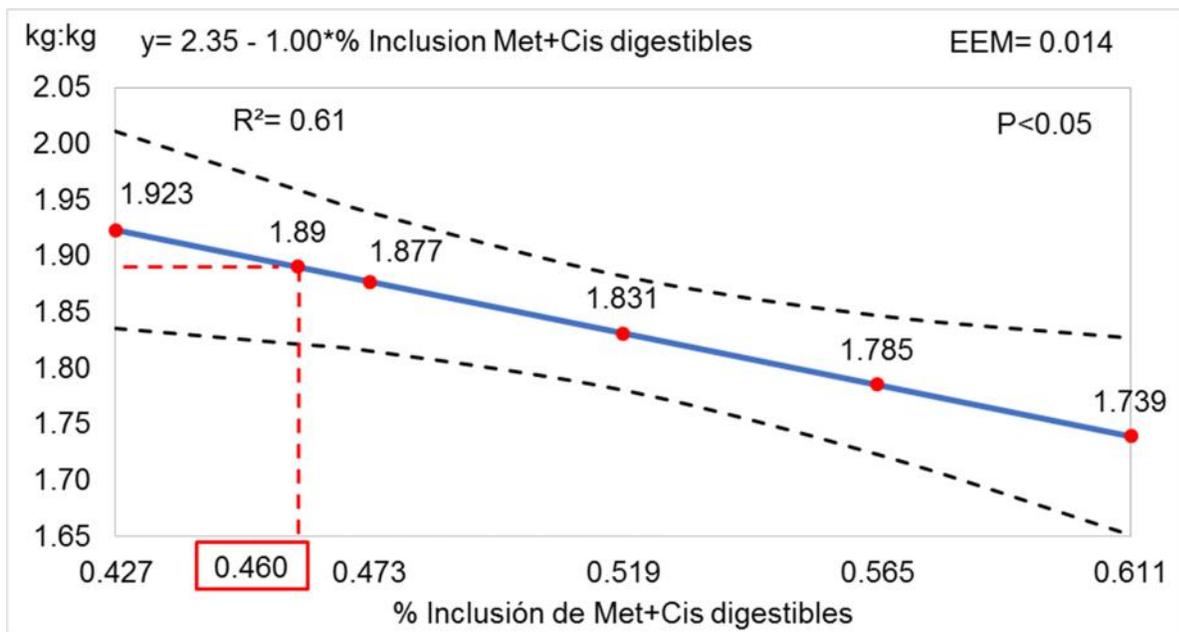


Figura 8. Porcentaje calculado de sustitución de DL-metionina por betaína anhidra en índice de conversión alimentaria, expresado en aminoácidos azufrados digestibles.

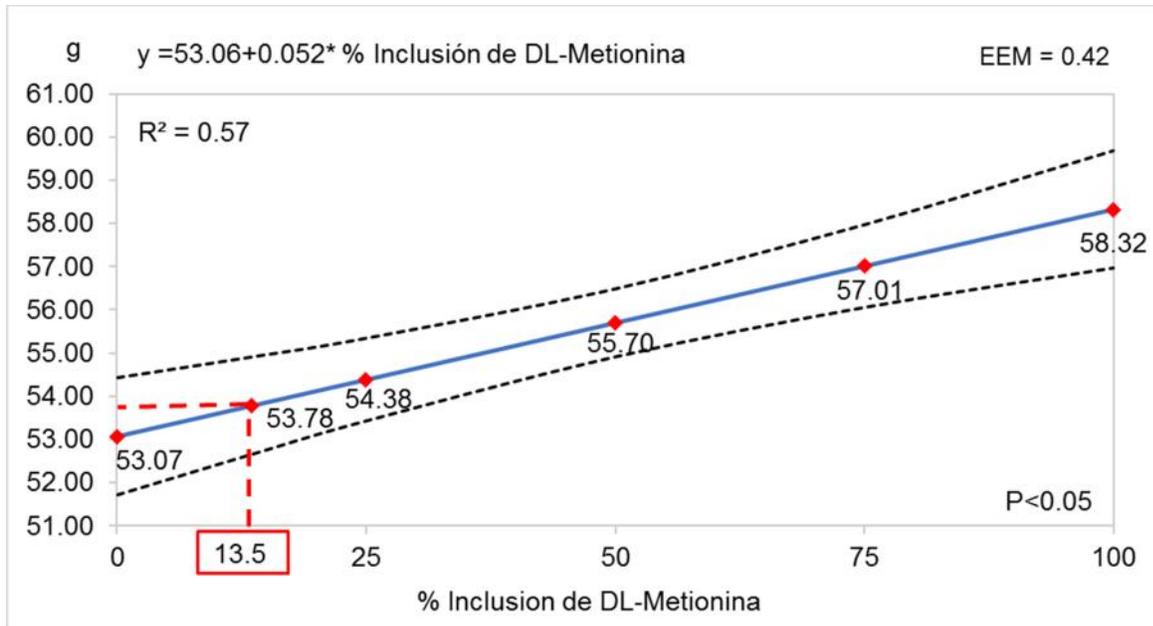


Figura 9. Porcentaje calculado de substitución de DL-metionina por betaína anhidra en masa de huevo ave/día, expresado en porcentaje DL-metionina sintética

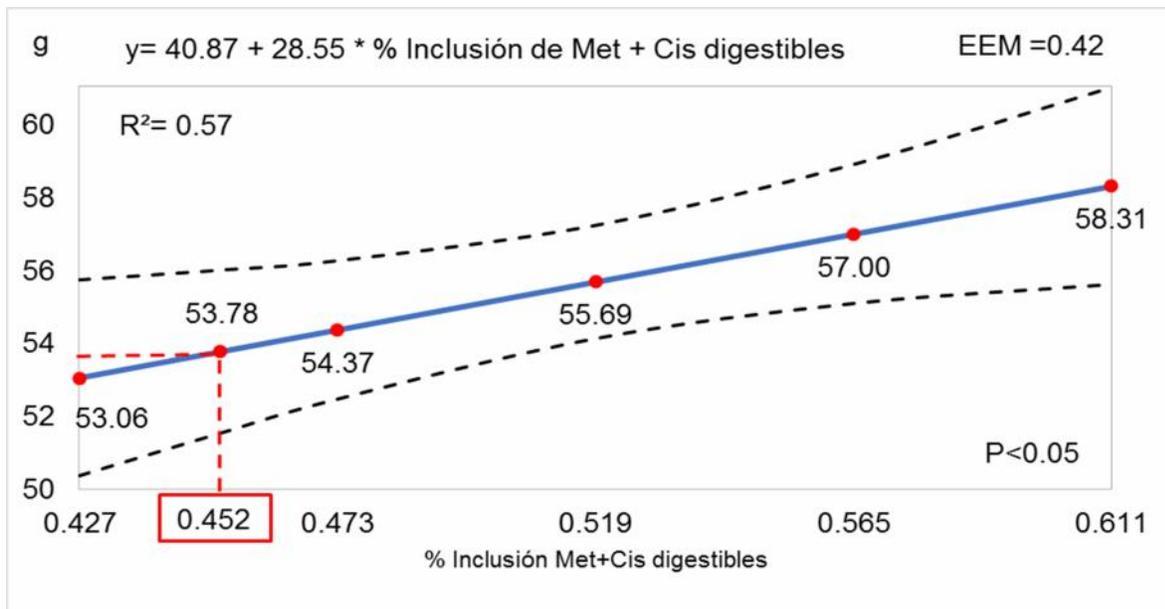


Figura 10. Porcentaje calculado de substitución de DL-metionina por betaína anhidra en masa de huevo ave/día, expresado en aminoácidos azufrados digestibles.

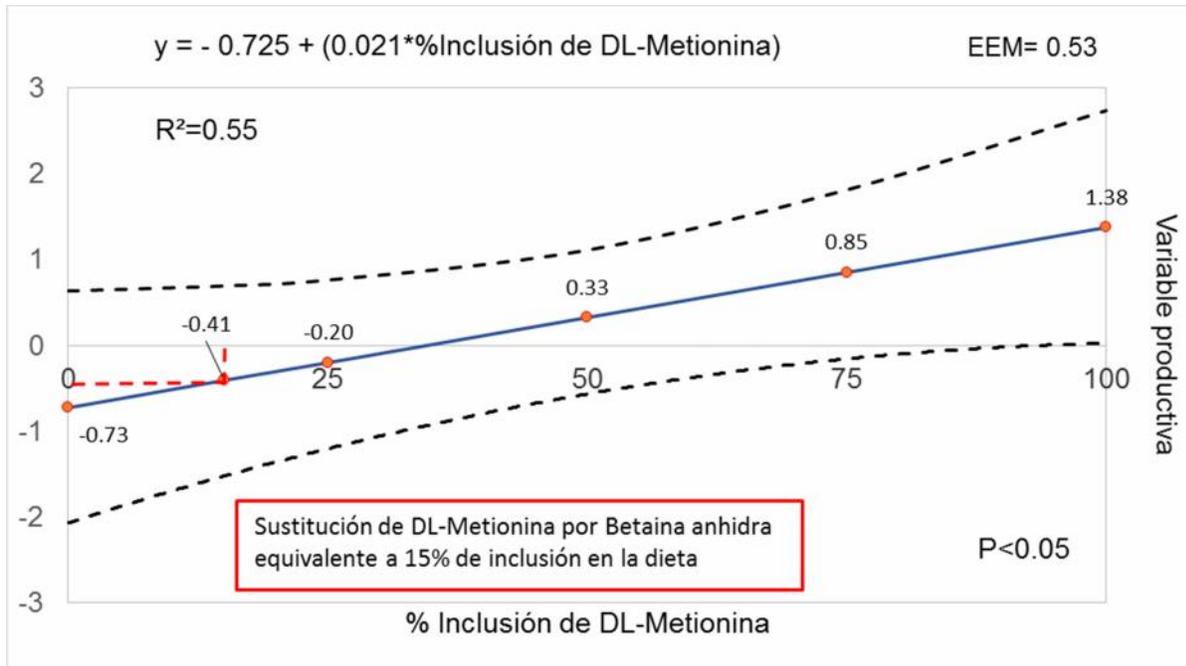


Figura 11. Nivel de sustitución de betaína anhidra con base a la variable productiva (IC, Masa y GP), expresado en porcentaje DL-metionina sintética.

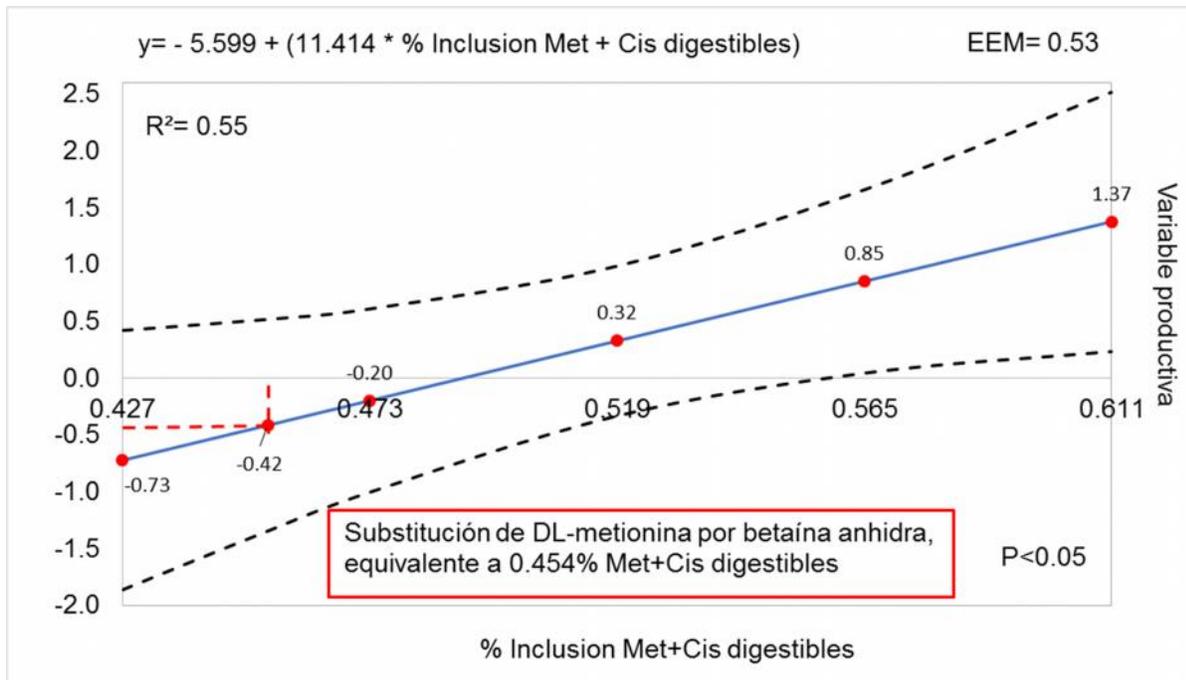


Figura 12. Nivel de sustitución de betaína anhidra con base a la variable productiva (IC, Masa y GP), expresado en aminoácidos azufrados digestibles