



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE UNA MEZCLA DE
PROPILENGLICOL Y PROPIONATO DE CALCIO EN DIETAS DE
POLLO DE ENGORDA SOBRE SUS PARÁMETROS
PRODUCTIVOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA

JESÚS GAEL OCAMPO SÁNCHEZ

Asesores:

Dr. MVZ. Benjamín Fuente Martínez

MC. MVZ. David Ramos Vidales

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 mi madre Enriqueta Sánchez Sánchez, que siempre me ha instruido a seguir adelante en mis estudios y que me ha enseñado que no importan los obstáculos en el camino, siempre se puede salir adelante, la clave es el esfuerzo, la constancia y la dedicación.

A mi compañera de vida Diana Ivonne Meza Madrid quien generó mi interés por la Medicina Veterinaria y estuvo a mi lado en todos los buenos y malos momentos a lo largo de la licenciatura, siempre apoyándome y reconfortándome.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que por medio de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia me formó profesionalmente.

A mi familia por estar conmigo en todo momento, dándome su cariño, paciencia y comprensión.

Al Dr. Benjamín Fuente Martínez y al Maestro David Ramos Vidales por toda la ayuda brindada durante la realización de este proyecto así como por transmitirme sus invaluable conocimientos, no pude haber tenido a mejores asesores.

A mis compañeros del departamento de Nutrición Animal y Bioquímica por estar presentes en gran parte de mi carrera y por acrecentar mi amor e interés por la nutrición animal.

A los integrantes del jurado por sus oportunas observaciones y haber enriquecido este proyecto con sus buenos consejos.

Al Dr. Héctor Herrera Gutiérrez y al Dr. Rodolfo José Medeles Orozco por toda la confianza brindada para llevar a cabo esta tesis, ya que sin su apoyo no habría sido posible su realización.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
MATERIAL Y MÉTODOS	14
RESULTADOS	20
DISCUSIÓN	24
REFERENCIAS	28
CUADROS	31
FIGURAS	38

RESUMEN

OCAMPO SÁNCHEZ JESÚS GAEL. Efecto de la adición de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio en dietas de pollo de engorda sobre sus parámetros productivos (bajo la dirección del Dr. MVZ. Benjamín Fuente Martínez y del MC. MVZ. David Ramos Vidales)

Con el objetivo de evaluar los efectos de una mezcla comercial de propilenglicol y del propionato de calcio (MPP) sobre el comportamiento productivo del pollo de engorda se emplearon 400 pollos de la estirpe Ross 308 del día uno hasta el cincuenta y uno de edad, distribuyéndose bajo un diseño completamente aleatorio, en cinco tratamientos con cuatro réplicas cada uno. Los tratamientos tuvieron como base sorgo+pasta de soya, diferenciándose entre ellos por el nivel de inclusión de la MPP (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) en sustitución del aceite vegetal. Se llevaron registros semanales de los principales parámetros productivos, se midió la pigmentación cutánea *in vivo* y en frío y se realizó la determinación de pigmento plasmático. Además, se realizó el procesamiento de las aves midiéndose el rendimiento en canal y el peso del panículo adiposo. Adicionalmente, se recolectaron alas e hígados para determinaciones de grasa, proteína, humedad y actividad mitocondrial en el laboratorio. Para el análisis estadístico, se realizó la comparación de medias en las variables de interés y para analizar el comportamiento de estas se les realizó una regresión lineal. Los parámetros productivos y el amarilleamiento de la piel fueron similares a la dieta testigo (0% MPP) en los tratamientos con una inclusión de hasta el 50% de la MPP ($p>0.05$). No se observaron variaciones en los niveles plasmáticos de xantofilas en ninguna de las dietas ($p>0.05$). Además, se mantuvo el porcentaje de grasa corporal en las dietas con una inclusión de hasta 75% de la MPP ($p<0.05$).

1. INTRODUCCIÓN

La avicultura industrial moderna es el resultado del arduo y continuo trabajo en las áreas de mejoramiento genético, manejo, y nutrición de las aves, así como el desarrollo de instalaciones con un mayor control del medio ambiente, para la producción de carne y huevo con elevado valor nutricional, que atienden las necesidades de proteína de gran valor biológico para el consumo humano¹.

Considerando los costos de producción de carne de ave y huevo, la alimentación representa hasta el 70% de estos, siendo que los grandes avances logrados en los últimos años en la eficiencia productiva de estas aves se deben a la evolución de los conocimientos sobre las necesidades nutricionales exigidas para la exploración del máximo potencial productivo de estos animales. En el contexto de la alimentación, la energía es el principal factor que debe ser considerado¹.

1.1 Situación de la avicultura nacional

De acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y con datos al cierre de noviembre 2018, el sector avícola mexicano participó con 63.65% en el rubro de la producción pecuaria, encontrándose dentro de este porcentaje al pollo de engorda con una participación del 33.58%, que representa una producción de más de 3 millones de toneladas de carne de pollo en canal y un consumo *per cápita* de 22.85 kg².

1.2 Industria alimentaria en México y participación del sector avícola

De acuerdo al Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y Nutrición Animal (CONAFAB) en México en el año 2018 se consumieron cerca de 34.81 millones de toneladas de alimento concentrado (pastas de oleaginosas y granos, entre otros) por parte del sector pecuario, siendo el sexto

productor a nivel mundial de alimentos concentrados y el tercer mayor productor en América. Dentro del consumo total, el sector avícola participó con un consumo de 17.01 millones de toneladas, 6.84 millones de toneladas por parte de las unidades productivas de gallinas de postura y 10.17 millones de toneladas destinadas a la producción de pollo de engorda, equivalentes al 48.86% del total del alimento producido³.

1.3 Fuentes energéticas utilizadas en el pollo de engorda

En el pollo de engorda, la definición del nivel de energía de las dietas es fundamental para lograr regular la ingestión de todos los nutrientes. Entre los principales ingredientes que frecuentemente se usan para cubrir sus necesidades energéticas se encuentran los cereales, subproductos de cereales y aceites vegetales, siendo también los principales componentes de las dietas⁴. Estos ingredientes se encuentran sujetos a una constante volatilidad de precios, como muestra de ello tenemos al aceite de soya, mismo que en enero del 2018 mostró una disminución en sus precios del 12.4% con respecto a enero del 2017, pero que en comparación con enero de 2016 se encontró un aumento del 40.2%⁵.

Dentro de los principales aceites utilizados en la alimentación de pollos de engorda se encuentran el aceite de soya, el aceite de canola, el aceite de maíz, el aceite de cártamo y, en menor medida, el aceite de palma⁶. El aceite crudo de soya es la grasa de origen vegetal de mayor disponibilidad en el mercado, siendo en general el que posee mayor calidad, con un alto contenido de triglicéridos y de ácidos grasos insaturados⁷.

Una característica en común que presentan los aceites de origen vegetal es que se encuentran compuestos en casi su totalidad por ácidos grasos y dentro de esta composición cobra gran relevancia el ácido linoleico, pues en la gran mayoría de los casos representa más del 50%⁶.

El ácido linoleico es de vital importancia en la alimentación del pollo de engorda ya que es el único ácido graso que se considera esencial, esto debido a que las aves lo requieren para su normal funcionamiento y no se puede sintetizar endógenamente⁸.

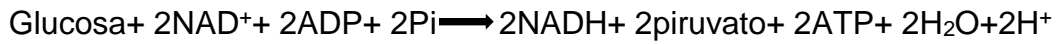
Como una alternativa al uso de aceites fuentes de elevado aporte energético, existen en el mercado productos comerciales que son capaces de incorporarse de manera directa en algunas rutas metabólicas para la generación de glucosa o algunos de sus metabolitos intermediarios.

1.4 Metabolismo energético

1.4.1 Glucólisis

La glucólisis es la principal ruta metabólica para la utilización de glucosa y se lleva a cabo en el citosol de todas las células. Es una ruta metabólica particular debido a que puede utilizar oxígeno si está disponible (aerobia) o funcionar en su ausencia total. Sin embargo, para que la glucosa se oxide hasta la etapa terminal del piruvato de la glucólisis, precisa no solamente de oxígeno molecular, sino también de sistemas enzimáticos mitocondriales, como el complejo piruvato deshidrogenasa, el ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs) y la cadena respiratoria⁹.

La glucólisis consta de una secuencia de 10 reacciones que rompen una molécula de glucosa de seis carbonos en dos moléculas de piruvato (de tres carbonos), con la generación neta de dos moléculas de ATP y NADH. Puede dividirse en dos fases, la fase de acúmulo de energía, donde se produce la fosforilación y división de la glucosa en dos moléculas de gliceraldehído 3-fosfato mediante el uso de 2 moles de ATP, y la fase de generación de energía donde las moléculas de gliceraldehído 3-fosfato se convierten en otras dos de piruvato con la generación de cuatro moles de ATP. En conjunto, la reacción se puede escribir como¹⁰:



1.4.2 Ciclo de Krebs

El ciclo de Krebs (conocido también como ciclo de los ácidos tricarboxílicos o ciclo del ácido cítrico) es un ciclo metabólico de importancia fundamental en todas las células que utilizan oxígeno durante el proceso de respiración celular. En estos organismos aeróbicos, el ciclo de Krebs es el anillo de conjunción de las rutas metabólicas responsables de la degradación y desasimilación de los carbohidratos, las grasas y las proteínas en anhídrido carbónico y agua, con la formación de energía química (GTP) y coenzimas reducidas (NADH⁺ y FADH₂). El ciclo de Krebs ocurre en las mitocondrias de las células eucariotas. El catabolismo glucídico y lipídico (a través de la glucólisis y la beta oxidación), produce acetil-CoA.

Como primer paso en el ciclo, el sitio activo de la enzima citrato sintasa, activa el acetil-CoA para hacerlo afín a un centro carbonoso del oxalacetato. Como consecuencia de la unión entre las dos moléculas, el grupo tioéster (CoA) se hidroliza, formando así la molécula de citrato. La reacción es sumamente exergónica, motivo por el cual este paso es irreversible. El citrato producido por la enzima, además, es capaz de inhibir competitivamente la actividad de la enzima. Incluso estando la reacción muy favorecida (porque es exergónica), la citrato sintasa puede ser perfectamente regulada. Este aspecto tiene una notable importancia biológica, puesto que permite una completa regulación del ciclo de Krebs completo, convirtiendo a la enzima en una especie de marcapasos del ciclo, siendo a su vez regulada por la concentración del oxalacetato¹¹.

En el siguiente paso en el ciclo la enzima aconitasa cataliza la isomerización del citrato a isocitrato, por la formación de cis-aconitato. La enzima isocitrato deshidrogenasa cataliza la oxidación del isocitrato a oxalosuccinato, lo que genera una molécula de NADH a partir de NAD⁺. Sucesivamente, la presencia de un ion bivalente, que forma un complejo con los oxígenos del grupo carboxilo en posición alfa, aumenta la electronegatividad de esa región

molecular. Esto genera una reorganización de los electrones en la molécula, con la consiguiente rotura de la unión entre el carbono en posición gamma y el grupo carboxilo adyacente. De este modo se tiene una descarboxilación, es decir, la salida de una molécula de CO₂, que conduce a la formación de α -cetoglutarato, caracterizado por dos carboxilos en las extremidades y una cetona en posición alfa con respecto de uno de los dos grupos carboxilo¹¹.

Después de la conversión del isocitrato en α -cetoglutarato se produce una segunda reacción de descarboxilación oxidativa, que lleva a la formación de succinil-CoA por medio de la enzima α -cetoglutarato deshidrogenasa¹¹.

La energía procedente del tioéster presente en el succinil-CoA viene convertida en energía ligada a una unión fosfato. El primer paso de la reacción con la enzima succinil-CoA sintetasa genera un nuevo intermediario de alta energía, conocido como succinil fosfato. Sucesivamente, una histidina presente en el sitio catalítico remueve el fosfato de la molécula glucídica, generando como productos una molécula de succinato y una molécula de fosfohistidina, que dona velozmente el fosfato a un nucleósido difosfato, recargándolo a trifosfato. Se trata del único paso del ciclo de Krebs en el que se produce una fosforilación a nivel de sustrato¹¹.

La parte final del ciclo consiste en la reorganización de moléculas a cuatro átomos de carbono hasta la regeneración del oxalacetato. Para que eso sea posible, el grupo metilo presente en el succinato tiene que convertirse en un carbonilo. Como ocurre en otras rutas, por ejemplo en la beta oxidación de los ácidos grasos, tal conversión ocurre mediante tres pasos: una primera oxidación, una hidratación y una segunda oxidación¹¹.

La primera reacción de oxidación es catalizada por el complejo enzimático de la succinato deshidrogenasa, la única enzima del ciclo que tiene como aceptor de hidrógeno al FAD en vez de al NAD⁺ y da como producto el fumarato. Enseguida, la enzima fumarasa cataliza la adición en trans de un protón y un grupo OH- procedentes de una molécula de agua para producir L-malato¹¹.

La última reacción del ciclo de Krebs consiste en la oxidación del malato a oxalacetato. La reacción, catalizada por la malato deshidrogenasa, utiliza otra molécula de NAD⁺ como aceptor de hidrógeno, produciendo NADH¹².

En resumen, contabilizando las moléculas utilizadas y los productos netos generados se puede apreciar en la siguiente fórmula¹³:



1.4.3 Cadena respiratoria y fosforilación oxidativa

La cadena respiratoria o cadena de transporte de electrones es un conjunto de proteínas y moléculas orgánicas presentes en la membrana mitocondrial interna, generalmente organizadas en cuatro grandes complejos nombrados del I al IV⁹.

Conforme los electrones viajan a través de la cadena, se desplazan de un nivel de energía mayor a uno inferior y se mueven de moléculas de una menor afinidad de electrones a moléculas con mayor afinidad de electrones. En estas transferencias de electrones se libera energía y varios de los complejos de proteína utilizan la energía liberada para bombear protones desde la matriz mitocondrial al espacio intermembranal para formar un gradiente de protones. Todos los electrones que entran en la cadena de transporte provienen de moléculas de NADH y FADH₂ que se producen en fases más tempranas de la respiración celular: glucólisis, oxidación del piruvato y el ciclo de Krebs¹².

El complejo I y el II transfieren sus electrones a un acarreador pequeño y móvil de electrones llamado ubiquinona (Q) que se reduce y transforma en QH₂, se transporta por la membrana y entrega sus electrones al complejo III. El movimiento de los electrones por el complejo III bombea más protones a través de la membrana y luego los electrones se transfieren a otro acarreador móvil llamado citocromo C (cit C). El cit C transporta los electrones hacia el complejo

IV, donde se bombea el último lote de iones de H^+ a través de la membrana. El complejo IV transfiere los electrones a una molécula de oxígeno (O_2), que se parte en dos átomos de oxígeno y acepta protones de la matriz para formar agua. Se necesitan 4 electrones para reducir cada molécula de O_2 , mientras que en el proceso se forman dos moléculas de agua¹¹.

Los complejos I, III y IV de la cadena de transporte de electrones son bombas de protones. Este bombeo genera un gradiente electroquímico a través de la membrana interna de la mitocondria. Como muchos otros iones, los protones no pueden atravesar directamente la bicapa de fosfolípidos de la membrana debido a que esta es muy hidrofóbica en su interior. Por el contrario, los iones H^+ solo pueden moverse por su gradiente de concentración con la ayuda de proteínas de canal que forman túneles hidrofílicos a través de la membrana. En la membrana interna de la mitocondria, los iones de H^+ solamente cuentan con un canal disponible: una proteína transmembranal conocida como ATP sintasa. El flujo de protones causa que la ATP sintasa gire y catalice la adición de un fosfato a ADP, con lo que captura la energía del gradiente de protones en forma de ATP¹⁴.

1.5 Gluconeogénesis y sustratos gluconeogénicos

La gluconeogénesis es el principal mecanismo regulatorio acontecido en el hígado y los riñones en donde sustratos no carbohidratos, principalmente glicerol, lactato, propionato y aminoácidos glucogénicos son convertidos en unidades de glucosa-6-fosfato para después pasar a la circulación sanguínea como glucosa libre o utilizarse para la síntesis de glucógeno¹⁵.

La glucosa no puede ser sintetizada a partir de ácidos grasos, con la excepción del propionato o ácido propiónico mismo que es carboxilado, convertido en succinil-CoA e ingresa al ciclo de Krebs como un intermediario de 4 carbonos¹².

El propionato de calcio es la sal cálcica del ácido propiónico, se forma mediante la neutralización del ácido propiónico por medio de hidróxido de calcio y está clasificado como un agente antimicrobiano¹⁶.

Anteriormente se han realizado estudios en pollos de engorda utilizando el propionato o sus derivados, como los realizados por Cave¹⁷, quien realizó dos experimentos para comprobar el efecto del ácido propiónico sobre el consumo voluntario de las aves, en el primer experimento utilizó pollos hembra desde el día 0 al 29 y con una inclusión de 0, 10, 20, 30, 50, 70 y 100 g de ácido propiónico por kg de alimento observándose una disminución en el consumo de alimento y en la ganancia de peso. En la segunda prueba agregó el ácido propiónico en el alimento y en el agua, resultando en una reducción en el consumo de alimento y en la ganancia de peso en los tratamientos de ácido propiónico en el agua en aproximadamente 3% por gramo de ácido propiónico con respecto a la dieta testigo.

También se ha tratado de utilizar como un inhibidor de crecimiento de hongos, un ejemplo de ello fueron los 2 experimentos que Dilworth^{18,19} realizó en pollos de engorda Hubbard, el primero contenía propionato de calcio al 0.1% con respecto al 100% de la dieta y concentraciones de 0.02%, 0.04% y 0.06% de ácido sórbico con respecto al 100% de la dieta. El segundo experimento fue similar al primero pero se añadió la variable de humedad en el alimento, resultado en 5 tratamientos similares a los del primer experimento pero con humedad en un rango de 11.2 a 11.77% y otros 5 tratamientos con humedad 14.44 a 15.55%. En ningún experimento se observó una diferencia significativa en la ganancia de peso, conversión alimentaria y población microbiana intestinal entre la dieta testigo y la dieta con la inclusión del propionato de calcio, sin observarse su efectividad como agente anti fúngico.

En el caso de gallinas de postura, Jensen²⁰ incluyó el propionato de calcio a niveles de 0.1%, 0.2%, 0.4% y 0.8% con respecto al 100% de la dieta en gallinas de 52 semanas de edad durante 6 semanas. En ningún tratamiento se

vio afectado el porcentaje de postura, el peso de huevo, la conversión alimentaria, la ganancia de peso ni el porcentaje de grasa hepática.

Por otra parte, el propilenglicol es un compuesto orgánico usualmente con una presentación líquida transparente inodora e insaborosa, es manufacturado por la hidratación del óxido de propileno.

Dentro de sus funciones destacables en el campo de la nutrición animal se pueden mencionar: precursor de glucosa, aglutinante de polvo para alimentación animal y antiespumante. Este componente controla por medio de la liberación de insulina, la inhibición de la movilización de grasa al tejido adiposo, y al ser un precursor de la gluconeogénesis a nivel hepático, ayuda a reducir el balance energético negativo en el organismo²¹.

El propilenglicol es absorbido por el sistema digestivo, posteriormente entra al hígado por la vena porta. En los hepatocitos es metabolizado hasta formar oxaloacetato; compuesto necesario para que se lleve a cabo la gluconeogénesis, si no hay oxalacetato disponible, la acetil- coA comienza a formar cuerpos cetónicos.²²

Entre los glicoles, el propilenglicol es el que tiene más baja toxicidad. Está clasificado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) como un agente “generalmente reconocido como seguro” (GRAS) excepto para su uso en alimentos para gato²³.

Bayley²⁴ utilizó el propilenglicol en niveles de inclusión de 0%, 2%, 4%, 8% y 16% en sustitución de la harina de maíz en dietas de pollo de engorda del día 0 al 26 de edad, solo observando una diferencia significativa en cuanto a ganancia de peso y conversión alimentaria en la dieta que se reemplazó la harina de maíz en un 16%.

En cambio, Waldroup²⁵ utilizó el propilenglicol en dietas de pollo de engorda desde el día 0 al 21 de edad. El propilenglicol se añadió en sustitución del

aceite de maíz en niveles de inclusión de 0%, 2.5%, 5% y 10% con respecto al 100% de la dieta. La ganancia de peso, el consumo de alimento y la conversión alimentaria no se vieron afectadas hasta una inclusión de 5% de propilenglicol.

Algunas investigaciones se han enfocado en el efecto de la inclusión conjunta del propilenglicol y del propionato de calcio, como en el caso de Linares²⁶, quien incluyó una mezcla de ambos a razón de 0, 0.05, 0.1 y 0.2% de la dieta, a expensas del aceite en una relación 1:10 en dietas de gallina de postura de segundo ciclo. No se encontró un efecto negativo del comportamiento productivo ni en la calidad interna del cascarón en ninguno de los tratamientos.

Castillo²⁷ también utilizó una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio en dietas de gallinas de postura de 25 semanas de edad, donde se comparó el efecto de la inclusión de propilenglicol, propionato de calcio y una mezcla de ambos, todos a razón de 2 kg/ton de alimento. No se afectaron el porcentaje de postura, el porcentaje de huevo roto, en fáfara, la calidad interna del huevo ni la ganancia de peso.

Justificación

Es necesario buscar fuentes energéticas alternativas para su empleo en la alimentación del pollo de engorda, ejemplos de ello son el propionato de calcio y el propilenglicol, sin embargo, existe poca información de su uso en dietas para pollo de engorda como sustratos gluconeogénicos y como se ve afectada la pigmentación de las aves por la utilización de estos.

Hipótesis

La inclusión de cinco diferentes niveles de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio, en sustitución parcial o total del aceite vegetal, no afectará los parámetros productivos, la pigmentación de la piel y el rendimiento de canal del pollo de engorda.

Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes niveles de inclusión de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio, en sustitución parcial o total del aceite vegetal, sobre el comportamiento productivo, la pigmentación y el rendimiento en la canal en pollos de engorda.

Objetivos específicos

- Medir los parámetros productivos (ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimentaria) de pollos de engorda alimentados con cinco diferentes niveles de inclusión de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio.
- Evaluar la pigmentación de la piel *in vivo* en pollos de engorda alimentados con diferentes niveles de inclusión de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio.
- Analizar el rendimiento en canal de pollos de engorda alimentados con diferentes niveles de inclusión de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv) de la FMVZ de la UNAM que se encuentra ubicado en la calle Manuel M. López s/n, colonia Zapotitlán, alcaldía de Tláhuac en la Ciudad de México. Tiene una superficie de 48470 m². El clima predominante es templado subhúmedo, la altura es de 2250 msnm, con una temperatura media anual de 18 °C y una precipitación pluvial de 747 mm²⁸.

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 (CICUA) de la FMVZ de la UNAM, con base en la NOM-062-ZOO-1999²⁹.

2.1 Dietas y aves

Se emplearon 400 pollos (200 hembras y 200 machos) de la estirpe Ross 308 de un día de edad, estos fueron distribuidos en un diseño completamente aleatorizado en una caseta de ambiente natural bajo un sistema de crianza mixto, en 5 tratamientos con 4 réplicas de 20 aves cada uno. Las aves se alojaron en corrales de 2m x 1m con piso de cemento, cama de viruta y con aislante térmico en el techo. Se les proporcionó calor por medio de criadoras infrarrojas de gas, tipo campana. Los pollitos se recibieron a una temperatura ambiental de 32°C misma que se disminuyó gradualmente hasta llegar a la temperatura ambiental (tercera semana de edad) conforme al manual de la estirpe Ross³⁰.

Se emplearon dietas con base sorgo+pasta de soya en 3 fases de alimentación de acuerdo a lo que menciona el manual de la estirpe Ross³⁰ (Cuadro 1, 2 y 3). El agua y el alimento se proporcionó a libre acceso durante las 7 semanas que duro el experimento. Los tratamientos fueron:

1. Dieta testigo sin la inclusión de la mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP)¹
2. Dieta con la inclusión de 25% de la MPP
3. Dieta con la inclusión de 50% de la MPP
4. Dieta con la inclusión de 75% de la MPP
5. Dieta con la inclusión de 100% de la MPP

2.2 Parámetros productivos

Durante el periodo de experimentación, se pesó semanalmente a los pollos para calcular la ganancia de peso. En las semanas 6 y 7 se realizó un ajuste al cálculo del peso por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Peso ajustado al sexo} = \frac{\text{peso de machos}}{n \text{ machos}} + \frac{\text{peso de hembras}}{n \text{ hembras}}$$

Además, se midió el consumo de alimento por ave y se calculó el índice de conversión alimentaria.

2.3 Nivel de pigmentación *in vivo*

Al final de la semana 6 a todas las aves se les midió la pigmentación cutánea en la zona aptérica lateral derecha con un colorímetro Minolta CR400³¹. En el mismo día se les realizó el sangrado a 3 aves por réplica para la determinación de pigmento plasmático mediante la técnica de Allen³², para ello se extrajeron 2 ml de sangre mediante punción de la vena radial con una jeringa con EDTA al 2%, en una proporción 10:1.

¹ Lipofeed (Prepec): 1-2 propanodiol 3.3%, propionato de sodio o calcio 6.9%, vehículo c.b.p. 100%

2.4 Procesamiento de las aves

Al día 51 de la prueba, a 24 pollos por tratamiento se les realizó el procesamiento, bajo condiciones comerciales para determinar el rendimiento de canal y la pigmentación en frío. De manera previa a la matanza, las aves fueron sometidas a 8 horas de ayuno. Posteriormente fueron capturadas y transportadas al área de procesamiento del CEIEPAv.

Al ingresar al área de procesamiento se pesaron de manera individual, luego de esto fueron colgadas en ganchos, se insensibilizaron utilizando un aturdidor comercial bajo los parámetros de 25 V, 0.25 A y 460 Hz de corriente directa del tipo pulsátil. El proceso de matanza se llevó a cabo por un corte lateral del cuello, se desangraron por un minuto con 40 segundos e inmediatamente fueron sumergidas en un tanque de agua a 53°C por un minuto para después ser retiradas de los ganchos y ser desplumadas utilizando una desplumadora comercial³³. Una vez desplumadas se procedió a la evisceración manual de las canales (tipo rosticero), cortando la cloaca circularmente y haciendo un segundo corte a lo largo del eje axial a partir del corte de la cloaca para facilitar la extracción de las vísceras. Al momento de realizar la extracción de vísceras se retiró el panículo adiposo de 4 aves por tratamiento para su pesaje en una báscula electrónica y de 2 canales por tratamiento se retiró el hígado, mismo que se colocó en solución salina fisiológica y se mantuvo en refrigeración para su inmediato transporte para la determinación de respiración mitocondrial y la actividad de la enzima malato deshidrogenasa en el laboratorio.

Una vez terminada la extracción de vísceras, a las canales se les retiró las patas con un corte a nivel de la articulación tibio tarsal y se pesaron utilizando una báscula digital para obtener el rendimiento de canal, tomando como el 100% el valor del peso vivo registrado al ingresar al área de procesamiento.

Después de esto, las canales se sumergieron en un tanque de agua a 4 °C (chiller) por 40 minutos y posteriormente a 4 canales por tratamiento, las mismas a las que previamente se les retiró el panículo adiposo y el hígado, se les retiraron las 2 alas mediante un corte a nivel de la articulación del hombro y

fueron depositadas en bolsas de plástico, se identificaron por medio de etiquetas y se mantuvieron en congelación hasta su transporte al día siguiente al laboratorio de bromatología del departamento de Nutrición Animal y Bioquímica en la FMVZ-UNAM para la determinación de humedad, grasa y proteína cruda.

A su salida del tanque de agua (chiller), a todas las aves se les midió la pigmentación cutánea en la región de la pechuga derecha con un colorímetro Minolta CR400.

2.5 Técnicas de laboratorio

Se determinó en las alas, por el método AOAC 2016, el porcentaje de humedad (934.01), el porcentaje de proteína cruda (2001.11) y el porcentaje de extracto etéreo (920.39) en el laboratorio de bromatología del departamento de Nutrición Animal y Bioquímica en la FMVZ-UNAM.

Para el procesamiento del hígado, que se retiró de 2 aves por tratamiento, se pesó 1 g de tejido y se maceró empleando una solución de homogeneización (Tris-HCl 50 mM pH 7.5, mercaptoetanol 10 mM, PVP -40 2% y MgCl₂ 5mM). La mezcla obtenida se centrifugó a 14,000 rpm, durante 5 min. El extracto fue empleado para el análisis de la enzima malato deshidrogenasa con el fin de conocer el efecto de la inclusión de la MPP sobre su actividad.

Para obtener la fracción mitocondrial se empleó la técnica de centrifugación diferencial utilizando un medio de homogeneización (sacarosa 250 mM, EGTA 1mM, Tris pH 7.4). La fracción mitocondrial se analizó en su contenido de proteína mediante la técnica de Bradford³⁴. La respiración mitocondrial fue evaluada empleando un electrodo tipo Clark para cuantificar el contenido de oxígeno en solución. La reacción fue iniciada adicionando sustrato de glutamato y la síntesis de ATP fue iniciada con el precursor ADP. Al final del trazo se determinó la integridad de la membrana mediante la adición del desacoplante CCCP (carbonilcianuro m-clorofenilhidrazona).

Análisis estadístico

A los datos obtenidos de las variables productivas, pigmentación, procesamiento en rastro y procesamiento de las alas en el laboratorio se les realizó un análisis de varianza de un factor mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1,2,3,4,5 \quad j = 1,2,3,4$$

Dónde:

μ =media general

t_i = efecto del i-ésimo tratamiento

ε_{ij} =error experimental

La comparación de medias fue realizada mediante la prueba de Tukey fijando un nivel de significancia de 5%.

Para la determinación del porcentaje del pánículo adiposo en relación a la canal (PPARC) se utilizó la siguiente fórmula:

$$PPARC = \frac{\text{peso de pániculo adiposo (g)}}{\text{peso canal (g)}} * 100$$

Además, para observar el comportamiento de las diferentes variables productivas se realizó una regresión lineal múltiple con un nivel de significancia del 5%; debido a que al ir incrementando los niveles de MPP en la dieta el ácido linoleico disminuyó. Se utilizó como variable independiente la cantidad de inclusión promedio ponderada de ácido linoleico (IPPAL %)² y como variable indicadora al sexo (hembras =1; machos =0)³⁵ mediante el siguiente modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 X^2$$

Dónde:

Y=ganancia de peso, consumo de alimento acumulado, índice de conversión alimentaria, ganancia de peso ave/día, cantidad de xantofilas en plasma, amarilleamiento (b), enrojecimiento (a), luminosidad (l), peso proporcional del pániculo adiposo en relación a la canal, extracto etéreo en base seca y proteína cruda en base seca.

β_0 , β_1 y β_2 = coeficientes regresión

X=niveles de inclusión de ácido linoleico

2

$$IPPAL (\%) = \frac{ALFI (\%) * FI (d) + ALFC (\%) * FC (d) + ALFF (\%) * FF (d)}{\text{duracion total de la prueba (d)}}$$

IPPAL= Inclusión promedio ponderada de ácido linoléico en las dietas

ALFI=ácido linoleico en fase de iniciación

FI= fase de iniciación

ALFC=ácido linoleico en fase de crecimiento

FC= fase de crecimiento

ALFF=ácido linoleico en fase de finalización

FF= fase de finalización

d= días

3. RESULTADOS

Los resultados globales sobre los parámetros productivos obtenidos a los 48 días de experimentación se observan en el Cuadro 4, al realizar el ANDEVA se encontró que no hubo una diferencia significativa entre la ganancia de peso acumulada y tanto el consumo de alimento como la conversión alimentaria fue similar para las dietas con hasta el 50% de inclusión de la MPP ($P > 0.05$); en las dietas con una mayor inclusión de MPP el consumo de alimento se aumentó hasta en 316 g y la conversión alimentaria hasta en 0.169 kg:kg con respecto a la dieta testigo (5592 g y 1.898 kg:kg respectivamente).

Además, a estos datos se les realizó una regresión lineal para observar el comportamiento de las variables involucradas. No se encontró una relación entre la ganancia de peso y los diferentes niveles de ácido linoleico ($P > 0.05$); pero se observó que por cada unidad de ácido linoleico (IPPAL) que se disminuía, el consumo de alimento acumulado (CAA) a los 48 días de edad del pollo de engorda aumentaba en 623.7 g, explicado por la siguiente ecuación:

$$CAA (g) = 6364.8 - 623.7 * IPPAL (\%) + 122.6 * IPPAL^2 (\%)$$

$$R^2 = 58.14\%; EEM = 115; P < 0.01$$

Y por consecuencia el índice de conversión alimentaria (ICA) se incrementó en 0.489 unidades al disminuirse la cantidad de ácido linoleico explicado por la siguiente ecuación:

$$ICA (kg:kg) = 2.402 - 0.489 * IPPAL (\%) + 0.116 * IPPAL(\%)$$

$$R^2 = 52.24\%; EEM = .067; P < 0.01.$$

Adicionalmente se realizó una regresión lineal, esta vez incluyendo la edad del pollo(días) con los diferentes consumos de ácido linoleico (g) para poder observar el comportamiento de los diferentes parámetros productivos a lo largo del tiempo (ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimentaria), se aprecia que la menor ganancia de peso lo mostró el tratamiento que

contenía 100 % de la MPP y que correspondió a la dieta que contenía valores por debajo de las recomendaciones para la estirpe, estas aves alcanzaron a la dieta testigo hasta el día 42 de edad, efecto que también se observó con la dieta que contenía el 75% de la MPP, esta alcanzó a la dieta testigo hasta el día 35 de edad. Los tratamientos con 25% y 50% de la inclusión de la MPP mostraron una ganancia de peso muy similar a la dieta testigo ($P < 0.05$) (Figura 1). Además, se encontró que por cada día que se engorda el pollo este gana en promedio 9.69 g y por cada unidad de ácido linoleico que consuma el ave, la ganancia de peso se incrementó en 21.63 g, observándose la mayor diferencia al final de la engorda.

En la Figura 2, se muestra el consumo de alimento por periodo de tiempo en donde se puede observar que al aumentar el consumo de ácido linoleico (14.24 g) se disminuyó el consumo de alimento, apreciándose que las dietas con una mayor inclusión de la MPP (75% y 100%) presentaron un mayor consumo de alimento, particularmente notable en las últimas tres semanas de la prueba.

Al verse incrementado el consumo de alimento y tener una ganancia de peso menor se incrementó la conversión alimentaria en las dietas que contenían el 75% y 100% de la MPP respecto a la dieta testigo (Figura 3).

La pigmentación en piel *in vivo* medida a los 42 días por sexo se observa en el Cuadro 5; no se observó un efecto de los diferentes niveles de la MPP ni del consumo de ácido linoleico sobre la cantidad de xantofilas amarillas en plasma ($P > 0.05$). En la comparación de medias se observó que el nivel de amarilleamiento en la piel del pollo fue similar en las dietas con una inclusión de hasta el 50% de la MPP ($P < 0.05$). Para I^* y a^* no se encontró un efecto de la adición de la MPP ni del consumo de ácido linoleico ni del sexo ($P > 0.05$).

Además, al realizar la regresión lineal para evaluar la pigmentación *in vivo*, se encontró un incremento en 2.81 unidades en b^* por cada unidad que se consume de ácido linoleico (%), también se observó que las hembras pigmentan en 0.98 b^* más que los machos, siendo explicado por la ecuación:

$$b^* = 14.799 + 0.98 * \text{sexo} + 2.81 * \text{IPPAL} (\%)$$

$$R^2 = 50.47\%, EEM = 1.59, P < 0.01, \text{sexo: hembras} = 1; \text{machos} = 0$$

Los resultados obtenidos del rendimiento en canal y la pigmentación de la canal se muestran en el Cuadro 6, al realizar el ANDEVA no se encontró una diferencia estadística en el rendimiento en canal ni en los valores de I^* y a^* ($P > 0.05$). Los valores de amarilleamiento de la piel en frío (b^*) fueron similares en los tratamientos con una inclusión de hasta el 50% de la MPP ($P < 0.05$); en las dietas con el 75% y 100% de la inclusión MPP se observaron valores menores, obteniéndose de 3.41 a 6.91 unidades de amarilleamiento por debajo de la dieta testigo (36.32).

Al evaluar el porcentaje del panículo adiposo en relación a la canal, se observó que los valores fueron similares en la dieta testigo y en la dieta que contenía el 25% de inclusión de la MPP (1.54% y 1.31% respectivamente) ($P > 0.05$); los demás tratamientos mostraron un promedio de 0.83%, lo que muestra una reducción en la grasa abdominal del pollo de engorda, al adicionar más del 50% de MPP en la dieta ($P < 0.05$).

En cuanto a los valores obtenidos en el laboratorio de bromatología (Cuadro 7) se observó que el extracto etéreo y la proteína cruda del ala del pollo se mantuvieron en las dietas con hasta el 75% de inclusión de la MPP ($P < 0.05$); en la dieta con el 100% de la MPP se vio disminuido el porcentaje de extracto etéreo en 6.89 unidades y, consecuentemente, aumentó su porcentaje de proteína cruda en 8.69 unidades con respecto a la dieta testigo (38.05% y 55.73% respectivamente).

En cuanto los resultados referentes a la respiración mitocondrial (Cuadro 8), se observa que la presencia de la MPP en las diferentes dietas, posiblemente provoca un efecto de inhibición del flujo electrónico, lo cual se refleja en la reducción significativa del consumo de oxígeno en el Estado 3 de respiración, disminuyendo de 8.14 a 1.31 nM O_2 /min/mg prot, para las dietas con 0% y 100% de inclusión la MPP, respectivamente, observándose un efecto dosis

dependiente. Además, esto se asocia significativamente con la falta de la activación de la respiración mitocondrial por el ADP en el estado 4. Lo anterior sugiere que el flujo de electrones se disminuye como resultado de los diferentes grados de inclusión de la MPP.

Con relación a la actividad de la enzima malato deshidrogenasa (Cuadro 8), se encontró que la inclusión de la MPP en las dietas reduce su actividad de 160 a 58 mM NADH/min/mg prot, para las dietas con 0% y 100% de inclusión de MPP, respectivamente. Estos resultados dosis dependientes, sugieren en su conjunto, un tipo de inhibición específica, tal como la que se obtiene con un inhibidor competitivo.

4. DISCUSIÓN

Si bien no se observó una diferencia estadística en la ganancia de peso acumulada a los 48 días de la prueba, si la hubo cuando se analizaron los valores obtenidos en cada semana, lo anterior pudo haberse generado al existir una ganancia de peso menor de los tratamientos con 75% y 100% la inclusión de la MPP en las primeras semanas de la prueba, sin embargo en las últimas semanas de la prueba su ganancia de peso fue mayor con respecto a los tratamientos que contenían una menor cantidad de MPP (0%, 25% y 50% de inclusión).

La diferencia en el mayor consumo de alimento en las dietas con la inclusión de MPP y, consecuentemente, una mayor conversión alimentaria con respecto a la dieta testigo en las mediciones a los 48 días de producción posiblemente se dió como un intento de compensación de la disminución del aporte de ácido linoleico en las dietas con la MPP, incrementándose el consumo de alimento para satisfacer su demanda, siendo de vital importancia para el crecimiento de las aves puesto que es el único ácido graso considerado esencial dentro de sus requerimientos nutricionales⁸. Estos resultados fueron similares a los encontrados por MacAlpine³⁶ donde se añadieron 10, 30, 60 y 90 g/kg de aceite de girasol (elevado contenido de ácido linoleico) y de aceite de oliva (bajo contenido de ácido linoleico) en dietas de pollo de engorda, obteniéndose una mayor ganancia de peso y una menor conversión alimentaria en las dietas que incluían el aceite de girasol y por ende mayor contenido de ácido linoleico.

También concuerda con lo encontrado por Gaad³⁷, donde a pollos de engorda desde el día 1 al 42 de producción se les dió una suplementación con 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8% de ácido linoleico en la dieta y se observó que esta adición disminuyó el consumo de alimento y la conversión alimentaria además de incrementarse la ganancia de peso con respecto a los pollos en cuya dieta no se adicionó el ácido linoleico.

En cuanto a la pigmentación medida el día 42, no se encontró regresión lineal en el pigmento en plasma. La absorción del pigmento en el tubo gastrointestinal es similar a la absorción de los otros lípidos que están presentes en la digestión del alimento, pasando por difusión pasiva al torrente sanguíneo con la previa formación de una micela³⁸, por lo que al no haber una diferencia en la concentración de pigmento entre los diferentes tratamientos es sugerente de que la cantidad de lípidos de la dieta fue suficiente para la correcta formación de micelas en el tubo digestivo y su posterior paso al torrente sanguíneo. El pigmento *in vivo* en piel igualmente medido el día 42 arrojó que el amarilleamiento en la piel del pollo de engorda se incrementó en 2.81 unidades en b* por cada unidad que se consume de ácido linoleico, este fenómeno puede deberse a que el depósito de las xantofilas en el tejido cutáneo de las aves es potenciado por el nivel de ácidos grasos saturados de cadena corta y de ácidos grasos poliinsaturados principalmente, como lo menciona Marusich³⁹. Adicionalmente a esto, las diferencias observadas por tratamiento corresponden con el nivel de pigmentación de la piel, puesto que la correcta pigmentación está influenciada por el depósito de grasa subcutánea⁴⁰.

El rendimiento de canal es afectado principalmente por los niveles proteicos y el balance de aminoácidos de las dietas así como por las deficiencias en el procesamiento del pollo de engorda en el rastro⁴¹; no se apreciaron diferencias significativas en el rendimiento de canal de los diferentes tratamientos, lo anterior pudo deberse a que se manejaron dietas isoproteicas con el mismo balance aminoácido, siendo también estos resultados sugerentes de un adecuado proceso de faenado. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Guerreiro⁴² que suplementó a grupos de pollos con diferentes fuentes de aceites y grasas, sin obtener diferencias en el rendimiento de canal ni en el peso de los diferentes componentes de la canal.

Al igual que la pigmentación *in vivo*, también se vio afectada negativamente la pigmentación medida *in vivo* con la inclusión de la MPP, siendo menor el grado de pigmentación el de los machos que el de las hembras, esto concuerda con lo hallado por Muñoz⁴³ donde fueron comparados diferentes grados de

inclusión de los pigmentos naturales y además se observó una correlación lineal entre la pigmentación medida en piel *in vivo* y en frío.

El panículo adiposo o grasa abdominal está altamente relacionado con el porcentaje total de grasa corporal⁴⁴, la disminución en el porcentaje del panículo adiposo con respecto al peso de la canal conforme se aumentaba la inclusión de la MPP y la consecuente disminución en el porcentaje de grasa de la ración es similar a la que fue reportada por Crespo⁴⁵, quien realizó 2 experimentos con 6% y 10% de inclusión de grasa en la ración, resultando en una mayor deposición de grasa abdominal las dietas que contenían un mayor porcentaje de grasa.

En el caso del porcentaje del extracto etéreo encontrado en el ala, este se encuentra en gran medida correlacionado fenotípicamente con el porcentaje de grasa abdominal⁴⁶, por lo que la variación en su porcentaje está íntimamente relacionado con la variación en el porcentaje de grasa abdominal.

Los resultados obtenidos en el estudio de respiración mitocondrial y malato deshidrogenasa, indican un posible efecto de inhibición del ciclo de Krebs, con lo cual, se interrumpe el flujo electrónico y por tanto el consumo de oxígeno y la síntesis de ATP. Lo anterior puede deberse al efecto regulatorio que genera el aumento en la concentración de succinil-CoA sobre la enzima α -cetoglutarato deshidrogenasa perteneciente al ciclo de Krebs¹¹, este aumento está generado por el propionato que fue suministrado a diferentes grados de inclusión en las dietas, mismo que es metabolizado en los hepatocitos a succinil-CoA.¹²

Conclusiones

De los resultados obtenidos bajo las condiciones experimentales empleadas se puede concluir que la ganancia de peso acumulada, el rendimiento de canal y el contenido de xantofilas en plasma no se vieron afectados por la inclusión de la MPP, además de que el consumo de alimento, la conversión alimentaria y la pigmentación cutánea se mantuvieron en las dietas con una inclusión de hasta el 50% de la MPP.

En cuanto al porcentaje del panículo adiposo en relación a la canal, éste se mantuvo similar a la dieta testigo (0% MPP) solo en la dieta con un 25% de la MPP. El porcentaje de extracto etéreo y el porcentaje de proteína cruda se mantuvieron en las dietas con una inclusión de hasta el 75% de la MPP.

5. REFERENCIAS

1. Bertechini, G; Kato, R; Brito JCJ. Uso de energía en avicultura. *World Poult Sci J.* 2006;62(315).
2. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Resumen Nacional de la Producción Pecuaria [Internet]. 2018 [citado el 3 de enero de 2019]. Disponible en: www.infosiap.siap.gob.mx.
3. Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y Nutrición Animal (CONAFAB). Anuarios estadísticos CONAFAB. 2019.
4. Organización de la Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación (FAO). Revisión del desarrollo avícola. FAO; 2013.
5. Indexmundi. Aceite de soya-Precio mensual [Internet]. US Department of Agriculture. 2018 [citado el 2 de enero de 2019]. Disponible en: www.indexmundi.com
6. Morand-Fehr P, Tran G. Feed lipids and fats in animal nutrition. Vol. 14, *Productions Animales -Paris- Institut National de la Recherche Agronomique-*. 2001. 285–302 p.
7. Zumbado ME, Scheele CW, Kwakernaak C. Chemical composition, digestibility, and metabolizable energy content of different fat and oil by-products. *J Appl Poult Res.* 1999;8(3):263–71.
8. National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Poultry. Vol. 17, *World's Poultry Science Journal.* 1961. 140–166 p.
9. Murray RK, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Rodwell VW, Weil PA. *Bioquímica Ilustrada-HARPER.* 28a ed. China: Mc-Graw Hill; 2010.
10. Benyon S. *Lo esencial de metabolismo y nutrición.* Madrid: Elsevier-Mosley; 2013.
11. David N. *Principios de Bioquímica: Lehninger.* 5ta ed. Omega; 2006.
12. Devlin T. *Bioquímica: libro de texto con aplicaciones clínicas.* Barcelona: Reverté; 2006.
13. Werner M. *Bioquímica: Fundamentos para Medicina y Ciencias de la Vida.* Barcelona: Reverté; 2008.
14. Berg, J, Tymoczko, J; Stryer L. *Bioquímica.* Barcelona: Reverté; 2007.
15. Hanson RW, Owen OE. Gluconeogénesis. *Encycl Biol Chem Second Ed.* 2013;381–6.
16. Food and drugs administration (FDA). Electronic code of federal regulations [Internet]. 2018 [citado el 15 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/textidx?SID=a857e3dd9d65dcd129ca906f86f5e57a&mc=true&node=pt21.3.184&rgn=div5>
17. Cave NAG. Effect of dietary propionic acid and lactic acid on feed intake by chicks. *Poult Sci.* 1984;63(1):131–4.
18. Shaver KJ, Arafa AS, Chen TC, Day EJ, Romoser GL, Miles RD, et al. Fungistatic Compounds in Broiler Production.: 2. Effect on Feed Microflora. *Poult Sci.* 1979;6(1).
19. DILWORTH BC, MILES RD, DAY EJ, CHEN TC, HARMS RH, SHAVER KJ, et al. Fungistatic Compounds in Broiler Production.: 3. Effect on Intestinal Microflora. *Poult Sci.*

- 1979;6(1):1456–61.
20. Jensen L, Chang C. Effect of calcium propionate on performance of laying hens. *Poult Sci* [Internet]. 1976;55(2):816–7. Disponible en: <http://ps.oxfordjournals.org/>
 21. Bavera G, Usp M. Propilénglicol, glicol propiléxico o propyleneglycol [Internet]. Tablas FEDNA, suplemento. 2007 [citado el 19 de enero de 2019]. p. 1–2. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar>
 22. Hippen AR, Defrain JM, Linke PL. Glycerol and Other Energy Sources for Metabolism and Production of Transition Dairy Cows. En: *Symposium: A Quarterly Journal In Modern Foreign Literatures*. 2008.
 23. Peterson, M.; Talcott P. *Small animal toxicology*. Oregon: Elsevier; 2013.
 24. Bayley H., Slinger S, Summers J. The use of propylene glycol as a source of energy in the chick. *Poult Sci*. 1967;1(1):19–22.
 25. Waldroup P, Bowen T. Evaluation of propylene glycol as an energy source in broiler diets. *Poult Sci* [Internet]. 1968;47(6):1911–7. Disponible en: <http://ps.oxfordjournals.org/>
 26. Linares I. Adición de una mezcla de propilenglicol y del propionato de calcio como fuente energética en dietas para gallinas de postura de segundo ciclo. [Tesis de licenciatura] Universidad Nacional Autónoma de México-FMVZ; 2017.
 27. Castillo A. Evaluación del propilenglicol, propionato de calcio y una mezcla de ambos en substitucion del aceite vegetal en dietas para gallina Bovans white. [Tesis de licenciatura] Universidad Nacional Autónoma de México - FMVZ; 2017.
 28. Garcia M. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppenen México. 6a ed. Ciudad de México: Talleres Offset Larios; 1988. 50–55 p.
 29. NOM. Norma Oficial Mexicana, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Nom-062-Zoo [Internet]. 1999;1–58. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf
 30. Manual de Manejo en pollos Ross de engorde. Aviagen. 2014.
 31. Martinez P. Efecto de xantofilas de flor de cempasúchil sobre la pigmentación de la piel de pollo de engorda. Universidad Nacional Autónoma de México-FMVZ; 2017.
 32. Allen PC. Physiological responses of chicken gut tissue to coccidial infection: comparative effects of *Eimeria acervulina* and *Eimeria mitis* on mucosal mass, carotenoid content, and brush border enzyme activity. *Poult Sci*. agosto de 1987;66(8):1306–15.
 33. Tejeda Gil VR. Evaluacion de dos factores que intervienen en la calidad de la canal de pollo de engorda: 1)"Sistemas de captura" y 2)"Programa de ayuno previo al procesamiento" en aves sometidas a restriccion alimenticia durante su crianza. [Tesis de maestria] FMVZ-UNAM; 2012.
 34. Bio-Rad Laboratories. Bio-Rad Protein Assay - Rapid 5 minutes concenient -one reagent reproducible- C.V. 1.2%. 1977.

35. Kutner M, Nachtsheim N, Neter J, William L. Applied linear statistical models. 5ta ed. Nueva York: Mc Graw-Hill; 2004.
36. MacAlpine R. Energy-protein interrelationships in broiler chicken nutrition. University of Sidney; 1980.
37. Gaad AH, Shabir Barham G, Shah AH, Ali Mughal G, Pirzado SA, Khaskheli GB, et al. Effect of Linoleic Acid Supplimentation on Growth of Broiler. IOSR J Agric Vet Sci [Internet]. 2016;09(08):77–80. Disponible en: <http://iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol9-issue8/Version-1/O0908017780.pdf>
38. Surai PF, Speake BK, Sparks NHC. Carotenoids in Avian Nutrition and Embryonic Development. 1. Absorption, Availability and Levels in Plasma and Egg Yolk. J Poult Sci [Internet]. 2001;38(1):1–27. Disponible en: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpsa/38/1/38_1_1/_article
39. Marusich WL, Bauernfeind JC. Oxycarotenoids in Poultry Feeds [Internet]. Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors. ACADEMIC PRESS, INC.; 1981. 319–462 p. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978012082850050010X>
40. Fletcher DL. Methodology for achieving pigment specifications. Poult Sci. abril de 1992;71(4):733–43.
41. Pérez L. Evaluacion del rendimiento de canal del pollo de engorda y sus partes secundarias adicionando un promotor de crecimiento (nucleotido) en fase de iniciacion. Universidad Autonoma Agraria; 2004.
42. Guerreiro Neto A, Pezzato A, Sartori J, Mori C, Cruz V, Fascina V, et al. Emulsifier in broiler diets containing different fat sources. Rev Bras Ciência Avícola [Internet]. 2011;13(2):119–25. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2011000200006&lng=en&tlng=en
43. Muñoz-Díaz JI, Fuente-Martínez B, Hernández-Velasco X, Ávila-González E. Skin pigmentation in broiler chickens fed various levels of metabolizable energy and xanthophylls from tagetes erecta. J Appl Poult Res. 2012;21(4):788–96.
44. Nikolova N, Pavlovski Z, Milošević N, Perić L. The quantity of abdominal fat in broiler chicken of different genotypes from fifth to seventh week of age. Biotechnol Anim Husb. 2007;23(January 2015):331–338.
45. Crespo N and E-G. Dietary Fatty Acid Profile Modifies Abdominal Fat Deposition in Broiler Chickens. Poult Sci. 2000;80(January):71–8.
46. Pavlovski Z, Skrbic Z, Vitorovic D, Lukic M, Petricevic V, Stanojkovic A, et al. Correlation between some indicators of broiler carcass fat. Biotechnol Anim Husb [Internet]. 2015;31(2):175–80. Disponible en: <http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=1450-91561502175P>

6. CUADROS

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales empleadas en pollo de engorda Ross 308 con la inclusión de una mezcla de propionato de calcio y propilenglicol (MPP) a diferentes niveles durante la fase de iniciación (día 1 al 10 de edad)

Ingrediente	Niveles de inclusión de MPP				
	0%	25%	50%	75%	100%
Sorgo	565.21	569.34	573.46	577.59	581.33
Pasta de soya	378.81	378.45	378.08	377.71	377.75
Aceite vegetal	16.17	12.13	8.09	4.05	0.00
Carbonato de calcio	13.54	13.54	13.55	13.55	13.56
Ortofosfato de calcio	10.30	10.29	10.27	10.26	10.24
Sal	3.81	3.81	3.81	3.81	3.81
DL-Metionina 99%	3.34	3.34	3.33	3.32	3.32
Premezcla de vitaminas y minerales ¹	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
L-Lisina HCl	2.28	2.29	2.29	2.29	2.30
Secuestrante ²	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
L-Treonina	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
Bacitracina BMD ³	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Coccidiostato ⁴	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
MPP ⁵	0.00	0.30	0.59	0.89	1.18
Antioxidante ⁶	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Fitasa ⁷	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	1000	1000	1000	1000	1000
Análisis calculado					
Proteína cruda (%)	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Energía metabolizable (kcal/kg)	3000	3000	3000	3000	3000
Ácido linoleico (%)	1.60	1.40	1.20	1.01	0.81
Metionina + Cistina total (%)	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
Lisina total (%)	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41
Treonina total (%)	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Arginina total (%)	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
Calcio total (%)	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Fosforo disponible (%)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Sodio (%)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16

¹Vitaminas y minerales/kg: Vitamina A 3, 574,000 UI; Vitamina D3 1, 344,000 UI; Vitamina E 3,216 UI; Vitamina K 1.112g; Riboflavina 2.228 g; Cianocobalamina 0.004 g; Acido pantoténico 5.592 g; Niacina 8.960 g; Cloruro de colina 60% 106.000 g; Hierro 12.000 g; Manganeso 24.000 g; Cobre 0.600 g; Yodo 0.040 g; Zinc 14.000 g, Selenio 0.040 g; Antioxidante 0.16 g; Cobalto 0.040 g; Vehículo c.b.p. 1,000 g.

²Free-tox (Nutrex): Aluminosilicato de sodio, calcio hidratado y clinoptilolita 85%, c.b.p 100%.

³Bacitrafeed (HELM DE MEXICO S.A.): Bacitracina BMD 10%.

⁴Nicar-feed (HELM DE MEXICO S.A.): Nicarbacina 25%.

⁵Lipofeed (Prepec): 1-2 propanodiol 3.3%; Propionato de sodio o calcio 6.9%, Vehículo c.b.p. 100%.

⁶Oxiplus ATQ (Nutryplus): BHA 1.2%, BHT 8%, ETQ 4.8%

⁷Fitasa (HELM DE MEXICO S.A.)

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales empleadas en pollo de engorda Ross 308 con la inclusión de una mezcla de propionato de calcio y propilenglicol (MPP) a diferentes niveles durante la fase de crecimiento (día 11 a 21 de producción)

Ingrediente	Niveles de inclusión de MPP				
	0%	25%	50%	75%	100%
Sorgo	618.80	625.61	632.42	639.23	646.07
Pasta de soya	318.16	316.95	315.74	314.53	313.32
Aceite vegetal	24.33	18.25	12.17	6.10	0.00
Carbonato de calcio	12.67	12.68	12.69	12.70	12.70
Ortofosfato de calcio	8.47	8.45	8.43	8.42	8.40
DL- Metionina 84%	3.98	3.98	3.97	3.96	3.95
Sal	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
L-Lisina HCl	2.92	2.95	2.98	3.02	3.05
Premezcla de vitaminas y minerales ¹	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Secuestrante ²	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
MPP ³	0.00	0.44	0.88	1.32	1.76
L-Treonina	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79
Bacitracina BMD ⁴	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Nicarbacina ⁵	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
L-Arginina	0.26	0.28	0.30	0.33	0.35
Antioxidante ⁶	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Fitasa ⁷	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	1000	1000	1000	1000	1000
	Análisis calculado				
Proteína cruda (%)	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50
Energía metabolizable (kcal/kg)	3100	3100	3100	3100	3100
Ácido linoleico (%)	2.04	1.75	1.45	1.15	0.86
Metionina + Cistina total (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lisina total (%)	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
Treonina total (%)	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
Arginina total (%)	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
Calcio total (%)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Fosforo disponible (%)	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
Sodio (%)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16

¹Vitaminas y minerales/kg: Vitamina A 3, 574,000 UI; Vitamina D3 1,344,000 UI; Vitamina E 3,216 UI; Vitamina K 1.112g; Riboflavina 2.228 g; Cianocobalamina 0.004 g; Acido pantoténico 5.592 g; Niacina 8.960 g; Cloruro de colina 60% 106.000 g; Hierro 12.000 g; Manganeseo 24.000 g; Cobre 0.600 g; Yodo 0.040 g; Zinc 14.000 g, Selenio 0.040 g; Antioxidante 0.16 g; Cobalto 0.040 g; Vehículo c.b.p. 1,000 g.

²Free-tox (Nutrex): Aluminosilicato de sodio, calcio hidratado y clinoptilolita 85%, c.b.p 100%.

³Lipofeed (Prepec): 1-2 propanodiol 3.3%; Propionato de sodio o calcio 6.9%, Vehículo c.b.p. 100%.

⁴Bacitrafeed (HELM DE MEXICO S.A.): Bacitracina BMD 10%.

⁵Nicar-feed (HELM DE MEXICO S.A.): Nicarbacina 25%.

⁶Oxiplus ATQ (Nutryplus): BHA 1.2%, BHT 8%, ETQ 4.8%.

⁷Fitasa (HELM DE MEXICO S.A.)

Cuadro 3. Composición de las dietas experimentales empleadas en pollo de engorda Ross 308 con la inclusión de una mezcla de propionato de calcio y propilenglicol (MPP) a diferentes niveles durante la fase de finalización (día 22 a 48 de producción)

Ingrediente	Niveles de inclusión de MPP				
	0%	25%	50%	75%	100%
Sorgo	642.81	653.08	663.50	673.71	684.19
Pasta de soya	281.01	279.23	277.39	275.57	273.71
Aceite vegetal	37.02	27.80	18.49	11.19	0.00
Carbonato de calcio	11.15	11.17	11.18	9.36	11.21
Ortofosfato de calcio	6.72	6.69	6.66	6.64	6.61
Pigmento amarillo vegetal ¹	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67
DL- Metionina 84%	3.43	3.41	3.40	3.39	3.38
L-Lisina HCl	2.62	2.66	2.71	2.76	2.81
MPP ²	0.00	0.67	1.34	2.00	2.68
Premezcla de vitaminas y minerales ³	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Bicarbonato de sodio	2.40	2.44	2.48	2.51	2.56
Sal	2.16	2.13	2.10	2.07	2.04
Secuestrante ⁴	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Bacitracina BMD ⁵	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
L-Treonina	0.42	0.42	0.43	0.43	0.43
Salinomicina ⁶	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
L-Arginina	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12
Antioxidante ⁷	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Fitasa ⁸	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Total	1000	1000	1000	1000	1000
Análisis calculado					
Proteína cruda (%)	19.87	19.87	19.87	19.87	19.87
Energía metabolizable (kcal/kg)	3200	3200	3200	3200	3200
Ácido linoleico (%)	2.69	2.24	1.79	1.34	0.88
Metionina + Cistina total (%)	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Lisina total (%)	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
Treonina total (%)	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Arginina total (%)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Calcio total (%)	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Fosforo disponible (%)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Sodio (%)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16

¹ Avelut polvo (PIVEG): pigmento amarillo vegetal 15 g/kg de xantofilas amarillas de flor de cempasúchil

² Lipofeed (Prepec): 1-2 propanodiol 3.3%; Propionato de sodio o calcio 6.9%, Vehículo c.b.p. 100%.

³ Vitaminas y minerales/kg: Vitamina A 3,574,000 UI; Vitamina D3 1,344,000 UI; Vitamina E 3,216 UI; Vitamina K 1.112 g; Riboflavina 2.228 g; Cianocobalamina 0.004 g; Acido pantoténico 5.592 g; Niacina 8.96 g; Cloruro de colina 60% 106 g; Hierro 12 g; Manganeso 24 g; Cobre 0.6 g; Yodo 0.04 g; Zinc 14 g, Selenio 0.040 g; Antioxidante 0.16 g; Cobalto 0.04 g; Vehículo c.b.p. 1,000 g.

⁴ Free-tox (Nutrex): Aluminosilicato de sodio, calcio hidratado y clinoptilolita 85%, c.b.p 100%.

⁵ Bacitrafeed (HELM DE MEXICO S.A.): Bacitracina BMD 10%.

⁶ Salino-feed (HELM DE MEXICO S.A.): Salinomicina 12%.

⁷ Oxiplus ATQ (Nutryplus): BHA 1.2%, BHT 8%, ETQ 4.8%.

⁸ Fitasa (HELM DE MEXICO S.A.)

Cuadro 4. Resultados promedio obtenidos en cuarenta y ocho días de producción de pollos alimentados con diferentes concentraciones de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP)

Inclusión de MPP	Inclusión promedio ponderada de ácido linoléico en las dietas (%)	Ganancia de peso por ave/ periodo (g)	Consumo de alimento ave/ periodo (g)	Conversión alimentaria (kg:kg)
0%	2.342	2946	5592 ^a	1.898 ^a
25%	1.974	2954	5577 ^a	1.888 ^a
50%	1.602	2964	5696 ^{ab}	1.922 ^{ab}
75%	1.237	2936	5795 ^b	1.974 ^b
100%	0.864	2865	5908 ^b	2.067 ^b
EEM	NA	74.4	120.3	0.072
P	NA	0.11	0.01	0.01

Peso inicial =36±0.9g

Diferente letra en columna indica que son estadísticamente distintos

P=Probabilidad

EEM= error estándar de la media

NA = No aplica

Cuadro 5. Resultados promedio obtenidos en medición de pigmento a los cuarenta y dos días de producción de pollos alimentados con diferentes concentraciones de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP)

Inclusión de MPP	Inclusión promedio ponderada de ácido linoléico en las dietas (%)	Xantofilas en plasma (ppm)	Pigmento en piel					
			l*		a*		b*	
			Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos
0%	2.342	0.822	69.89	70.77	1.61	1.74	21.89 ^a	21.60 ^a
25%	1.974	1.019	69.44	69.67	1.48	1.78	20.98 ^{ab}	21.09 ^{ab}
50%	1.602	1.060	69.81	69.10	0.88	1.40	20.35 ^{abc}	18.84 ^{abc}
75%	1.237	0.986	69.00	68.62	1.02	1.25	19.80 ^{bc}	18.46 ^{bc}
100%	0.864	0.863	69.11	69.71	1.60	1.75	18.45 ^c	16.55 ^c
EEM	NA	0.363		1.08		0.71		2.17
P	NA	0.24		0.07		0.08		0.01

Diferente letra en columna indica que son estadísticamente distintos

EEM= error estándar de la media

P=Probabilidad

NA = No aplica

Cuadro 6. Resultados promedio obtenidos en el procesamiento en el rastro a los cincuenta y un días de producción de pollos alimentados con diferentes concentraciones de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP)

Inclusión de MPP	Inclusión promedio ponderada de ácido linoléico en las dietas (%)	Rendimiento de canal (%)	Pigmento en piel en frío			Porcentaje del panículo adiposo en relación a la canal (%)
			l*	*a	*b	
0%	2.342	73.56	71.84	1.76	36.32 ^a	1.54 ^a
25%	1.974	73.37	70.54	2.12	34.77 ^a	1.31 ^a
50%	1.602	73.39	72.62	2.67	36.48 ^{ab}	0.85 ^b
75%	1.237	74.20	69.29	2.55	32.91 ^b	0.89 ^b
100%	0.864	72.89	70.26	1.45	29.41 ^c	0.75 ^b
EEM	NA	1.76	2.18	2.79	5.38	0.66
P	NA	0.69	0.06	0.06	0.01	0.01

Diferente letra en columna indica que son estadísticamente distintos

EEM= error estándar de la media

P=Probabilidad

NA = No aplica

Cuadro 7. Resultados promedio obtenidos a partir del procesamiento en el laboratorio de bromatología de alas de pollos alimentados con diferentes concentraciones de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP)

Inclusión de MPP	Inclusión promedio ponderada de ácido linoléico en las dietas (%)	Humedad (%)	Extracto etéreo en BS (%)	Proteína cruda en BS (%)
0%	2.342	68.17	38.05 ^a	55.73 ^a
25%	1.974	67.82	42.66 ^a	54.71 ^a
50%	1.602	68.57	37.44 ^a	58.99 ^{ab}
75%	1.237	68.82	39.76 ^a	57.47 ^a
100%	0.864	69.13	31.16 ^b	64.42 ^b
EEM	NA	1.33	2.66	3.72
P	NA	0.12	0.01	0.01

EEM= error estándar de la media

Diferente letra en columna indica que son estadísticamente distintos (P<0.05)

NA = No aplica

Cuadro 8. Efecto de los diferentes grados de inclusión de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP) en dietas de pollo de engorda sobre la respiración mitocondrial y en la enzima Malato deshidrogenasa (MDH)

Inclusión de MPP	Estado 3	Estado 4	CR*	Actividad de la MDH
	nm O ₂ /min/mg prot		ST3/ST4**	mM NADH/min/mg prot
0%	8.14	6.33	1.28	160
25%	7.23	5.42	1.33	155
50%	1.75	0.875	2	106
75%	1.63	1.4	1.16	72
100%	1.31	0.785	1.67	58

*CR=Control respiratorio

**ST3/ST4=Estado 3/Estado 4

7. FIGURAS

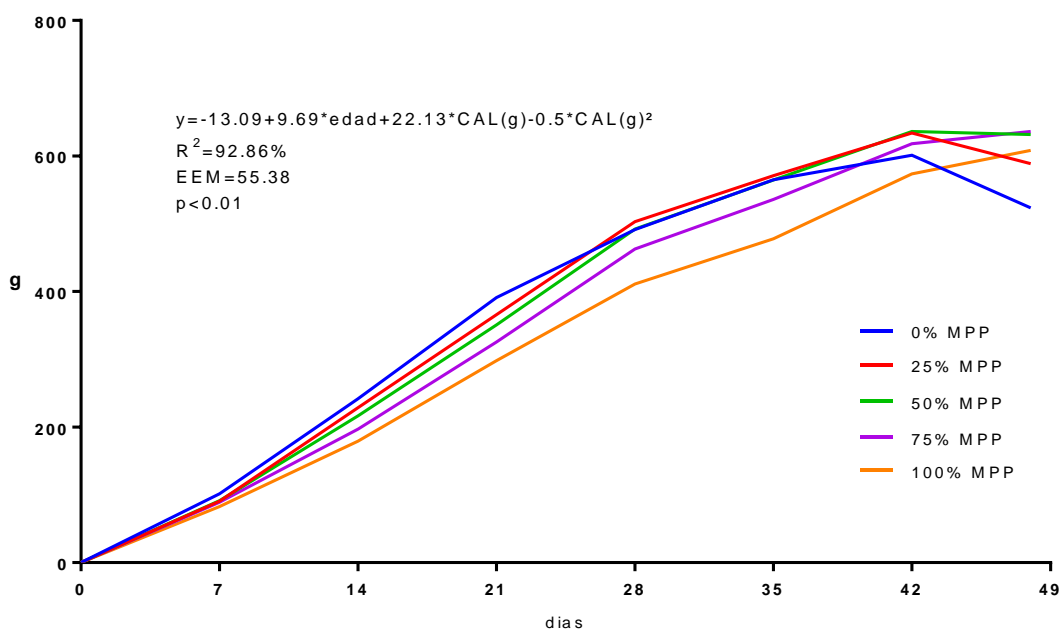


Figura 1. Ganancia de peso obtenida en cuarenta y ocho días de producción de pollos alimentados con diferentes concentraciones de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP).
CAL (g)= consumo de ácido linoleico

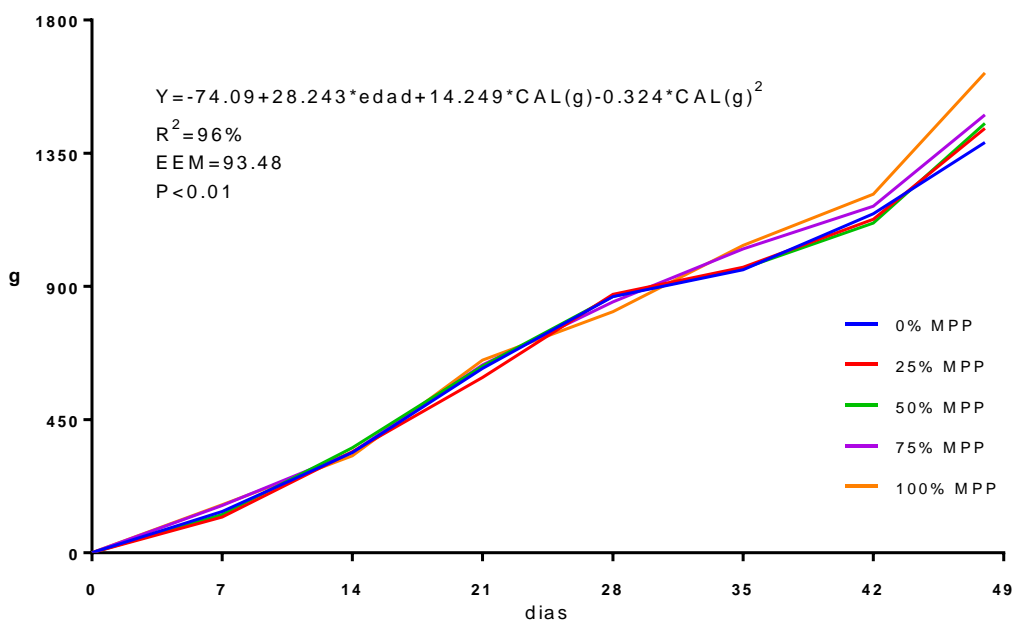


Figura 2. Consumo de alimento obtenido en cuarenta y ocho días de producción de pollos alimentados con diferentes concentraciones de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP).
CAL= consumo de ácido linoleico

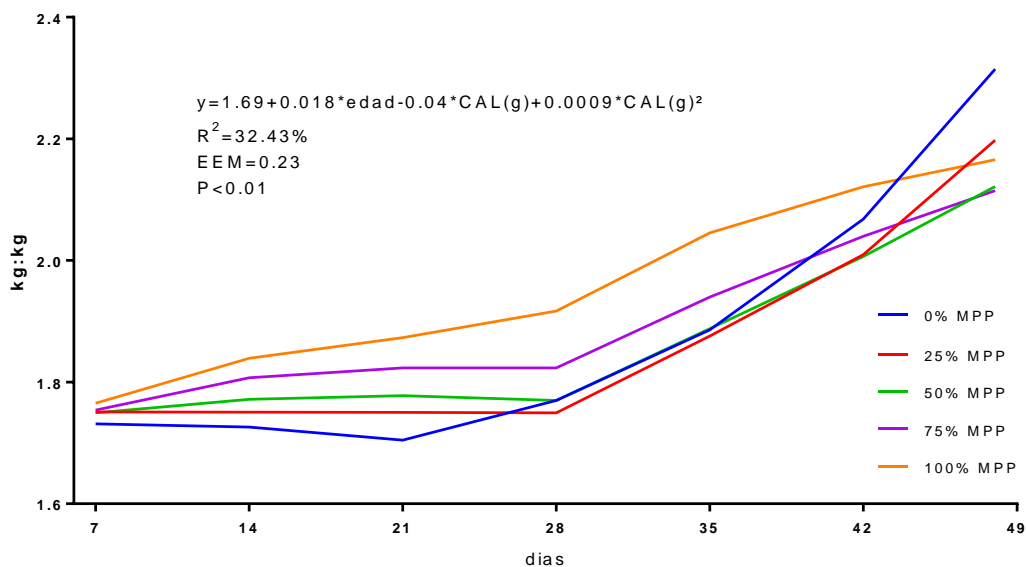


Figura 3. Conversión alimentaria obtenida en cuarenta y ocho días de producción de pollos alimentados con diferentes concentraciones de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP).

CAL= consumo de ácido linoleico

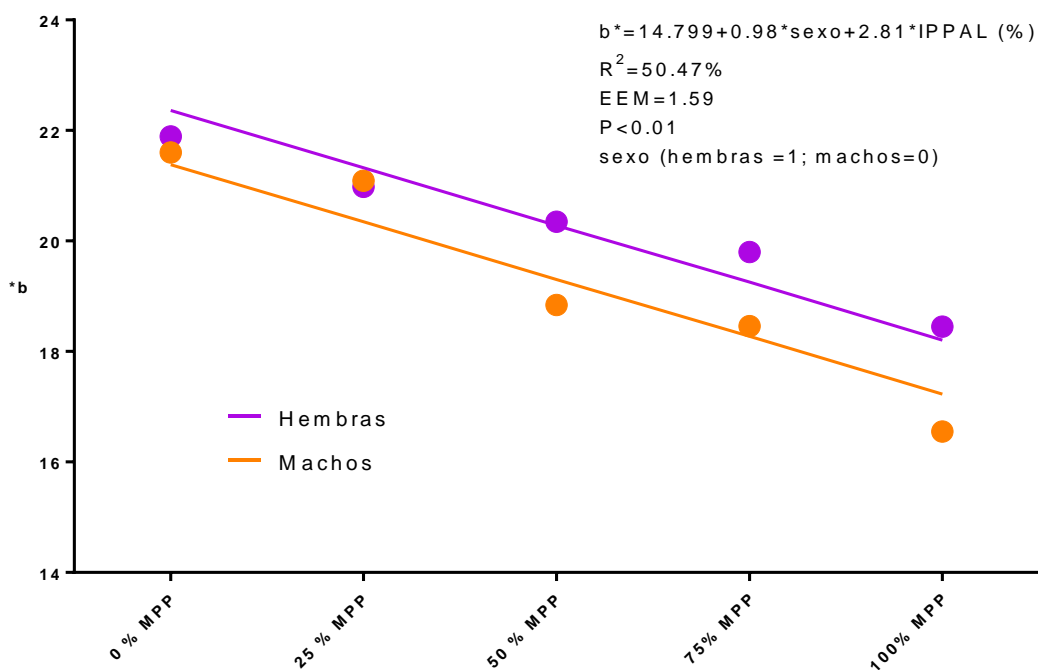


Figura 4. Medición promedio de unidades de amarillamiento (b^*) en piel obtenidas a los cuarenta y dos días de producción de pollos alimentados con diferentes concentraciones de una mezcla de propilenglicol y propionato de calcio (MPP). Los \bullet son valores observados.

IPPAL=Inclusión promedio ponderada de ácido linoleico