

La suplementación dietaria con un extracto de maíz morado (*Zea mays* L) reduce el riesgo vascular y esteatosis hepática en pollos de engorde

Dietary supplementation with an extract of purple corn (*Zea mays* L) reduces vascular risk and hepatic steatosis in broilers

Dalisi Saltos¹, María Sancán¹, José Arteaga¹, Celso González², Carlos Bulnes¹,
María Elena Villanueva³, Sixto Reyna^{1,4}

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la suplementación en la dieta de pollos de engorde de dosis crecientes de un extracto de maíz morado (*Zea mays* L) sobre el desempeño productivo y metabolismo lipídico. Se utilizaron 200 pollos de engorde COBB 500, sin sexar, de 28 días de edad distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos: T1 (control), T2, T3 y T4 con 0, 0.05, 0.15 y 0.75% de extracto de maíz morado (EMM) como fuente de antocianinas. Se evaluó el desempeño productivo, perfil lipídico, indicadores de riesgo cardiovascular (colesterol total/colesterol de lipoproteínas de alta densidad - CT/c-HDL- y colesterol de lipoproteínas de baja densidad/c-HDL - c-LDL/c-HDL), glucemia y esteatosis hepática (EH). Diez pollos macho por tratamiento fueron sacrificados a los 56 días de edad. Los resultados se analizaron mediante ANOVA de una vía y prueba de medias de Dunnett, excepto el indicador de riesgo cardiovascular CT/c-HDL (prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis) y prueba exacta de Fisher para comparar las proporciones de EH entre los tratamientos control y suplementados con EMM. El peso final fue mayor en T3 y T4 con relación a T1 ($p=0.045$), mientras que el peso en canal, rendimiento en canal y peso relativo de grasa abdominal no fueron diferentes entre tratamientos. Tampoco hubo diferencias entre tratamientos respecto a las concentraciones séricas de triacilglicerol (TAG), CT, c-LDL, c-HDL y glucemia. Sin embargo, los

¹ Departamento de Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador

² Departamento de Estadística e Informática, Facultad de Economía y Planificación, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

³ Departamento de Nutrición, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

⁴ E-mail: sixto.reyna@utm.edu.ec

Recibido: 13 de marzo de 2020

Aceptado para publicación: 15 de octubre de 2020

Publicado: 23 de febrero de 2021

índices de riesgo cardiovascular CT/c-HDL y c-LDL/c-HDL y la proporción de EH fueron menores al suplementar con el EMM ($p < 0.05$). Los resultados sugieren que el EMM ejerce un efecto protector frente al riesgo cardiovascular y esteatosis hepática, sin afectar el desempeño productivo de las aves.

Palabras clave: esteatosis hepática, maíz morado, perfil lipídico, pollos parrilleros, riesgo cardiovascular

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of supplementation of increasing doses of a purple corn extract (*Zea mays* L) in the diet of broilers on the productive performance and lipid metabolism. Two hundred Cobb 500 broilers, unsexed, 28 days old, randomly distributed in four treatments were used: T1 (control), T1, T2 and T2 with 0, 0.05, 0.15 and 0.75% purple corn extract (EMM) as a source of anthocyanins. Productive performance, lipid profile, cardiovascular risk indicators (total cholesterol/high-density lipoprotein cholesterol - TC/HDL-c- and low-density lipoprotein cholesterol/HDL-c - LDL-c/HDL-c), glycemia and hepatic steatosis (HE) were evaluated. Ten male chickens per treatment were slaughtered at 56 days of age. The results were analysed using one-way ANOVA and Dunnett's mean test, except for the cardiovascular risk indicator CT/HDL-c (non-parametric Kruskal-Wallis test) and Fisher's exact test to compare the proportions of HE between treatments. control and supplemented with EMM. Final weight was higher in T3 and T4 in relation to T1 ($p = 0.045$), while carcass weight, carcass performance and relative weight of abdominal fat were not different between treatments. There were also no differences between treatments regarding serum concentrations of triacylglycerol (TAG), TC, LDL-c, HDL-c and blood glucose. However, the cardiovascular risk indices CT/HDL-c and LDL-c/HDL-c and the proportion of HE were lower when supplementing with EMM ($p < 0.05$). The results suggest that EMM exerts a protective effect against cardiovascular risk and hepatic steatosis, without affecting the productive performance of the birds.

Key words: hepatic steatosis, purple corn, lipid profile, broiler chickens, cardiovascular risk

INTRODUCCIÓN

Merced al rápido crecimiento y calidad de la carcasa del pollo de engorde, atribuido parcialmente al mejoramiento genético enfocado en la eficiencia de crecimiento y conversión alimenticia, la carne de esta ave es, para la alimentación humana, la principal fuente de proteínas de origen animal (Thornton, 2010; Hocking, 2014; OCDE-FAO, 2017; Saxena y Kolluri, 2018). Esta carne contri-

buye significativamente con la provisión de lípidos, vitaminas y minerales (Marangoni *et al.*, 2015); sin embargo, el mejoramiento genético de estos caracteres se asocia con acumulación de grasa abdominal (Fouad y El-Senousey, 2014; Hocking, 2014), ocasionando desperdicio de energía dietaria e influyendo negativamente en el rendimiento de la canal, el manejo de residuos y la aceptación del consumidor (Shahin y Abdel-Azeem, 2006; Fouad y El-Senousey, 2014).

La excesiva deposición de grasa abdominal determina que el pollo de engorde sea considerado «obeso» en relación con las líneas silvestres y aves destinadas a la producción de huevos. La grasa abdominal del pollo correlaciona positivamente con la concentración sérica de glucosa, triacilglicerol, colesterol total y lipoproteínas de baja densidad (c-LDL) y negativamente con la concentración de lipoproteínas de alta densidad (c-HDL) (Navidshad *et al.*, 2010). Adicionalmente, el pollo presenta dislipidemias (Hermier, 1997), hiperglucemia, resistencia a la insulina (Wang *et al.*, 2017) y predisposición a esteatosis hepática (Hermier, 1997); por tanto, es un modelo adecuado para el estudio del metabolismo lipídico (Huang *et al.*, 2013; Ji *et al.*, 2014), de las Enfermedades Crónicas No Transmisibles (ECNT) (Ayala *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2017) y de la esteatosis hepática, que es una manifestación hepática del Síndrome Metabólico, definido como la asociación de al menos tres alteraciones: resistencia a la insulina, hipertensión arterial, obesidad central y dislipidemias (Buqué *et al.*, 2008; Lizarzaburu, 2013).

Frente a estas enfermedades, se ha propuesto el uso de fitoquímicos, entre ellos los flavonoides como una alternativa terapéutica (Balaji *et al.*, 2015), puesto que en diversos biomodelos se ha evidenciado que su ingesta mejora el perfil lipídico, reduce la hiperglicemia, la insulinoresistencia y lesiones ateroscleróticas, y reduce la proporción de tejido adiposo (Hwang *et al.*, 2011; Reis *et al.*, 2016; Bhaswant *et al.*, 2017), probablemente incrementando la tasa de β -oxidación (Guo *et al.*, 2012) e inhibiendo la lipogénesis (Kim *et al.*, 2012; Nakajima *et al.*, 2015). Aunque se atribuye a las antocianinas una acción preventiva y terapéutica frente a las ECNT y EH (Pojer *et al.*, 2013; Valenti *et al.*, 2013), no existe información respecto a la suplementación con un extracto de maíz morado (EMM), como fuente de flavonoides, principalmente antocianinas (Pedreschi y Cisneros-Zevallos, 2007). Con base a estos antecedentes, el objetivo del presente estudio fue determinar el

efecto de la suplementación dietaria de pollos de engorde con dosis crecientes de un extracto de maíz morado (*Zea mays* L) sobre el desempeño productivo y metabolismo lipídico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

La crianza de las aves y el posterior sacrificio se realizó en las instalaciones avícolas de los Laboratorios Agropecuarios de la Universidad Técnica de Manabí, en Manabí, Ecuador. Los análisis bioquímicos y toma de muestras para las determinaciones histopatológicas se desarrollaron en las respectivas áreas de dicho laboratorio.

Aves, Diseño Experimental y Dietas

Se utilizaron 200 pollos de la línea Cobb 500, sin sexar, de un día de edad y con un peso promedio de 44.2 ± 2.15 g. Las aves fueron alojadas en un galpón convencional durante los primeros 28 días, siendo alimentadas con dietas que cubrieron sus requerimientos nutricionales. Posteriormente fueron distribuidas aleatoriamente en cuatro tratamientos, designados en función de la dosis de un extracto de maíz morado (EMM) en polvo (4.41% de antocianinas, según el certificado de análisis reportado por el proveedor) adicionada a una dieta convencional en forma de harina, adquirida en el comercio local (Cuadro 1): 0% (control, T1), 0.05% (T2), 0.15% (T3) y 0.75% (T4), equivalente a 0, 22, 66 y 330.8 mg de antocianinas/kg de alimento. De esta forma se cubrió el rango de dosis de flavonoides generalmente utilizadas en avicultura (entre 0.05 y 0.2%) (Kamboh *et al.*, 2019). Los tratamientos constaron de cinco repeticiones y 10 aves por repetición. Las aves recibieron similares condiciones de manejo: 23 horas de luz y una hora de oscuridad, alimento y agua a voluntad y densidad de 10 aves/m². La temperatura varió entre 17.3 y 36.3 °C durante el periodo experimental.

Cuadro 1. Composición y contenido nutricional de la dieta control, fase experimental

Ingredientes	%
Maíz	62.33
Polvillo de arroz	5.00
Aceite de palma	4.00
Carbonato de calcio	2.00
Fosfato monocálcico	0.60
Harina de soya	25.00
DL-Metionina 99	0.17
Premezcla vitaminas y minerales	0.20
Cloruro de sodio	0.20
Antifúngico	0.20
L-lisina HCl (78)	0.28
Fitasa	0.02
Total	100
Contenido nutricional calculado¹	
Energía metabolizable (kcal/kg)	3047.2
Materia seca (%)	87.95
Proteína (%)	17.14
Fibra (%)	3.50
Grasa (%)	6.64
Fósforo total (%)	0.51
Fósforo disponible (%)	0.19
Calcio (%)	1.02

A partir de la dieta control (T1), en los tratamientos experimentales se adicionó un extracto de maíz morado en las siguientes proporciones: 0.05% (T2); 0.15% (T3) y 0.75% (T4)

¹ Estimación de la composición nutricional utilizando las Tablas de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), 2019

El EMM, adquirido a Sensient Technologies, Lima. Perú (Lote N.º 018133) se almacenó en ambiente seco y a una temperatura inferior a 30 °C, a fin de prevenir el deterioro de las antocianinas. Las dosis del EMM se adicionaron diariamente a la dieta utilizada (Takikawa *et al.*, 2010; Reyna *et al.*, 2018). Para ello, se realizó una premezcla entre la dosis del EMM correspondiente a cada tratamiento y una fracción del alimento

base (aproximadamente 500 g) para agregarse paulatinamente al resto del alimento, hasta lograr una homogenización completa.

Toma de Muestras

El consumo de alimento se registró diariamente, en tanto que la conversión alimenticia (CA) y mortalidad se estimaron semanalmente para el total de las aves (n=200).

Cuadro 2. Parámetros productivos de pollos de carne suplementados con extracto de maíz morado (EMM, %)

Parámetros	T1 (0 EMM)	T2 (0.05 EMM)	T3 (0.15 EMM)	T4 (0.75 EMM)
Peso final (g)	3230±189.2 ^a	3392±158 ^a	3475±102.5 ^b	3497±118.4 ^b
Consumo de alimento (g)	7299±292.61	7233±284.73	7633±261.38	7706±257.43
Conversión alimenticia	2.26±0.11	2.14±0.06	2.2±0.08	2.21±0.13
Mortalidad (%)	2	4	1	1

(n=50 aves por tratamiento)

^{a,b} Superíndices diferentes dentro de filas indican diferencia significativa (p<0.05)

La CA se determinó en función del consumo de alimento y la ganancia de peso del total de las aves según tratamiento, mientras que el índice de mortalidad se obtuvo del registro del número de aves muertas por tratamiento.

A los 56 días de edad, y posterior a un ayuno nocturno de 12 horas, dos aves macho por repetición (10 aves por tratamiento) fueron sacrificadas mediante exanguinación, evitando el maltrato y sufrimiento innecesario. De cada ave sacrificada se recolectó 5 ml de sangre en tubos sin anticoagulante. Las muestras fueron centrifugadas con una fuerza máxima de 1700 x g durante 15 min. En el plasma obtenido se determinó el perfil lipídico (triacilglicerol [TAG], colesterol total [CT], colesterol de lipoproteínas de baja densidad [c-LDL], colesterol de lipoproteínas de alta densidad [c-HDL]) y glucosa, siguiendo las indicaciones del proveedor de los kits comerciales (BioTécnica). El riesgo cardiovascular se determinó mediante los cocientes CT/c-HDL y c-LDL/cHDL (Millán *et al.*, 2009).

Se registró el peso de las aves antes del sacrificio (peso vivo) y el peso de la canal tras el descarte de vísceras, cabeza y plumaje, utilizando una balanza digital (5 kg ± 1.0

g). Para el peso de la grasa visceral, registrada acorde con las indicaciones de Crespo y Esteve-García (2001) y del hígado, se empleó una balanza digital (1000 ± 0.1 g). Además, se determinó el peso relativo de estos tejidos en relación con el peso vivo de las aves.

Adicionalmente, se tomaron ocho muestras de tejido hepático por tratamiento, que fueron fijadas en una solución de formol neutro tamponado al 10% y procesadas por la técnica clásica de inclusión y cortes en bloques de parafina, previa deshidratación en alcoholes en grados ascendentes. Los cortes fueron coloreados con la tinción de hematoxilina y eosina, acorde a los protocolos correspondientes (Aguilar *et al.*, 2011). Para el análisis de las muestras se utilizó un microscopio óptico Optika B 383 Pli a 400x, que contó con una cámara digital AmScope MU 100 acoplada y el software AmScope 3.0.

Análisis Estadístico

Los datos se representaron como promedios ± desviación estándar (DE). La distribución normal y homogeneidad de varianza se determinó mediante las pruebas de Ryan-

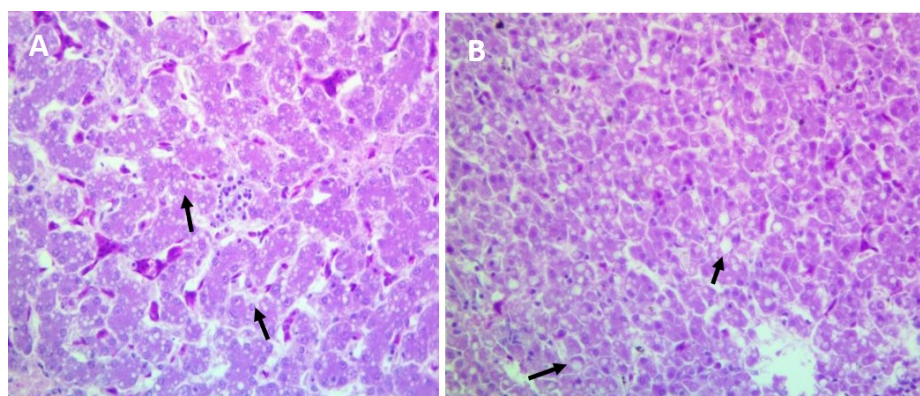


Foto 1. Imagen histológica del hígado mostrando microvacuolas (A) y macrovacuolas (B) que rechazan el núcleo hacia la periferia (*flechas*) en el citoplasma de hepatocitos con esteatosis HE.125x

Joiner (similar a Shapiro-Wilk) y Levene, respectivamente. Los datos del indicador de riesgo cardiovascular colesterol total/c-HDL no presentaron una distribución normal, por lo que se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Para el análisis de los resultados restantes, excepto la comparación de la proporción de mortalidad y esteatosis hepática entre el tratamiento control y tratamientos suplementados con EMM, evaluado mediante la prueba exacta de Fisher, se empleó el análisis de varianza de una vía (Diseño Completamente al Azar, DCA). Las diferencias entre medias se calcularon utilizando la prueba de comparación múltiple de Dunnett. En todos los casos el nivel de diferencias estadísticas se preestableció en un valor $p < 0.05$. El análisis estadístico se efectuó utilizando los paquetes estadísticos Minitab v. 18 (State College, PA; USA) y GrahPad Prism 6 (La Jolla, USA).

RESULTADOS

Desempeño Productivo

El peso final de las aves fue mayor en T4 y T3 que en T1 ($p=0.042$), en tanto que el consumo de alimento, conversión alimenti-

cia y mortalidad fue similar entre tratamientos (Cuadro 2). Así mismo, al evaluar la respuesta productiva en 10 pollos macho por tratamiento se observó que el peso inicial de las aves (día 28) fue similar entre tratamientos, pero el peso alcanzado al día 56 fue mayor en T3 y T4 que en T1 y T2 ($p=0.045$). En contraste, no se evidenciaron diferencias entre el peso en canal, rendimiento en canal y los pesos relativos del hígado y grasa abdominal de los tratamientos en estudio (Cuadro 3).

Esteatosis Hepática

El cuadro histopatológico se caracterizó por la presencia de microvacuolas ópticamente vacías en el citoplasma de los hepatocitos. En los casos más severos se observaron macrovacuolas que rechazaban el núcleo hacia la periferia, con ligeros signos de daño hepatocelular, lo que se corresponde con la actual denominación de esteatosis simple (Figura 1). La suplementación con el EMM redujo la proporción de esteatosis hepática (EH) en las aves ($p < 0.007$). En T1, el 87.5% de las aves presentó EH, mientras que en las muestras provenientes de tratamientos suplementados con EMM, la proporción de EH fue 45.83%, siendo de 62.5, 50 y 25% en T2, T3 y T4, respectivamente.

Cuadro 3. Parámetros productivos, peso del hígado y grasa visceral con relación al peso final en pollos de carne suplementados con extracto de maíz morado (EMM)

Parámetros ¹	Tratamientos				P valor
	T1 (0 EMM)	T2 (0.05 EMM)	T3 (0.15 EMM)	T4 (0.75 EMM)	
Peso inicial (g)	1322±94 ^a	1273±170 ^a	1400± 166 ^a	1396 ± 104 ^a	0.135
Peso final (g)	3393±289 ^a	3549±375 ^a	3739±288 ^b	3742 ±229 ^b	0.045
Peso canal (g)	2704±237 ^a	2758±292 ^a	2869±226 ^a	2904±172 ^a	0.211
Rendimiento canal (%)	78.68±2.08 ^a	77.71±1.50 ^a	76.74±1.73 ^a	77.62±1.1 ^a	0.101
Peso hígado (%)	1.48±0.17 ^a	1.47±0.21 ^a	1.36±0.19 ^a	1.48±0.24 ^a	0.533
Peso grasa abdominal (%)	2.40±0.53 ^a	2.68±0.51 ^a	2.52±0.54 ^a	2.60±0.93 ^a	0.819

Los valores representan el promedio ± DE de 10 pollos macho por tratamiento
Superíndices con letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

¹ Peso de hígado y grasa abdominal en relación al peso vivo del día 56

Parámetros Bioquímicos

El efecto del EMM sobre el perfil lipídico de las aves se aprecia en la Figura 2. La concentración sérica de triglicéridos, colesterol total, c-LDL y c-HDL fue similar entre tratamientos ($p > 0.05$). Sin embargo, el nivel de c-LDL en T2, T3 y T4 fue menor en 14.14, 5.71 y 11.05% con relación a T1, mientras que la concentración de c-HDL de T2, T3 y T4 se incrementó en 10.7, 18.5 y 5.9%, respectivamente, en comparación con T1, determinando que el riesgo cardiovascular, expresado por los índices CT/c-HDL sea menor en los tratamientos T2, T3 y T4 con relación a T1 ($p = 0.0019$). Asimismo el índice c-LDL/c-HDL fue menor en los tratamientos suplementados con EMM ($p = 0.0025$). Por otra parte, la suplementación dietaria con EMM no modificó la concentración sérica de glucosa (Figura 3).

DISCUSIÓN

Se ha informado de los efectos benéficos que los flavonoides, entre ellos las antocianinas, ejercen sobre la producción avícola (Kamboh *et al.*, 2019). Así, la suplementación con 0.15 y 0.75% de un EMM, como fuente de antocianinas, mejoró el peso de las aves a los 56 días de edad, con relación al grupo control no tratado. En este contexto, se ha atribuido a los flavonoides la mejora del peso final y rendimiento de la canal en pollos de engorde al incluir 10 y 20 g de semilla de uva/kg de alimento (Abu Hafsa e Ibrahim, 2018). En contraste, no se reportaron modificaciones en el peso final y las características de la carcasa de estas aves al suplementarlas con otras fuentes de flavonoides, como el extracto de arándano adicionado a razón de 40, 80 y 160 mg/kg de

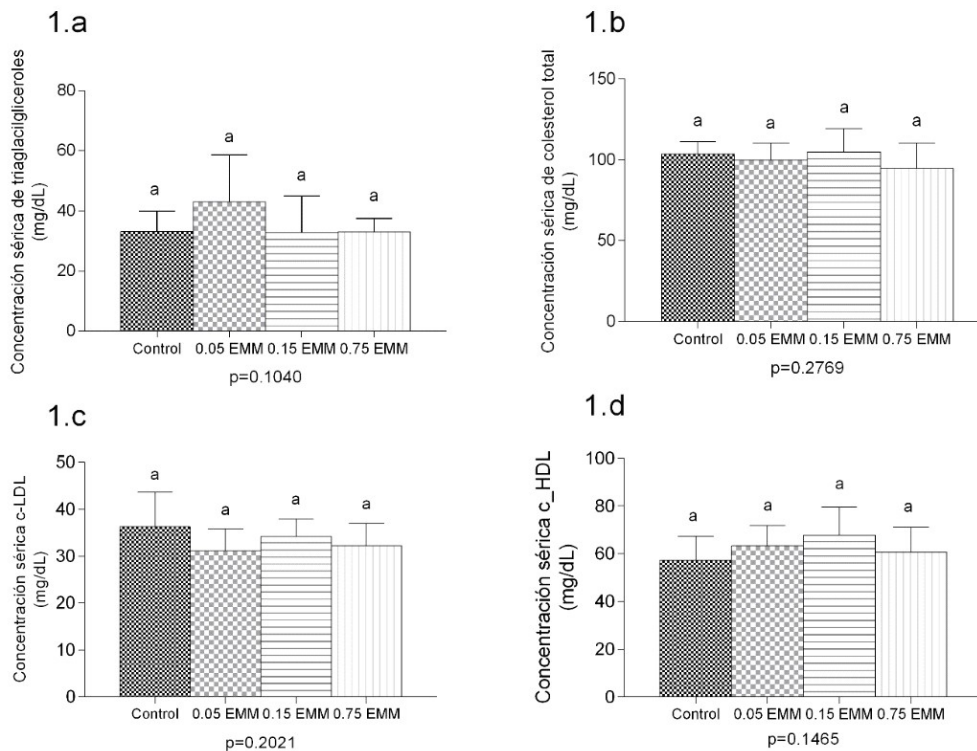


Figura 2. Perfil lipídico sérico de pollos de carne suplementados con extracto de maíz morado (EMM). Concentración sérica de triglicéridos (1.a), colesterol total (1.b), c-LDL (1.c) y c-HDL (1.d) Los valores representan el promedio \pm DE de 10 pollos macho por tratamiento. Los resultados de los grupos suplementados con EMM fueron estadísticamente similares a los del grupo control

alimento (Leusink *et al.*, 2010), 1% de polvo de té verde (Chen *et al.*, 2019) y 36.66 mg/kg de antocianinas de trigo morado/kg (Stastnik *et al.*, 2016). El rendimiento de la canal en el presente experimento no se modificó por efecto de la suplementación con un EMM.

Los flavonoides ejercen efectos multidimensionales sobre la salud (Kamboh *et al.*, 2015), lo que reduciría la susceptibilidad de las aves frente a factores causantes de estrés oxidativo y con ello a procesos inflamatorios, muerte celular, daño tisular e incremento de la peroxidación lipídica, todo

lo cual deteriora la respuesta inmune y el comportamiento productivo (Nijveldt *et al.*, 2001; Akbarian *et al.*, 2016; Farahat *et al.*, 2016). Adicionalmente, se ha informado del efecto protector de las antocianinas frente a los efectos deletéreos del estrés calórico en aves (Changxing *et al.*, 2018), ya que la zona termoneutral de pollos de engorde se reduce al aumentar su edad (Aluwong *et al.*, 2017). Así, la suplementación con el EMM probablemente explique, bajo las condiciones de la presente investigación, su efecto sobre el peso de aves al día 56, pero no en individuos más jóvenes.

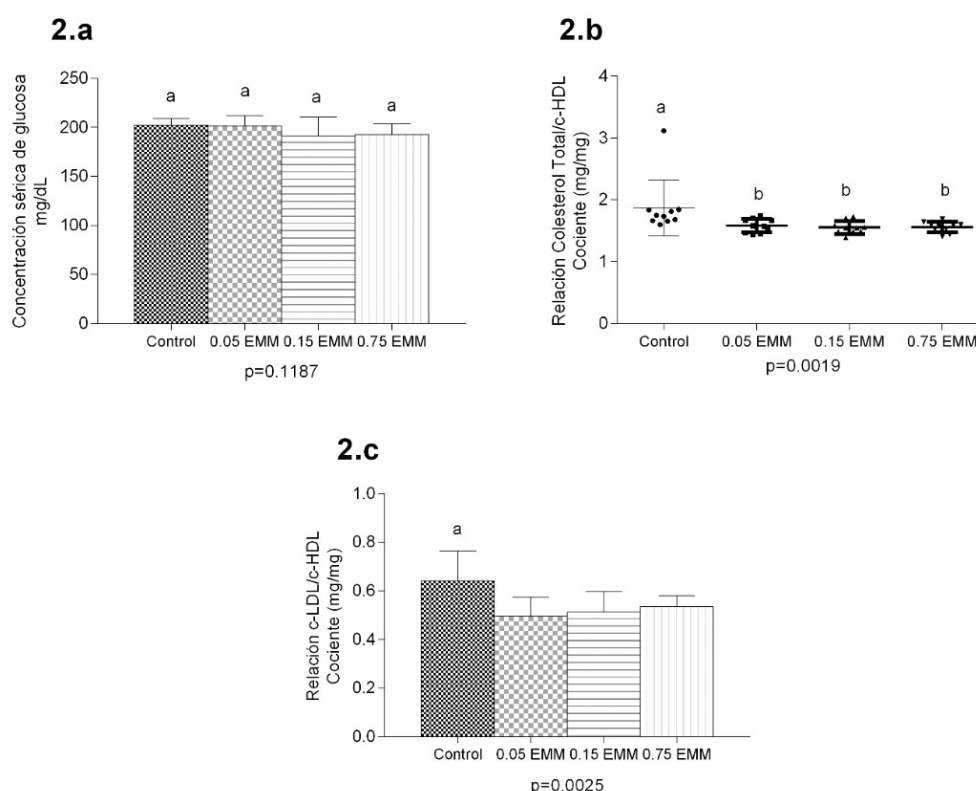


Figura 3. Concentración de glucosa e índices de riesgo cardiovascular en pollos de carne suplementados con extracto de maíz morado (EMM). Concentración sérica de glucosa (2a) e índices de riesgo cardiovascular: relación CT/c-HDL (2b) y relación LDL/HDL (2c). Los valores representan el promedio \pm DE de pollos macho por tratamiento. Los grupos no etiquetados con «a» son significativamente diferentes de la media del nivel de control ($p < 0.05$)

La suplementación con EMM no redujo el peso relativo de la grasa abdominal, tal y como fue reportado por Reyna *et al.* (2018) en ratas lactantes. Sin embargo se ha reportado la reducción de grasa abdominal en pollos de engorde tras la suplementación con compuestos ricos en flavonoides, como semillas de uva (Abu Hafsa e Ibrahim, 2018), la adición de 1% de polvo de té verde (Chen *et al.*, 2019) y la sustitución parcial de maíz amarillo por maíz morado (Amnueysit *et al.*, 2010). Al respecto se ha señalado que flavonoides como las catequinas reducen la deposición de grasa abdominal en pollos de

engorde, al suprimir la lipogénesis y estimular la lipólisis y oxidación de ácidos grasos (Huang *et al.*, 2015).

Múltiples factores bióticos y abióticos determinan que el perfil de flavonoides de diversos alimentos, como el maíz morado y las semillas de uva sean diferentes (Pedreschi y Cisneros-Cevallos, 2007; Cetinkaya *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018) determinando diferentes respuestas biológicas en las aves (Kamboh *et al.*, 2019). Otros factores, como el elevado contenido de fibra en las semillas de uva (Hajati *et al.*, 2015) probablemente

expliquen las diferencias en las características de la canal de los pollos de engorde observadas en este estudio.

La ausencia de modificaciones en el perfil lipídico de pollos de engorde tras suplementar con un EMM concuerda con Farahat *et al.* (2016), quienes no encontraron diferencias en la concentración sérica de colesterol total, c-HDL, c-LDL y c-VLDL al suplementar un extracto de té verde, rico en polifenoles. Así mismo Toufektsian *et al.* (2011) indican que la ingesta de antocianinas provenientes de un maíz con elevado tenor de antocianinas no modificó la concentración de triglicéridos, colesterol total y c-HDL en ratas. En contraste, Liu *et al.* (2016) señaló que la suplementación con antocianinas redujo los niveles séricos de CT, TAG y c-LDL e incrementó la concentración de c-HDL en individuos dislipidémicos, mientras que la suplementación con flavonoides (genisteína y hesperidina) ocasionó una reducción dosis dependiente de colesterol total, triglicéridos y c-LDL en pollos de engorde (Kamboh y Zhu, 2013).

Es posible que las antocianinas incidan sobre el perfil lipídico por diversos mecanismos; así, la reducción de triglicéridos en individuos diabéticos tras la suplementación con estos flavonoides se ha asociado con la disminución de apo B y apo C-III (Li *et al.*, 2015), mientras que en pacientes dislipidémicos incrementa la concentración plasmática de c-HDL y reduce los niveles de c-LDL mediante la inhibición de la proteína transportadora de ésteres de colesterol (CETP) (Qin *et al.*, 2009). Adicionalmente, la suplementación con antocianinas redujo la concentración de colesterol total en hámsters al incrementar la excreción fecal de ácidos biliares, reducir la absorción de esteroides y disminuir la expresión génica de HMG-CoA reductasa, enzima limitante en la síntesis de colesterol (Liang *et al.*, 2013). Es posible, entonces, que el perfil lipídico de las aves pueda ser influido por la composición de los flavonoides suplementados y la dosis utilizada.

Aunque la suplementación dietaria con un EMM no modificó el perfil lipídico de los pollos de engorde, mejoró la relación CT/c-HDL y c-LDL/c-HDL. Altos niveles de c-LDL están asociados con elevado riesgo de enfermedades cerebrovasculares, mientras elevadas concentraciones de c-HDL ejercen un efecto protector frente a estas dolencias (Reis *et al.*, 2016), puesto que la infiltración de c-LDL en el endotelio tiende a oxidarse y formar c-LDL oxidado (oxLDL), conduciendo a la formación de células espumosas y placas de ateroma (Gormaz *et al.*, 2016; Reis *et al.*, 2016), en tanto que el efecto protector de HDL frente a la aterosclerosis radica en el transporte reverso del colesterol, removiendo el exceso de colesterol de los macrófagos en la pared arterial, hacia el hígado, previniendo la formación de las células espumosas y el desarrollo de aterosclerosis (Barter, 2011). En este contexto se ha determinado que los cocientes CT/c-HDL y c-LDL/c-HDL son mejores predictores de enfermedad cardiovascular que el uso aislado de parámetros como c-LDL, c-HDL y CT (Millán *et al.*, 2009).

El pollo parrillero es particularmente susceptible a EH, puesto que presenta elevada lipogénesis *de novo* en el hígado, que también está expuesto a los ácidos grasos dietarios debido al rudimentario sistema linfático de estas aves, por lo que, los portomicrovasos desembocan en la circulación portal (Hermier, 1997). También elevadas temperaturas, como las registradas en la presente investigación (superiores a 30 °C durante lapsos superiores a 6 h diarias) podrían ocasionar estrés oxidativo, lo que reduciría la tasa de β -oxidación y estimularía la lipogénesis (Akbarian *et al.*, 2016; Jastrebski *et al.*, 2017).

La proporción de esteatosis hepática se redujo significativamente en pollos de engorde suplementados con un EMM. Al respecto se ha sugerido que las antocianinas ejercen un efecto protector frente a la esteatosis hepática (Valenti *et al.*, 2013), al reducir la lipogénesis e incrementar la β -oxidación, y

disminuir el estrés oxidativo y procesos inflamatorios (Aguirre *et al.*, 2014). Similar a otros compuestos fenólicos, se ha propuesto que cianidina 3 glucósido, la antocianina más abundante en el maíz morado (Pedreschi y Cisneros Zevallos, 2007) promueve la actividad de AMPK, incrementando la tasa de β -oxidación y reduciendo la lipólisis en células HepG2 (Guo *et al.*, 2012). Así mismo, se ha reportado que la suplementación con un extracto de maíz morado reduce la expresión génica de SREPB-1c en el hepatocito de ratas (Reyna *et al.*, 2018). Adicionalmente, las antocianinas incrementan la actividad de las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GPx), reduciendo el estrés oxidativo (Ucar *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2016) y procesos inflamatorios y, con ello, lesiones posteriores a la infiltración grasa del hígado (Loza-Medrano *et al.*, 2018).

CONCLUSIÓN

Los resultados sugieren que la adición de un extracto de maíz morado reduce el riesgo aterogénico y de esteatosis hepática en pollos parrilleros, utilizados como modelos de estas enfermedades, sin afectar el desempeño productivo de las aves.

LITERATURA CITADA

1. **Abu Hafsa SH, Ibrahim SA. 2017.** Effect of dietary polyphenol-rich grape seed on growth performance, antioxidant capacity and ileal microflora in broiler chicks. *J Anim Physiol An N* 102: 268-275. doi: 10.1111/jpn.12688
2. **Aguilar EC, Queiroz M, Oliveira DA, Oliveira NJ. 2011.** Serum lipid profile and hepatic evaluation in mice fed diet containing pequi nut or pulp (*Caryocar brasiliense* Camb). *Food Sci Technol-Brazil* 31: 879-833. doi: 10.1590/S0101-20612011000400008
3. **Aguirre L, Portillo MP, Hijona E, Bujanda L. 2014.** Effects of resveratrol and other polyphenols in hepatic steatosis. *World J Gastroentero* 20: 7366-7380. doi: 10.3748/wjg.v20.i23.7366
4. **Akbarian A, Michiels J, Degroote J, Majdeddin M, Golian A, De Smet S. 2016.** Association between heat stress and oxidative stress in poultry; mitochondrial dysfunction and dietary interventions with phytochemicals. *J Anim Sci Biotechno* 7: 37. doi: 10.1186/s40104-016-0097-5
5. **Aluwong T, Sumanu VO, Ayo JO, Ocheja BO, Zakari FO, Minka N. 2017.** Daily rhythms of cloacal temperature in broiler chickens of different age groups administered with zinc gluconate and probiotic during the hot-dry season. *Physiol Rep* 5: e13314. doi: 10.14814/phy2.13314
6. **Amnueysit P, Tatakul T, Chalermnan N, Amnueysit K. 2010.** Effects of purple field corn anthocyanins on broiler heart weight. *As J Food Ag-Ind* 3: 245-253.
7. **Ayala I, García B, Doménech-Asensi G, Castells MT, Valdés M. 2005.** Use of the chicken as an experimental animal model in atherosclerosis. *Avian Poult Biol Rev* 16: 151-159. doi: 10.3184/147020605783437968
8. **Balaji M, Ganjayj MS, Hanuma Kumar GE, Parim BN, Mopuri R, Dasari S. 2016.** A review on possible therapeutic targets to contain obesity: the role of phytochemicals. *Obes Res Clin Pract* 10: 363-380. doi: 10.1016/j.orcp.-2015.12.004
9. **Barter P. 2011.** HDL-C: role as a risk modifier. *Atherosclerosis Supp* 12: 267-270. doi: 10.1016/S1567-5688(11)70885-6
10. **Bhaswant M, Shafie SR, Mathai ML, Mouatt P, Brown L. 2017.** Anthocyanins in chokeberry and purple maize attenuate diet-induced metabolic syndrome in rats. *Nutrition* 41: 24-31. doi: 10.1016/j.nut.2016.12.009

11. **Buqué X, Aspichueta P, Ochoa B. 2008.** Fundamento molecular de la esteatosis hepática asociada a la obesidad. *Rev Esp Enferm Dig* 100: 565-578.
12. **Changxing L, Chenling M, Alagawany M, Jianhua L. 2018.** Health benefits and potential applications of anthocyanins in poultry feed industry. *Worlds Poultry Sci J* 74: 251-264. doi: 10.1017/S0043933918000053
13. **Cetinkaya H, Kulak M, Karaman M, Karaman HS, Kocer F. 2017.** Flavonoid accumulation behavior in response to the abiotic stress: can a uniform mechanism be illustrated for all plants? In: Justino J (ed). *Flavonoids - from biosynthesis to human health*. IntechOpen. p 151-165.
14. **Chen WK, Wang Y, Gao XT, Yang XH, He F, Duan CQ, Wang J. 2018.** Flavonoid and aromatic profiles of two *Vitis vinifera* L teinturier grape cultivars. *Aust J Grape Wine R* 24: 379-389. doi: 10.1111/ajgw.12336
15. **Chen X, Zhu W, Liu X, Li T, Geng Z, Wan X. 2019.** The growth performance, meat quality, and gut bacteria of broilers raised with or without antibiotics and green tea powder. *J Appl Poultry Res* 28:712-721. doi: 10.3382/japr/pfz023
16. **Crespo N, Esteve-García E. 2001.** Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry Sci* 80: 71-78. doi: 10.1093/ps/80.1.71
17. **Farahat M, Abdallah F, Abdel-Hamid T, Hernandez-Santana A. 2016.** Effect of supplementing broiler chicken diets with green tea extract on the growth performance, lipid profile, antioxidant status and immune response. *Br Poultry Sci* 57: 714-722. doi: 10.1080/00071668.2016.1196339
18. **Fouad AM, El-Senousey HK. 2014.** Nutritional factors affecting abdominal fat deposition in poultry: a review. *Asian-Austral J Anim* 27: 1057-1068. doi: 10.5713/ajas.2013.13702
19. **[FEDNA] Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2019.** Ingredientes para piensos. [Internet]. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo>
20. **Gormaz JG, Valls N, Sotomayor C, Turner T, Rodrigo R. 2016.** Potential role of polyphenols in the prevention of cardiovascular diseases: molecular bases. *Curr Med Chem* 23: 115-128. doi: 10.2174/0929867323666151127201732
21. **Guo H, Liu G, Zhong R, Wang Y, Xia M. 2012.** Cyanidin-3-O- β -glucoside regulates fatty acid metabolism via an AMP-activated protein kinase-dependent signaling pathway in human HepG2 cells. *Lipids Health Dis* 11: 10. doi: 10.1186/1476-511X-11-10
22. **Hajati H, Hassanabadi A, Golian AG, Nassiri-Moghaddam, H, Nassiri M. 2015.** The effect of grape seed extract and vitamin c feed supplements on carcass characteristics, gut morphology and ileal microflora in broiler chickens exposed to chronic heat stress. *Iran J Appl Anim Sci* 5: 155-165
23. **Hermier D. 1997.** Lipoprotein metabolism and fattening in poultry. *J Nutr* 127(Suppl 5): 805S-808S. doi: 10.1093/jn/127.5.805S
24. **Hocking PM. 2014.** Unexpected consequences of genetic selection in broilers and turkeys: problems and solutions. *Br Poultry Sci* 55: 1-12. doi: 10.1080/00071668.2014.877692
25. **Huang J, Zhang Y, Zhou Y, Wan X, Zhang J. 2015.** Effects of epigallocatechin gallate on lipid metabolism and its underlying molecular mechanism in broiler chickens *J Anim Physiol An N* 99: 719-727. doi: 10.1111/jpn.12276
26. **Huang J, Zhang Y, Zhou Y, Zhang Z, Xie Z, Zhang J, Wan X. 2013.** Green tea polyphenols alleviate obesity in broiler chickens through the regulation of lipid-metabolism-related genes and transcription factor expression. *J Agr Food Chem* 61: 8565-8572. doi: 10.1021/jf402004x

27. **Hwang YP, Choi JH, Han EH, Kim HG, Wee JH, Jung KO, Jung KH, Kwon KL, Jeong TC, Chung YC, Jeong HG. 2011.** Purple sweet potato anthocyanins attenuate hepatic lipid accumulation through activating adenosine monophosphate-activated protein kinase in human HepG2 cells and obese mice. *Nutr Res* 31: 896-906. doi: 10.1016/j.nutres.2011.09.026
28. **Jastrebski SF, Lamont SJ, Schmidt CJ. 2017.** Chicken hepatic response to chronic heat stress using integrated transcriptome and metabolome analysis. *Plos One* 12: e0181900. doi: 0.1371/journal.pone.0181900
29. **Ji B, Middleton JL, Ernest B, Saxton AM, Lamont SJ, Campagna SR, Voy BH. 2014.** Molecular and metabolic profiles suggest that increased lipid catabolism in adipose tissue contributes to leanness in domestic chickens. *Physiol Genomics* 46: 315-327. doi: 10.1152/physiolgenomics.00163.2013
30. **Kamboh AA, Zhu WY. 2013.** Effect of increasing levels of bioflavonoids in broiler feed on plasma anti-oxidative potential, lipid metabolites, and fatty acid composition of meat. *Poultry Sci* 92: 454-461. doi: 10.3382/ps.2012-02584
31. **Kamboh AA, Arain MA, Mughal MJ, Zaman A, Arain ZM, Soomro AH. 2015.** Flavonoids: health promoting phytochemicals for animal production - a review. *J Anim Health Prod* 3: 6-13. doi: 10.14737/journal.jahp/2015/3.1.6.13
32. **Kamboh AA, Leghari RA, Khan MA, Kaka U, Naseer M, Sazili AQ, Malhi KK. 2019.** Flavonoids supplementation - an ideal approach to improve quality of poultry products. *Worlds Poultry Sci J* 75: 115-126. doi: 10.1017/S004393391-8000703
33. **Kim G, Park HJ, Woo J, Kim M, Koh P, Min W, Ko Y, et al J. 2012.** *Citrus aurantium* flavonoids inhibit adipogenesis through the Akt signaling pathway in 3T3-L1 cells. *Complement Altern M* 12: 31. doi: 10.1186/1472-6882-12-31
34. **Leusink G, Rempel H, Skura B, Berkyto M, White W, Yang Y, et al. 2010.** Growth performance, meat quality, and gut microflora of broiler chickens fed with cranberry extract. *Poultry Sci* 89: 1514-1523. doi: 10.3382/ps.2009-00364
35. **Li D, Zhang Y, Liu Y, Sun R, Xia M. 2015.** Purified anthocyanin supplementation reduces dyslipidemia, enhances antioxidant capacity, and prevents insulin resistance in diabetic patients. *J Nutr* 145: 742-748. doi: 10.3945/jn.114.205674
36. **Liang Y, Chen J, Zuo Y, Ma KY, Jiang Y, Huang Y, Chen ZY. 2013.** Blueberry anthocyanins at doses of 0.5 and 1% lowered plasma cholesterol by increasing fecal excretion of acidic and neutral sterols in hamsters fed a cholesterol-enriched diet. *Eur J Nutr* 52: 869-875. doi: 10.1007/s00394-012-0393-6
37. **Liu C, Sun J, Lu Y, Bo Y. 2016.** Effects of anthocyanin on serum lipids in dyslipidemia patients: a systematic review and meta-analysis. *Plos One* 11: e0162089. doi: 10.1371/journal.pone.0162089
38. **Lizarzaburu JC. 2013.** Síndrome metabólico: concepto y aplicación práctica. *An Fac Med* 74: 315-320.
39. **Loza-Medrano SS, Baiza-Gutman LA, Ibáñez-Hernández MA, Cruz-López M, Díaz-Flores M. 2018.** Alteraciones moleculares inducidas por fructosa y su impacto en las enfermedades metabólicas. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* 56: 491-504.
40. **Marangoni F, Corsello G, Cricelli C, Ferrara N, Ghiselli A, Lucchini L, Poli A. 2015.** Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: an Italian consensus document. *Food Nutr Res* 59: 27606. doi: 10.3402/fnr.v59.27606
41. **Millán J, Pintó X, Muñoz A, Zúñiga M, Rubiés-Prat J, Pallardo LP, Masana L, et al. 2009.** Lipoprotein ratios: physiological significance and clinical usefulness in cardiovascular prevention. *Vasc Health Risk Manag* 5: 757-765

42. **Nakajima VM, Madeira JV, Macedo GA, Macedo JA. 2016.** Biotransformation effects on anti lipogenic activity of citrus extracts. *Food Chem* 197: 1046-1053. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.11.109
43. **Navidshad B, Deldar H, Pourrahimi G. 2010.** Correlation between serum lipoproteins and abdominal fat pad in broiler chickens. *Afr J Biotechnol* 9: 5779-5783.
44. **Nijveldt RJ, van Nood E, van Hoorn DEC, Boelens PG, van Norren K, van Leeuwen PAM. 2001.** Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *Am J Clin Nutr* 74: 418-425. doi: 10.1093/ajcn/74.4.418
45. **[OCDE, FAO] Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2017.** Perspectivas agrícolas. [Internet]. Disponible en https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/ocde-fao-perspectivas-agricolas-2017-2026_agr_outlook-2017-es
46. **Pedreschi R, Cisneros-Zevallos L. 2007.** Phenolic profiles of Andean purple corn (*Zea mays* L). *Food Chem* 100: 956-963. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.11.004
47. **Pojer E, Mattivi F, Johnson D, Stockley CS. 2013.** The case for anthocyanin consumption to promote human health: a review. *Compr Rev Food Sci F* 12: 483-508. doi: 10.1111/1541-4337.12024
48. **Qin Y, Xia M, Ma J, Hao Y, Liu J, Mou H, Cao L, Ling W. 2009.** Anthocyanin supplementation improves serum LDL- and HDL-cholesterol concentrations associated with the inhibition of cholesteryl ester transfer protein in dyslipidemic subjects. *Am J Clin Nutr* 90: 485-492. doi: 10.3945/ajcn.2009.27814
49. **Reis JF, Monteiro VV, de Souza Gomes R, do Carmo MM, da Costa GV, Ribeira PC, Monteiro MC. 2016.** Action mechanism and cardiovascular effect of anthocyanins: a systematic review of animal and human studies. *J Transl Med* 14: 315. doi: 10.1186/s12967-016-1076-5
50. **Reyna S, Torres G, Valenzuela R, Rincón-Cervera MA, Villanueva ME. 2018.** Adding a purple corn extract in rats supplemented with chia oil decreases gene expression of SREBP-1c and retains $\Delta 5$ and $\Delta 6$ hepatic desaturase activity, unmodified the hepatic lipid profile. *Prostag Leukotr Ess* 132: 1-7. doi: 10.1016/j.plefa.2018.03.005
51. **Saxena VK, Kolluri G. 2018.** Selection methods in poultry breeding: from genetics to genomics. In: Liu X (ed). *Application of genetics and genomics in poultry science*: IntechOpen. p 19-32.
52. **Shahin KA, Abdel-Azeem F. 2006.** Effects of breed, sex and diet and their interactions on fat deposition and partitioning among depots of broiler chickens. *Arch Tierzucht* 49: 181-193. doi: 10.5194/aab-49-181-2006
53. **Stastnik O, Karasek F, Roztocilova A, Dolezal P, Mrkvicova E, Pavlata L. 2016.** The influence of feeding wheat with purple grain to performance and biochemical parameters of broiler chickens. In: *International PhD Students Conference on MendelNet*.
54. **Takikawa M, Inoue S, Horio F, Tsuda T. 2010.** Dietary anthocyanin-rich bilberry extract ameliorates hyperglycemia and insulin sensitivity via activation of AMP-activated protein kinase in diabetic mice. *J Nutr* 140: 527-533. doi: 10.3945/jn.109.118216
55. **Thornton PK. 2010.** Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos T R Soc B* 365: 2853-2867. doi: 10.1098/rstb.2010.0134

56. **Toufektsian MC, Salen P, Laporte F, Tonelli C, de Lorgeril M. 2011.** Dietary flavonoids increase plasma very long-chain (n-3) fatty acids in rats. *J Nutr* 141: 37-41. doi: 10.3945/jn.110.127225
57. **Ucar F, Sezer S, Erdogan S, Akyol S, Armutcu F, Akyol O. 2013.** The relationship between oxidative stress and nonalcoholic fatty liver disease: its effects on the development of nonalcoholic steatohepatitis. *Redox Rep* 18: 127-133. doi: 10.1179/1351000213Y.0000000050
58. **Valenti L, Riso P, Mazzocchi A, Porrini M, Fargion S, Agostoni C. 2013.** Dietary anthocyanins as nutritional therapy for nonalcoholic fatty liver disease. *Oxid Med Cell Longev* 2013: 145421. doi: 10.1155/2013/145421
59. **Wang G, Kim WK, Cline MA, Gilbert ER. 2017.** Factors affecting adipose tissue development in chickens: A review. *Poultry Sci* 96: 3687-3699. doi: 10.3382/ps/pex184
60. **Wu T, Yin J, Zhang G, Long H, Zheng X. 2016.** Mulberry and cherry anthocyanin consumption prevents oxidative stress and inflammation in diet-induced obese mice. *Mol Nutr Food Res* 60: 687-694. doi: 10.1002/mnfr.2015-00734