

Efecto de la suplementación con ractopamina y Cr-levadura sobre los niveles de leptina, variables hematológicas y el perfil de ácidos grasos en cerdos

Effect of ractopamine and Cr-yeast supplementation on leptin levels, haematological variables and fatty acid profile in pigs

Luis Guillermo Trujillo¹, Darwin Yovanny Hernández Herrera^{2*},
Juan Carlos Rincón Flórez²

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la ractopamina (RAC) y Cromo-levadura (Cr-Lev) sobre el perfil de ácidos grasos, variables hematológicas y niveles de leptina sérica en cerdos en finalización. Para ello, 20 cerdos de 63.2 ± 7.6 kg y 118 días de edad fueron asignados a cuatro tratamientos durante los últimos 30 días del engorde. Los tratamientos fueron T1: grupo control con alimento base; T2: con adición de 10 ppm/kg de RAC, y T3 y T4 con 0.2 y 0.4 ppm/kg de Cr-Lev sin adición de RAC, respectivamente. Se cuantificaron los niveles de leptina sérica a los 15 y 30 días, el espesor de grasa dorsal al día 30 y análisis hematológicos a los 0, 15 y 30 días del estudio. Además, se determinó el perfil de ácidos grasos en la carne mediante cromatografía de gases. Se usó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Los tratamientos afectaron la concentración de leptina sérica a los 15 días ($p < 0.05$), pero no a los 30. La concentración de leptina entre días de medición dentro de tratamientos no mostró diferencias significativas. Las variables hematológicas se mantuvieron constantes y el espesor de la grasa dorsal no

¹ Grupo de Investigación Producción Pecuaria Sostenible, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

² Grupo de Investigación en Recursos Zoogenéticos, Departamento de Ciencia Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Colombia

* E-mail: dyhernandezh@unal.edu.co

Recibido: 20 de enero de 2023

Aceptado para publicación: 10 de agosto de 2023

Publicado: 31 de octubre de 2023

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

varió entre tratamientos. El perfil de ácidos grasos de la carne varió entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo los menores valores en T2 y los mayores en T4, especialmente los ácidos linoleico y araquidónico. Los ácidos grasos se correlacionaron ($r > 0.6$) positivamente entre sí, pero no con el espesor de la grasa dorsal, ni con la leptina.

Palabras clave: aditivo, calidad de carne, cromo orgánico, engorde, parámetros sanguíneos

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of ractopamine (RAC) and chromium-yeast (Cr-Lev) on the fatty acid profile, haematological parameters and serum leptin levels in finishing pigs. For this, 20 pigs of 63.2 ± 7.6 kg and 118 days of age were assigned to four treatments during the last 30 days of fattening. The treatments were T1: control group with basic food; T2: addition of 10 ppm/kg of RAC, and T3 and T4 with 0.2 and 0.4 ppm/kg of Cr-Lev without addition of RAC, respectively. Serum leptin levels were quantified at days 15 and 30, backfat thickness at day 30, and haematological analysis at days 0, 15, and 30 of the study. In addition, the profile of fatty acids in the meat was determined by gas chromatography. A completely randomized design with five replicates was used. The treatments affected the serum leptin concentration at 15 days ($p < 0.05$), but not at 30 days. Leptin concentrations between measurement days within treatments did not show significant differences. The haematological values remained constant and the thickness of the backfat did not vary between treatments. The fatty acid profile of the meat varied between treatments ($p < 0.05$), with the lowest values in T2 and the highest in T4, especially linoleic and arachidonic acids. Fatty acids were positively correlated ($r > 0.6$) with each other, but not with backfat thickness, nor with leptin.

Key words: additive, meat quality, organic chromium, fattening, blood parameters

INTRODUCCIÓN

La leptina es una hormona proteica sintetizada y secretada por el tejido adiposo, la cual ha demostrado regular la ingesta de alimento en varias especies, incluyendo al cerdo (Al-Hussaniy *et al.*, 2021). Su descubrimiento ha mejorado el entendimiento de la relación entre el tejido adiposo y la homeostasis energética (Lv *et al.*, 2019). Es capaz de inhibir la ingesta de alimentos, aumentar el gasto energético, mejorar la eficiencia del metabolismo de las grasas y promover la hidrólisis de las grasas para limitar su almacenamiento; además, se encuentra relacionada con diferentes procesos inmunológicos (Kunová *et al.*, 2021; Mármol-Sánchez *et al.*, 2021; Solé *et al.*, 2021).

El papel de la leptina a nivel productivo es determinante, influyendo en el crecimiento y la composición de la canal del cerdo (Getmantseva *et al.*, 2017; Balatsky *et al.*, 2022). El contenido de grasa y su distribución en la canal porcina son características importantes de la calidad de la carne (Tartrakoon *et al.*, 2016; Davoli *et al.*, 2019). La leptina y los genes receptores de leptina juegan un importante rol en la regulación de la deposición de grasa (Balatsky *et al.*, 2022) y, por lo tanto, en la aceptación de la carne en el mercado. Los cerdos con carcasas grasosas se caracterizan por un mayor nivel de mRNA de leptina que cerdos con carcasas más magras (Benítez *et al.*, 2018). Las concentraciones séricas de leptina se incrementan con la edad y la adiposidad en cerdos (Piórkowska *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Ingredientes utilizados en la formulación de las dietas experimentales

Ingredientes (%)	T1	T2	T3	T4
Maíz USA	58.44	58.55	58.43	58.42
Torta de soya importada	20.69	20.74	20.69	20.69
Galleta	8.00	8.00	8.00	8.00
Mogolla trigo	6.12	5.91	6.12	6.12
Aceite recuperado	3.50	3.50	3.50	3.50
CaCO ₃	1.05	1.04	1.05	1.05
BM Cerdos Nutritec	0.80	0.80	0.80	0.80
Lisina	0.43	0.42	0.43	0.43
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30
Fosbicálcico	0.27	0.27	0.27	0.27
Treonina	0.18	0.18	0.18	0.18
DL-Metionina	0.17	0.17	0.17	0.17
Cloruro de colina 60%	0.05	0.05	0.05	0

La industria porcina ha buscado alternativas que permiten reducir la grasa y aumentar la deposición de músculo, proceso en el cual se espera un efecto sobre la expresión y los niveles séricos de leptina. Algunos de estos aditivos como la ractopamina (4-[3-[[2-hidroxi-2-(4-hidroxifenil)-etil]amino]butil]fenol) han mostrado efectos importantes para la producción y la deposición de grasas, pero están prohibidas en cerca de 160 países del mundo (Niño *et al.*, 2017). Otras alternativas, como la suplementación con cromo orgánico han mostrado efectos importantes en la deposición de grasa y el rendimiento productivo (Sales y Janèik, 2011). Este oligoelemento esencial desempeña un papel clave en el metabolismo de la glucosa, las proteínas y las grasas en los tejidos animales, ya que es un componente del factor de tolerancia a la glucosa, que aumenta la señalización de la insulina y estimula la captación de glucosa y aminoácidos por parte de las células diana (Sanches *et al.*, 2021).

Una deficiencia nutricional de cromo puede causar intolerancia a la glucosa, aumentar la grasa corporal y los niveles sanguí-

neos de insulina, colesterol, triacilglicérols, y reducir la proteína corporal (Untea *et al.*, 2017). Sin embargo, los reportes que establecen el efecto de estos aditivos sobre los niveles de leptina sérica y el perfil de ácidos grasos son escasos (Untea *et al.*, 2017; Alencar *et al.*, 2021), habiéndose observado resultados contradictorios con diferentes fuentes de suplementación, sexo, manejo, alimentación y categoría, entre otras variables (Gebhardt *et al.*, 2016; Alencar *et al.*, 2021). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la ractopamina y el cromo-levadura sobre el perfil de ácidos grasos, variables hematológicas y los niveles de leptina sérica en cerdos en finalización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización, Animales y Manejo

El estudio se realizó en la porcícola comercial «Los Alpes» (N4°56'48.4" W75°55'25.9") ubicada en el municipio de Balboa (Risaralda, Colombia), con tempera-

tura promedio de 20 °C y a una altitud de 1150 msnm. Se emplearon 20 cerdos de la línea Topigs Traxx x Topigs 40 (16 hembras y 4 machos) distribuidos al azar en cuatro grupos experimentales. Los animales tenían un peso de 63.2±7.6 kg y 118 días de edad al inicio de la fase experimental.

Cada grupo de animales fue alojado en un corral con piso de concreto de 11 m². Cada corral contó con un comedero tipo canoa (2.5 m lineales) y un bebedero tipo chupete (2 L/min). Las prácticas de manejo animal fueron el estándar para el sistema de producción, que incluían la recolección de excretas y lavado del corral cada mañana, raciones de alimento ofrecidas a las 07:00, 13:00 y 18:00 horas, y vigilancia sanitaria diaria al finalizar la jornada.

Dietas y Grupos Experimentales

Se formularon dietas isocalóricas (3255 kcal/kg) e isoproteicas (16% PC) que cumplían con los requerimientos nutricionales para la etapa de finalización (Rostagno *et al.*, 2017). La base del alimento balanceado fue igual en todos los casos. La ractopamina (Pig light 4000®) y el cromo-levadura (Levacrom) se adicionaron a la micromezcla, previo a su mezcla con el núcleo base de la formulación (Cuadro 1).

Los tratamientos fueron:

- T1: dieta control negativo, alimento balanceado de finalización, sin suplementación de ractopamina, ni de cromo-levadura,
- T2: adición de 10 ppm/kg de ractopamina como suplemento al alimento balanceado (valor usado en las producciones comerciales),
- T3: adición de 0.2 ppm/kg de cromo orgánico de levadura como suplemento al alimento balanceado, sin adición de ractopamina (Valor recomendado comercialmente),

- T4: adición de 0.4 ppm/kg de cromo orgánico de levadura como suplemento al mismo alimento balanceado, sin adición de ractopamina (Valor mayor al comercial).

Muestras de Sangre

La fase de campo del experimento tuvo una duración de 30 días, tiempo típico para la fase de finalización del engorde. Se colectaron dos muestras de sangre por animal los días 0, 15 y 30 del experimento por punción de la vena yugular usando agujas calibre 16 en tubos BD Vacutainer, uno sin anticoagulante y el otro con anticoagulante EDTA (7.2 mg). Las muestras, se almacenaron en una nevera portátil a 4 °C mientras se transportaron hasta el laboratorio multifuncional de ciencias animales de la Universidad Tecnológica de Pereira para su procesamiento.

Niveles de Leptina

Los niveles de leptina en sangre se evaluaron a los 15 y 30 días de la fase experimental mediante ELISA. Para ello, la muestra de sangre sin anticoagulante fue centrifugada (Spectrafuge 6C, Labnet®, Inglaterra) a 3000 rpm durante 15 minutos. Las pruebas se realizaron en un equipo de ELISA cuantitativa 5 en 1 Crocodile (Titertek-Berthold, Alemania) empleando el kit comercial Pig Leptin Elisa MyBiosource (MyBiosource, CA, USA), siguiendo las recomendaciones del fabricante. A partir de las concentraciones estándar y sus densidades ópticas, se realizó la curva de calibración y mediante el paquete *drc* del programa R (R Core Team, 2021), se realizó un modelo para estimar las concentraciones de leptina en sangre. Los resultados se expresan en ng/ml.

Grasa Dorsal

El espesor de grasa dorsal se midió a todos los animales al día 30 del estudio en el punto P2 (región de inserción de la última

vértebra torácica con la primera lumbar, a 6 cm de la línea dorsal). Se empleó una sonda lineal de 12 cm a 7.5 MHz en un ecógrafo Esaote Aquila Pro (Esaote, Italia). El resultado de la medición se expresó en milímetros (Ayuso *et al.*, 2013).

Variabes Hematológicas

Se realizó un análisis hematológico en las muestras colectadas a los 0, 15 y 30 días del estudio mediante un equipo automatizado URIT 2900Vet plus (URIT®, China) en la opción para cerdos. Se tomaron las variables: conteo de glóbulos blancos (WBC), glóbulos rojos (RBC), hemoglobina (HGB), hematocrito (HCT) y plaquetas (PLT), para determinar posibles alteraciones en la salud al inicio del trabajo y observar si la suplementación afecta algunas de estas variables.

Perfil de Ácidos Grasos en Carne

Los animales fueron sacrificados el día 31 del experimento según las normas técnicas vigentes para Colombia, en la planta beneficio de La Virginia (Risaralda). A la altura de la décima costilla del lado derecho de la canal se tomaron muestras de 100 g de lomo (*Longissimus lumborum*). Se empacaron al vacío y se enviaron en refrigeración al laboratorio de nutrición humana de la Universidad de Antioquia para el análisis de ácidos grasos en carne por medio de cromatografía de gases (GLC).

Análisis de Datos

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Se realizó una estadística descriptiva y, luego se realizaron análisis de correlación de variables cuantitativas para probar los supuestos. Se encontró que los datos presentan homocedasticidad entre los 15 y 30 días en el tratamiento con la leptina, pero no normalidad, por lo que se realizó un análisis de varianza de Kruskal-Wallis. Adicionalmente,

se realizó una prueba de Wilcoxon y una prueba de corrección del Holm para comparar los grupos pareados. Posteriormente, se estimaron las correlaciones entre los contenidos de ácidos grasos de la carne, el espesor de grasa dorsal y los contenidos de leptina en suero a los 15 y 30 días. Finalmente, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) y la representación biplot entre las variables antes mencionadas, con el fin de mejorar la comprensión de la relación entre ellos. Se usó un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ y todos los procedimientos se realizaron en el software R (R Core Team, 2021).

RESULTADOS

Los niveles de leptina de cada tratamiento se presentan en el Cuadro 2. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos al día 15 ($p=0.04$), con mayor valor en T1 y T3; sin embargo, no hubo diferencias entre tratamientos ($p=0.93$) al día 30. Asimismo, la variación en la concentración de leptina entre días de medición dentro de tratamientos no mostró diferencias significativas ($p>0.05$).

Las variables hematológicas fueron similares entre tratamientos en el día 0 ($p>0.05$), con valores globales para WBC de $17.71\pm 0.54 \times 10^9/l$, para RBC de $6.72\pm 0.10 \times 10^{12}/l$, para HGB de $12.88\pm 0.22 \text{ g/dl}$, para HCT de $36.38\pm 0.70\%$ y para PLT de $341\pm 17.93 \times 10^9/l$, sin evidencia de valores anormales, indicando que se encontraban clínicamente sanos (Cuadro 3). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos los días 15 y 30 del estudio, ni entre días dentro de tratamientos.

No se encontró diferencia significativa ($p=0.125$) entre tratamientos con respecto al espesor de la grasa dorsal al día 30 (Cuadro 4). Sin embargo, en el perfil de ácidos grasos, hubo diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos, tanto en los ácidos grasos saturados como en mono y poliinsaturados (Cuadro 4). Es importante notar que la

Cuadro 2. Concentraciones de leptina en suero (ng/ml) a los 15 y 30 días en cerdos en finalización que consumieron alimento base (T1), suplementados con ractopamina 10 ppm (T2) y con cromo-levadura a 0.2 (T3) y 0.4 ppm (T4)

Tratamiento	Día 15		Día 30	
	Promedio (ng/ml)	CV (%)	Promedio (ng/ml)	CV (%)
T1	8.87±6.45 ^{ab}	58.5%	12.49±18.17 ^a	117%
T2	4.84±10.49 ^a	174%	3.20±2.65 ^a	66.6%
T3	12.79±9.43 ^b	59.4%	4.62±6.55 ^a	114%
T4	3.37±3.65 ^a	87%	8.41±12.18 ^a	117%

^{a,b} Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre medias de los tratamientos dentro del día de medición. CV: coeficiente de variación

Cuadro 3. Valor medio de las variables hematológicas al día 0, 15 y 30 en cerdos de finalización suplementados con Ractopamina y Cr-levadura

Día	Tratamiento	WBC ($\times 10^9/l$)	RBC ($\times 10^{12}/l$)	HGB (g/dl)	HCT (%)	PLT ($\times 10^9/l$)
0	T1	16.90±1.01	6.56±0.20	12.62±0.50	35.74±1.58	309.80±36.3
	T2	16.74±0.31	6.76±0.30	12.98±0.54	35.98±1.76	351.00±14.5
	T3	19.30±1.49	6.75±0.21	13.02±0.38	36.80±1.47	366.80±57.5
	T4	17.90±1.09	6.80±0.16	12.90±0.44	36.98±1.17	336.40±28.7
	Global	17.71±0.54	6.72±0.10	12.88±0.22	36.38±0.70	341±17.93
15	T1	17.44±0.41	6.62±0.14	12.68±0.31	35.90±1.28	227.40±40.88
	T2	17.92±1.32	6.72±0.27	12.36±0.50	35.36±1.42	246.00±42.04
	T3	20.40±0.82	6.90±0.16	12.74±0.43	36.46±1.09	294.80±41.44
	T4	20.20±1.39	7.19±0.12	13.34±0.32	37.80±0.86	222.00±34.34
	Global	18.99±0.57	6.86±0.10	12.78±0.20	36.38±0.58	247.55±19.41
30	T1	18.56±0.77	6.62±0.13	12.66±0.24	36.36±0.93	262.00±36.87
	T2	18.38±0.87	6.82±0.27	12.88±0.45	35.16±1.12	306.80±16.93
	T3	19.68±1.01	6.88±0.38	12.86±0.65	35.06±1.96	402.06±67.95
	T4	21.58±2.03	7.23±0.25	13.52±0.43	37.48±1.42	270.60±18.47
	Global	19.55±0.65	6.89±0.14	12.98±0.23	36.02±0.69	310.50±22.61

WBC: recuento de glóbulos blancos; RB: recuento de glóbulos rojos; HGB: hemoglobina; HCT: hematocrito; PLT: plaquetas

Alimento base (T1), suplementados con ractopamina 10 ppm (T2) y con cromo-levadura a 0.2 (T3) y 0.4 ppm (T4)

suplementación con Cr-levadura, sobre todo en la dosis más alta (0.4 ppm), aumenta el tenor de la mayoría de los ácidos grasos, especialmente los poliinsaturados como el áci-

do linoleico y el araquidónico, en tanto que la suplementación con ractopamina tiende a disminuir todos los ácidos grasos, incluidos los insaturados.

Cuadro 4. Efecto del tratamiento (T1: alimento base; T2: 10 ppm de ractopamina; T3: 0.2 ppm de cromo-levadura; T4: 0.4 ppm de cromo-levadura) sobre el espesor de grasa dorsal y la cantidad de ácidos grasos en el lomo de cerdos al sacrificio

Variable	T1	T2	T3	T4	Valor p
Espesor grasa dorsal (mm)	12.4±1.3 ^a	9.7±1.2 ^a	13.3±0.9 ^a	11.2±1.1 ^a	0.125
Ac. Grasos Saturados	0.52±0.10 ^{ab}	0.24±0.07 ^a	0.58±0.05 ^{ab}	1.2±0.08 ^b	0.002
Ac. caprílico (C8:0)	7.8E-05 ^a	0.0E-00 ^a	1.1E-04 ^a	3.22E-04 ^a	0.058
Ac. capríco (C10:0)	2.3E-03 ^{ab}	1.5E-03 ^a	4.0E-03 ^{ab}	4.8E-03 ^b	0.005
Ac. laurico (C12:0)	3.2E-03 ^{ab}	1.8E-03 ^a	3.0E-03 ^{ab}	4.1E-03 ^b	0.010
Ac. mirístico (C14:0)	1.8E-02 ^{ab}	8.5E-03 ^a	2.2E-02 ^{ab}	3.9E-02 ^b	0.005
Ac. pentadecanoico (C15:0)	7.8E-04 ^{ab}	2.8E-04 ^a	9.3E-04 ^{ab}	1.7E-03 ^b	0.002
Ac. palmítico (C16:0)	3.3E-01 ^{ab}	1.6E-01 ^a	3.7E-01 ^{ab}	7.7E-01 ^b	0.002
Ac. heptadecanoico (C17:0)	2.8E-03 ^{ab}	1.5E-03 ^a	3.3E-03 ^{ab}	7.16E-03 ^b	0.002
Ac. esterico (C18:0)	1.6E-01 ^{ab}	6.8E-02 ^a	1.7E-01 ^{ab}	3.6E-01 ^b	0.001
Ac. araquídico (C20:0)	2.7E-03 ^{ab}	1.4E-03 ^a	3.4E-03 ^{ab}	5.8E-03 ^b	0.002
Ac. Grasos Monoinsaturados	0.61±0.13 ^{ab}	0.30±0.10 ^a	0.72±0.06 ^{ab}	1.40±0.10 ^b	0.005
Ac. miristoleico (C14:1)	8.4E-05 ^a	0.0E-00 ^a	4.6E-05 ^a	0.0E-00 ^a	0.549
Ac. palmitoleico (C16:1)	3.5E-02 ^{ab}	1.8E-02 ^a	4.4E-02 ^{ab}	7.4E-02 ^b	0.005
Ac. oleico (C18:1n9c)	5.7E-01 ^{ab}	2.8E-01 ^a	6.6E-01 ^{ab}	1.3E+00 ^b	0.005
Ac. cis-11-eicosenoico (C20:1n9)	8.6E-03 ^{ab}	5.3E-03 ^a	9.2E-03 ^{ab}	1.9E-02 ^b	0.005
Ac. Grasos Poliinsaturados	0.21±0.03 ^a	0.13±0.04 ^a	0.30±0.04 ^{ab}	0.57±0.04 ^b	0.002
Ac. linoleico (C18:2n6c)	1.8E-01 ^a	1.1E-01 ^a	2.6E-01 ^{ab}	5.0E-01 ^b	0.002
Ac. cis-11, 14-eicosadienoico (C20:2)	5.7E-03 ^a	3.5E-03 ^a	7.5E-03 ^{ab}	1.5E-02 ^b	0.003
Ac. cis-8, 11, 14-eicosatrienoico (C20:3n6)	2.6E-03 ^{ab}	1.4E-03 ^a	3.5E-03 ^{ab}	6.3E-03 ^b	0.001
Ac. cis-11, 14, 17-eicosatrienoico (C20:3n3)	7.7E-04 ^a	3.8E-04 ^a	1.4E-04 ^a	0.00E+00 ^a	0.017
Ac. araquidónico (C20:4n6)	2.0E-02 ^{ab}	9.9E-03 ^a	2.5E-02 ^{ab}	4.4E-02 ^b	0.001
Total de ácidos grasos	1.40±0.27 ^a	0.70±0.23 ^a	1.66±0.15 ^{ab}	3.31±0.23 ^b	0.004

^{a,b} Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre medias de los tratamientos ($p < 0.05$).

Al evaluar la relación entre los diferentes ácidos grasos, el espesor de la grasa dorsal y los niveles de leptina, se observó en general una relación fuerte ($r > 0.6$) y positiva entre la mayoría de los ácidos grasos entre sí, incluyendo saturados, monoinsaturados y poliinsaturados (Figura 1), aunque con una menor correlación con el espesor de la grasa

dorsal ($r < 0.3$). Sin embargo, el ácido miristoleico y el cis-11,14,17-eicosatrienoico tuvieron baja relación con los demás ácidos grasos y una correlación de 0.6 entre sí. Asimismo, las concentraciones de leptina en sangre presentaron una correlación baja y negativa con la mayoría de los ácidos grasos a los 15 días, la cual se invirtió a los 30 días (Figura 1).

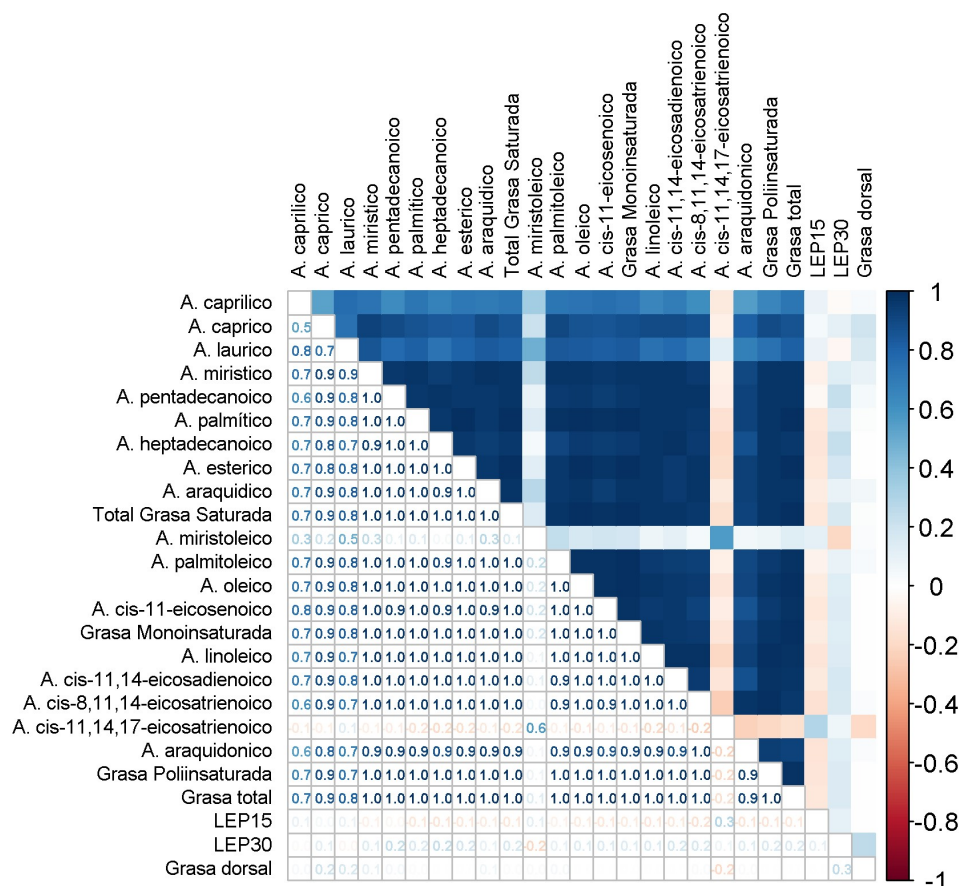


Figura 1. Correlación de Pearson entre los ácidos grasos de una sección del lomo, el espesor de grasa dorsal y los nieles de leptina en sangre en cerdos en finalización

Por otra parte, la representación biplot (Figura 2) del análisis de componentes principales, sugiere la misma relación entre la mayoría de los ácidos grasos evaluados y poca relación con el ácido miristoleico y el cis-11,14,17-eicosatrienoico, que se encuentran correlacionados positivamente entre sí. Sin embargo, las cantidades de estos ácidos grasos parecen ser contrarios al espesor de grasa dorsal y a los niveles de leptina a los 30 días. Por lo anterior, al evaluar detalladamente estas relaciones se pudo observar una fuerte correlación significativa entre el ácido miristoleico y el cis-11,14,17-eicosatrienoico, pero con una baja y no significativa correlación de Pearson ($r < 0.29$) entre las demás variables (Figura 3).

DISCUSIÓN

La leptina, es una proteína de 16 kDa que consta de 146 aminoácidos que se sintetiza principalmente en el tejido adiposo y se secreta en el torrente sanguíneo después de la escisión del péptido señal de 21 aminoácidos (Barb *et al.*, 2001). Esta hormona tiene efectos sobre la reproducción (Barb *et al.*, 2005; Lv *et al.*, 2019) y el sistema inmune (Maurya *et al.*, 2018; Qi *et al.*, 2019); sin embargo, el principal efecto de la leptina es a nivel metabólico, regulando la homeostasis energética.

No existen reportes en la literatura sobre el efecto de la ractopamina o del Cr-levadura sobre los niveles de leptina sérica en cerdos, lo que convierte esta investigación en el primer reporte al respecto. Los resultados sugieren acumulación de grasa en los tratamientos T1 (control) y T4 (0.4 ppm/kg de Cr-levadura) y un efecto contrario en T2 (10 ppm/kg de ractopamina) y T3 (0.2 ppm/kg de Cr-levadura) a los 15 días, sin embargo, no se pudo comprobar su efecto en el tiempo, pues a los 30 días no se encontraron diferencias. Una posible razón que explica estos resultados puede estar relacionada con el tamaño de muestra aquí empleado. Un resultado similar se reportó en bovinos Angus donde la inclusión de 300 mg/animal/d de ractopamina durante los últimos 35 días del ciclo de engorde, no tuvo efecto sobre la concentración de leptina ($p > 0.6$) (Grubbs, 2010).

El principal efecto metabólico del uso de la ractopamina en la alimentación de cerdos es la hipertrofia de las células musculares (Soares *et al.*, 2022), lo que puede resultar del aumento de la síntesis de proteínas musculares, de la disminución de la degradación de proteínas o ambos (Soares *et al.*, 2022). Asimismo, se reporta una mejora en la eficiencia alimenticia y el rendimiento de la canal (Peterson *et al.*, 2015). En los adipocitos, la ractopamina promueve un aumento de la lipólisis y una inhibición de la síntesis de ácidos grasos y triacilglicerol, suprimiendo la actividad de las enzimas lipogénicas y la capacidad de síntesis de ácidos grasos *de novo*, por lo tanto, la ractopamina antagoniza la acción de la insulina en los adipocitos porcinos (Abbas *et al.*, 2022; Almeida *et al.*, 2012).

A pesar de lo anterior, no se han observado reducciones en la deposición de grasa inducida por la ractopamina (Abbas *et al.*, 2022). En el presente estudio la inclusión de 10 ppm de ractopamina (T2) disminuyó, aunque de forma no significativa, respecto del control (T1), el espesor de grasa dorsal, lo que concuerda con lo obtenido en diversas investigaciones (Almeida *et al.*, 2010; Hinson

et al., 2011; Hoque *et al.*, 2020). Por el contrario, Rickard *et al.* (2017) encontraron que la inclusión de 7.4 mg/kg de ractopamina durante 21 y 35 días disminuyó el espesor de la grasa dorsal en un 6.3% en comparación con el tratamiento control. Un metaanálisis que incluyó 54 trabajos publicados entre 2004 y 2016 (Pompeu *et al.*, 2017) no encontraron efectos significativos de la ractopamina sobre el espesor de la grasa dorsal, aunque con diferencias entre hijos de primerizas vs múltiparas y entre sexos, sugiriendo el uso de la ractopamina a los últimos 28 días del ciclo de engorde.

En general, los resultados no muestran cambios en el contenido de ácidos grasos saturados, mono y poliinsaturados con la inclusión de 10 ppm de ractopamina (T2) respecto del control (T1). Por el contrario, Graham *et al.* (2014) muestran que los animales suplementados con ractopamina (10 mg/kg) disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) las concentraciones de ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0), pero aumentaron el ácido linoleico (C18:2n-6) en comparación con el grupo control, en tanto que no hubo cambios en otros ocho ácidos grasos evaluados.

Sanches *et al.* (2021) no encontraron diferencias significativas en la ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia con la inclusión de 0.4 mg/kg Cr-levadura en el alimento durante el ciclo de engorde; resultado similar al del presente estudio donde no encontró diferencias en el espesor de la grasa dorsal entre tratamientos.

En los cerdos, el Cr puede promover el desarrollo del tejido muscular, debido a la energía adicional generada por el aumento de la captación de glucosa por parte de las células sensibles a la insulina, que luego puede utilizarse para la síntesis de proteínas, apoyando el crecimiento muscular y el mantenimiento celular (Albuquerque *et al.*, 2019). En un estudio, que empleó 0.4 ppm de Cr-levadura en cuatro periodos (0, 38, 62 y 94 días antes del sacrificio) el periodo de suplementación in-

fluyó ($p < 0.05$) en el perfil lipídico de la grasa dorsal y en el perfil de ácidos grasos de la carne (*Longissimus lumborum*), encontrando un efecto cuadrático para el ácido γ -linolénico (C18:3n6) (Alencar *et al.*, 2021), y se planteó que existe un efecto máximo del cromo en un periodo determinado, para luego disminuir. Por otro lado, Un metaanálisis determinó que cuanto más tarde fuera el inicio de la suplementación con cromo, mayor era la respuesta de reducción de grasa y el aumento de la deposición de carne en la canal (Sales y Jančík, 2011), siendo para Alencar *et al.* (2021) este tiempo a los 53 días antes del sacrificio. En el presente estudio el tiempo de evaluación fue de 30 días y se trabajó con animales relativamente jóvenes (118 días de edad), pero con las edades típicas de la zona para el inicio de la finalización. Esto indicaría que el efecto puede ser mas marcado si los animales son llevados a una mayor edad al sacrificio.

A diferencia de reportado por Alencar *et al.* (2021), el Cr-levadura afectó ($p < 0.05$) el contenido total de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Gebhardt *et al.* (2016) propone que no es el tiempo de suplementación sino la concentración utilizada de Cr. Los resultados obtenidos demuestran que con dos concentraciones diferentes de Cr (T3 y T4) es posible obtener algún efecto (Cuadro 4).

Se ha considerado que uno de los principales efectos del cromo en las canales porcinas es la reducción de la grasa depositada, con la consiguiente reducción de la grasa subcutánea (Wang *et al.*, 2014), pudiendo ir acompañada de una modificación en el perfil de ácidos grasos. Los resultados del presente estudio muestran una reducción no significativa del espesor de grasa dorsal entre los animales suplementados con Cr (T3 y T4), en tanto que el análisis de correlaciones y el PCA entre el perfil de ácidos grasos y el espesor de la grasa dorsal no mostraron una relación entre ambos.

Estas variaciones en las respuestas pueden estar relacionadas con varios factores, como la concentración de nutrientes en la dieta, el medio ambiente, el manejo (Lindemann *et al.*, 2008), sexo, edad, nivel de inclusión e incluso con la fuente de cromo, ya que, si bien las fuentes orgánicas tienen mayor biodisponibilidad que las inorgánicas, existen diferencias entre ellas (Wang *et al.*, 2014; Sadeghi *et al.*, 2015). Por ejemplo, al cambiar la fuente de Cr-levadura por propionato de Cr no se encontraron diferencias en el crecimiento (Matthews *et al.*, 2005), mientras que, la adición de Cr-metionina no tuvo efecto sobre el crecimiento de cerdos (Tian *et al.*, 2014). Por otro lado, la adición picolinato de Cr aumentó la ingesta de alimento (Gebhardt *et al.*, 2019). Asimismo, las diferencias pueden también haberse debido a que el perfil de ácidos grasos se midió en la carne y no en la grasa dorsal, dado que la grasa de la carne tiene una menor presencia de triglicéridos debido a su menor depósito de lípidos en comparación con la grasa subcutánea y una mayor cantidad de fosfolípidos de la pared celular (Corino *et al.*, 2014).

Es importante señalar que no existe una recomendación nutricional para requerimientos mínimos de Cr para cerdos en finalización (Sanches *et al.*, 2021) y que los niveles de Cr utilizados en esta investigación durante la etapa final del engorde de cerdos no fueron suficientes para promover efectos positivos y significativos en las variables analizadas. Se requiere evaluar en futuras investigaciones un aumento en el tiempo de utilización del suplemento, una mayor dosis Cr o en cerdos con un peso final más alto. Asimismo, se deberá evaluar la calidad de la grasa porcina, mediante los índices aterogénicos y trombogénicos que evalúan la capacidad de la grasa de los alimentos en aumentar las posibilidades de aterosclerosis y trombosis (Alencar *et al.*, 2021).

Finalmente, la medición de parámetros hematológicos puede proporcionar información importante sobre la salud animal y es

una herramienta práctica para evaluar condiciones patológicas de forma individual y para monitorear el estado de salud en grupos de animales. Además, los valores hematológicos reflejan la respuesta del animal a su entorno y pueden revelar condiciones adversas, aunque los animales no muestren signos clínicos de enfermedad (Ježek *et al.*, 2018). Los valores hematológicos del presente estudio estuvieron dentro de los valores de referencia (Ventrella *et al.*, 2017; Ježek *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2019). Además, los valores no cambiaron con el tiempo ni con la inclusión de la ractopamina o del Cr-levadura en la dieta lo que sugiere que estos aditivos no alteran las principales variables hematológicas en cerdos en fase de finalización.

CONCLUSIONES

- La concentración de ractopamina y de cromo-levadura evaluadas afectaron los niveles de leptina a los 15, pero no a los 30 días, lo que sugiere que un menor tiempo de suplementación puede ser mejor. Sin embargo, estos valores no pudieron ser confirmados con el espesor de grasa dorsal.
- La ractopamina y el cromo-levadura no afectaron la calidad de la grasa, aunque el primero mostró un mejor perfil de ácidos grasos.
- La inclusión de estos aditivos en la dieta no repercutió en la salud de los animales.
- En general, los ácidos grasos se correlacionaron entre sí, pero no con los niveles leptina.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica de Pereira por la financiación del proyecto de investigación (Código 5-16-8).

LITERATURA CITADA

1. **Abbas K, Raza A, Vasquez R, Roldan M, Malhotra N, Huang J, Buenafe O, Chen K, Liang S, Hsiao C. 2022.** Ractopamine at the center of decades-long scientific and legal disputes: a lesson on benefits, safety issues, and conflicts. *Biomolecules* 12: 1342. doi: 10.3390/biom12101342
2. **Albuquerque, T, Cantarelli V, Garbossa C, Lopes M, Silveira H, Saraiva L, Orsi A, Silva A, Faria P. 2019.** Effect of supplementation of finishing swines with different associations between minerals on performance, carcass characteristics and economic viability. *Arq Bras Med Vet Zootec* 71: 1387-1394. doi:10.1590/1678-4162-10606
3. **Alencar S, Kiefer C, Nascimento K, Viana L, Corassa A, Rodrigues G, Silva C, Cavalheiro L. 2021.** Effect of chromium yeast supplementation on lipid profile of swine fat. *An Acad Bras Cienc* 93: e20190619. doi: 10.1590/0001-3765202120190619
4. **Al-Hussaniy H, Alburghaif A, Naji M. 2021.** Leptin hormone and its effectiveness in reproduction, metabolism, immunity, diabetes, hopes and ambitions. *J Med Life* 14: 600-605. doi: 10.25122/jml-2021-0153
5. **Almeida V, Berenchtein B, Costa L, Tse M, Braz D, Miyada V. 2010.** Ractopamina, cromo-metionina e suas combinações como aditivos modificadores do metabolismo de suínos em crescimento e terminação. *R Bras Zootec* 39: 1969-1977. doi: 10.1590/S1516-35982010000900015
6. **Almeida V, Nuñez A, Miyada V. 2012.** Ractopamine as a metabolic modifier feed additive for finishing pigs: a review. *Braz Arch Biol Technol* 55: 445-456. doi: 10.1590/S1516-89132012000300016

7. **Ayuso D, González A, Hernández F, Corral J, Izquierdo M. 2013.** Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals. *J Anim Sci* 91: 1884-1892. doi: 10.2527/jas.2012-5357
8. **Balatsky V, Oliinychenko Y, Saienko A, Buslyk T, Bankovska I, Peka M, Doran O. 2022.** Associations of polymorphisms in leptin and leptin receptor genes with meat quality in pigs of the Ukrainian large white breed. *Cytol Genet* 56: 513-525. doi: 10.3103/S00954527220-60020
9. **Barb C, Hausman G, Houseknecht K. 2001.** Biology of leptin in the pig. *Domest Anim Endocrinol* 21: 297-317. doi: 10.1016/S0739-7240(01)00123-0
10. **Barb C, Hausman G, Czaja K. 2005.** Leptin: a metabolic signal affecting central regulation of reproduction in the pig. *Domest Anim Endocrinol* 29: 186-192. doi: 10.1016/j.domaniend.2005.02.024
11. **Benítez R, Fernández A, Isabel B, Núñez Y, De Mercado E, Gómez-Izquierdo E, García-Casco J, López-Bote C, Óvilo C. 2018.** Modulatory effects of breed, feeding status, and diet on adipogenic, lipogenic, and lipolytic gene expression in growing Iberian and Duroc pigs. *Int J Mol Sci* 19: 22. doi: 10.3390/ijms19010022
12. **Corino C, Rossi R, Cannata S, Ratti S. 2014.** Effect of dietary linseed on the nutritional value and quality of pork and pork products: systematic review and meta-analysis. *Meat Sci* 98: 679-688. doi: 10.1016/j.meatsci.2014.06.041
13. **Davoli R, Catillo G, Serra A, Zappaterra M, Zambonelli P, Meo Zilio D, Steri R, Mele M, Buttazzoni L, Russo V. 2019.** Genetic parameters of backfat fatty acids and carcass traits in large white pigs. *Animal* 13: 924-932. doi: 10.1017/S1751731118002082
14. **Gebhardt J, Woodworth J, Tokach M, DeRouchey J, Goodband R, Loughmiller J, Dritz S. 2016.** Determining the influence of KemTRACE Cr and/or micro-aid on growth performance and carcass composition of pigs housed in a commercial environment. *Kansas Agric Exper Station Res Rep* 2: 36. doi:10.4148/2378-5977.1313
15. **Gebhardt J, Woodworth J, Tokach M, Derouchey J, Goodband R, Loughmiller J, de Souza A, Rincker M, Dritz S. 2019.** Determining the influence of chromium propionate and *Yucca schidigera* on growth performance and carcass composition of pigs housed in a commercial environment. *Transl Anim Sci* 3: 1275-1285. doi: 10.1093/tas/txz117
16. **Getmantseva L, Kolosov A, Leonova M, Bakoev S, Klimenko A, Usatov A, Radyuk A, Vaselenko V, Makarenko M, Bakoev N. 2017.** Polymorphisms in obesity-related leptin gene and its association with reproductive traits of sows. *Bulgarian J Agric Sci* 23: 843-850.
17. **Graham A, Goodband R, Tokach M, Dritz S, DeRouchey J, Nitikanchana S. 2014.** The interactive effects of high-fat, high-fiber diets and ractopamine HCl on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality. *J Anim Sci* 92: 4585-4597. doi: 10.2527/jas.2013-7434
18. **Grubbs J. 2010.** Physiological and molecular responses of feeding ractopamine to yearling heifers across days on feed. Master's Thesis. USA: Auburn University. 72 p.
19. **Hinson R, Wiegand B, Ritter M, Allee G, Carr S. 2011.** Impact of dietary energy level and ractopamine on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. *J Anim Sci* 89: 3572-3579. doi: 10.2527/jas.2010-3302
20. **Hoque M, Im Y, Kim I. 2020.** Effect of dietary ractopamine supplementation on growth performance, meat quality

- and fecal score in finishing pigs. *Korean J Agric Sci* 47: 707-715. doi: 10.7744/kjoas.20200098
21. **Ježek J, Stariè J, Nemeç M, Plut J, Golinar I, Klinkon M, Štukelj M. 2018.** The influence of age, farm, and physiological status on pig hematological profiles. *J Swine Health Prod* 26: 72-78.
 22. **Kunová S, Ěubod M, Hašèik P, Lopašovský L. 2021.** Detection of leptin in muscle tissues and organs of pigs. *J Microbiol Biotechnol Food Sci* 4: 66-69. doi: 10.15414/jmbfs.2015.4.special2.66-69
 23. **Ly D, Tan T, Zhu T, Wang J, Zhang S, Zhang L, Hu X, Liu G, Xing Y. 2019.** Leptin mediates the effects of melatonin on female reproduction in mammals. *J Pineal Res* 66: e12559. doi: 10.1111/jpi.12559
 24. **Mármol-Sánchez E, Artman J, Fredholm M, Cirera S. 2021.** Unraveling molecular mechanisms involved in the development of leptin resistance using the pig as a model. *Anim Genet* 52: 55-65. doi: 10.1111/age.13028
 25. **Matthews J, Guzik A, LeMieux F, Southern L, Bidner T. 2005.** Effects of chromium propionate on growth, carcass traits, and pork quality of growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 83: 858-862. doi: 10.2527/2005.834858x
 26. **Maurya R, Bhattacharya P, Dey R, Nakhasi H. 2018.** Leptin functions in infectious diseases. *Front Immunol* 9:2741. doi: 10.3389/fimmu.2018.02741
 27. **Niño A, Granja R, Wanschel A, Salerno A. 2017.** The challenges of ractopamine use in meat production for export to European Union and Russia. *Food Control* 72: 2892-92. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.10.015
 28. **Piórkowska K, Oczkiewicz M, Róçycki M, Ropka-Molik K, Piestrzyńska-Kajtoch A. 2011.** Novel porcine house-keeping genes for real-time RT-PCR experiments normalization in adipose tissue: assessment of leptin MRNA quantity in different pig breeds. *Meat Sci* 87: 191-195. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.10.008
 29. **Pompeu M, Rodrigues L, Cavalcanti L, Fontes D, Toral F. 2017.** A multivariate approach to determine the factors affecting response level of growth, carcass, and meat quality traits in finishing pigs fed ractopamine. *J Anim Sci* 95: 1644-1659. doi: 10.2527/jas.2016.1181
 30. **Qi M, Tan B, Wang J, Liao S, Li J, Liu Y, Yin Y. 2019.** Post-natal growth retardation associated with impaired gut hormone profiles, immune and antioxidant function in pigs. *Front Endocrinol* 10:660 doi: 10.3389/fendo.2019.00660
 31. **R Core Team. 2021.** A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
 32. **Rickard J, Allee G, Rincker P, Gooding J, Acheson R, McKenna D, Puls C, Carr S. 2017.** Effects of ractopamine hydrochloride on the growth performance and carcass characteristics of heavy-weight finishing pigs sent for slaughter using a 3-phase marketing strategy. *Transl Anim Sci* 1: 406-411. doi: 10.2527/tas2017.0053
 33. **Rostagno H, Teixeira L, Hannas M, Lopes J, Kazue N, Perazzo F, Saraiva A, Texeira M, Borges P, de Oliveira R, de Toledo S, de Oliveira C. 2017.** Tabelas brasileiras para aves e suínos. 4º ed. Viçosa, Brasil: Univ. Federal de Viçosa. 448 p.
 34. **Sadeghi M, Najaf Panah M, Bakhtiarizadeh M, Emami A. 2015.** Transcription analysis of genes involved in lipid metabolism reveals the role of chromium in reducing body fat in animal models. *J Trace Elem Med Biol* 32: 45-51. doi: 10.1016/j.jtemb.2015.05.004

35. **Sales J, Janèik F. 2011.** Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing swine: a meta-analysis. *J Anim Sci* 89: 4054-4067. doi: 10.2527/jas.2010-3495
36. **Sanches D, Garcia E, Rodrigues G, Kiefer C, Marçal D, Alencar S, Silva C, Rocha G. 2021.** Dietary chromium yeast supplementation length in diets for growing-finishing pigs. *R R Bras Zootec* 50: e20210141. doi:10.37496/rbz5020-210141
37. **Solé E, Ros-Freixedes R, Tor M, Reixach J, Pena R, Estany J. 2021.** Antagonistic maternal and direct effects of the leptin receptor gene on body weight in pigs. *Plos One* 16: e0246198. doi: 10.1371/journal.pone.0246198
38. **Tartrakoon W, Tartrakoon T, Kitsupe N. 2016.** Effects of the ratio of unsaturated fatty acid to saturated fatty acid on the growth performance, carcass and meat quality of finishing pigs. *Anim Nutr* 2: 79-85. doi: 10.1016/j.aninu.-2016.03.004
39. **Tian Y, Zhang L, Dong B, Cao J, Xue J, Gong L. 2014.** Effects of chromium methionine supplementation on growth performance, serum metabolites, endocrine parameters, antioxidant status, and immune traits in growing pigs. *Biol Trace Elem Res* 162: 134-141. doi: 10.1007/s12011-014-0147-9
40. **Untea A, Varzaru I, Panaite T, Habeanu M, Ropota , Olteanu M, Cornescu G. 2017.** Effects of chromium supplementation on growth, nutrient digestibility and meat quality of growing pigs. *S Afr J Anim Sci* 47: 332-341. doi: 10.4314/sajas.v47i3.10
41. **Ventrella D, Dondi F, Barone F, Serafini F, Elmi A, Giunti M, Romagnoli N, Forni M, Bacci M. 2017.** The biomedical piglet: establishing reference intervals for haematology and clinical chemistry parameters of two age groups with and without iron supplementation. *BMC Vet Res* 13: 23. doi: 10.1186/s12917-017-0946-2
42. **Wang M, Wang C, Du Y, Li H, Tao W, Ye S, He Y, Chen S. 2014.** Effects of chromium-loaded chitosan nanoparticles on growth, carcass characteristics, pork quality, and lipid metabolism in finishing pigs. *Livest Sci* 161: 123-129. doi: 10.1016/j.livsci.2013.12.029
43. **Yin J, Jiao Y, Kim Y, Kim I. 2019.** Effects of reducing dietary energy (tallow) in diets containing emulsifier blend on growth performance, nutrient digestibility, and blood profile in growing pigs. *Can J Anim Sci* 99: 206-209. doi: 10.1139/cjas-2017-0155