CARACTERISTICAS DE LA CANAL Y CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJOS SUPLEMENTADOS CON ZINC METIONINA O PIGMENTO DE FLOR DE CEMPASÚCHIL CON DOS EDADES AL SACRIFICIO †

[CARCASS CHARACTERISTICS AND MEAT QUALITY OF RABBITS SUPPLEMENTED WITH ZINC METHIONINE OR MARIGOLD PIGMENT AT TWO AGES AT SLAUGHTER]

Pablo Antonio Garcia-Martinez[1], Juan Edrei Sanchez-Torres[1]*, Ignacio A. Dominguez-Vara[1*], Ernesto Morales-Almaraz[1], Johana Paola Galeano-Diaz[1], Luis Alberto Mejia-Uribe[1], Benjamín Valladares-Carranza[1] and Jacinto Efrén Ramirez-Bribiesca[2]

[1] Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto Literario 100 Ote, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, CP. 50090, México. Email: pablo.gm15@hotmail.com; edreie@yahoo.com.mx; igy92@hotmail.com*; emoralesa@uamex.mx; jgaleanod039@alumno.uaemex.mx; meul83@hotmail.com; bvalladaresc@uaemex.mx*

[2] Departamento de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, carretera México –Texcoco Km 36.5, Texcoco, Estado de México, CP. 56264, México. Email: efrenrb@colpos.mx

**Corresponding author*

SUMMARY

Background: The consumption per capita of rabbit meat in Mexico is limited (120g) due to the lack of information among consumers about the nutritional quality of rabbit meat, and at the same time, to the appearance of color, since they prefer a redder meat with more intramuscular fat. **Objective:** To evaluate the effect of the addition of Zinc-Methionine (Zn-Met), marigold flower pigment (FC) and two slaughter ages (MS) on carcass characteristics and meat quality in rabbits. **Methodology:** A total of two hundred 40-day-old rabbits (New Zealand X California, 1124±48 g initial live weight) were randomly assigned to one of 4 experimental diets and two fattening periods (68 and 82 days of age), using a completely randomized experimental design with a 2 x 2 x 2 factorial design. The control diet contained no additives, the second diet contained 200mg/kg-1 Zinc Methionine (Zn-Met), the third diet contained 80 mg/kg-1 marigold flower pigment (FC) and the fourth diet (Zn-Met*FC) contained both additives (200mg/kg-1 Zn-Met and 80 mg/kg-1 FC). The color, pH, meat-bone-to-dissectible fat ratio, water loss by cooking, shear strength and nutritional quality of rabbit meat were measured in the Longissimus thoracis et lumborum (LTL) muscle. **Results:** In meat color, L* values showed interactions ($P < 0.05$) between Zn-Met*EM and FC*EM; interaction was observed for carcass bone weight (g) ($P < 0.05$) between Zn-Met*FC, finding higher values ($P < 0.05$) in rabbits slaughtered at 82 d of age (g and %). With respect to the amount of dissectible adipose content of the carcass (g and %), there was interaction between Zn-Met*EM ($P<0.05$), with the highest values found in rabbits killed at 82 d ($P<0.05$). On the other hand, there was interaction in crude protein content (g/100g-1) ($P<0.05$) between Zn-Met,*FC*EM; while in moisture content and ethereal extract (g/100g-1) there was a difference ($P<0.05$) between animals slaughtered at different ages. MS increased the saturated fatty acid (SFA) content, while in the monounsaturated fatty acid (MUFA) content there was an interaction between Zn-Met*MS ($P<0.05$), with rabbits killed at 82 d of age presenting the highest values ($P<0.05$). **Implications:** The addition of Zn-Met modifies the fatty acid profile of meat in cattle and sheep, while the FC pigment modifies the color of poultry meat; however, the addition of

† *Submitted January 31, 2024 – Accepted January 15, 2025.* http://doi.org/10.56369/tsaes.5441

Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ISSN: 1870-0462.

ORCID = J.E. Sanchez-Torres: http://orcid.org/0000-0002-3179-2536; **I.A. Dominguez-Vara**: http://orcid.org/0000-0001-9718-8318; **E. Morales-Almaraz**: http://orcid.org/0000-0003-0675-2193; **J.P. Galeano-Diaz**: http://orcid.org/0000-0002-7034-8788; **L.A. Mejia-Uribe**: http://orcid.org/0009-0005-1256-2929; **B. Valladares-Carranza**: http://orcid.org/0000-0003-0306-3560; **J.E. Ramirez-Bribiesca**: http://orcid.org/0000-0002-2549-3353

these additives has not been studied in rabbits. **Conclusion:** The inclusion of Zn-Met, FC at two ages at slaughter modifies meat color and nutritional composition of rabbit meat.
Key words: Rabbits; Marigold flower; Zinc Methionine; Productive behavior.

RESUMEN

Antecedentes. El consumo per cápita de carne de conejo en México es limitado (120g) debido a la poca información existente entre los consumidores de la calidad nutrimental que contiene la carne de conejo, y a la vez, a la apariencia de color, ya que prefieren una carne más roja y con más grasa intramuscular. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la adición en el alimento de Zinc-Metionina (Zn-Met), pigmento de flor de Cempasúchil (FC) y dos edades de sacrificio (EM) en las características de la canal y calidad de la carne en conejos. **Metodología.** Un total de Doscientos conejos de 40 días de edad (Nueva Zelanda X California, 1124±48 g peso vivo inicial) fueron asignados de forma aleatoria a una de las 4 dietas experimentales y a dos periodos de engorda (68 y 82 días de edad), utilizando un diseño experimental completamente al azar con un diseño factorial 2 x 2 x 2. La dieta testigo no contenía ningún aditivo, la segunda dieta contenía 200mg/kg^{-1} de Zinc Metionina (Zn-Met), la tercera dieta contenía 80 mg/kg^{-1} de pigmento de flor de Cempasúchil (FC) y la cuarta dieta (Zn-Met*FC) contenía ambos aditivos (200mg/kg^{-1} de Zn-Met y 80 mg/kg^{-1} de FC). Se midió el color, pH, relación carne-hueso-grasa disectible, perdida de agua por cocción, fuerza de corte y calidad nutrimental de la carne de conejo en el musculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL). **Resultados.** En el color de la carne, los valores de L* mostraron interacciones (P < 0,05) entre Zn-Met*EM y FC*EM; Se observó interacción del peso de hueso (g) en la canal (P<0.05) entre Zn-Met*FC, encontrándose valores más altos (P<0.05) en conejos matados a los 82 d de edad (g y %). Con respecto a la cantidad del contenido adiposo disectible de la canal (g y %) existió interacción entre Zn-Met*EM (P<0.05), encontrándose los valores más altos en los conejos matados a los 82 d (P<0.05). Por otro lado, existió interacción en el contenido de (g/100g^{-1}) de proteína cruda (P<0.05) entre Zn-Met,*FC*EM; mientras que en el contenido de humedad y extracto etéreo (g/100g^{-1}) se encontró diferencia (P<0.05) entre los animales matados a diferente edad. La EM incremento el contenido de ácidos grasos saturados (SFA), mientras que en el contenido de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) existió una interacción entre Zn-Met*EM (P<0.05) siendo los conejos matados a los 82 d de edad los que presentaros los valores más altos (P<0.05). **Implicaciones**: La adición de Zn-Met modifica el perfil de ácidos grasos en la carne en bovinos y ovinos, mientras que, el pigmento de FC modifica el color de la carne de aves, sin embargo la adición de esos aditivos no se ha estudiado en conejos. **Conclusión**. La inclusión de Zn-Met, FC en dos edades al sacrificio modifica el color de la carne y la composición nutrimental de la carne de conejo.
Palabras clave: Conejos; Flor de Cempasúchil; Zinc Metionina; Comportamiento productivo.

INTRODUCCIÓN

El zinc es un mineral traza esencial que participa en la síntesis de enzimas y proteínas, además de intervenir en procesos metabólicos de los carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos, también está implicado en el proceso de división celular (Chrastinová *et al.*, 2015). El zinc interviene en la síntesis, cristalización y en la ruta de señalización de la insulina la cual incrementa la captación de glucosa a nivel celular a través de la influencia que ejerce sobre el receptor GLUT4 e induce el almacenamiento de glucógeno mejorando la actividad de la enzima glucógeno sintasa (Cruz *et al.* 2018) también se ha reportado que al llegar a la máxima cantidad de glucógeno depositado en el hígado y tejido muscular, la glucosa es transformada en acetil CoA y malonil CoA favoreciendo la síntesis de tejido adiposo a través de la ruta metabólica de la lipogénesis inhibiendo la lipolisis (Coulson y Dandona, 1980; May y Contoreggi, 1982). En investigaciones realizadas en diferentes especies animales de producción se ha demostrado que la adición de zinc por encima de los requerimientos nutricionales puede modificar las características de la canal y la calidad de la carne (Wen *et al*., 2019; Yan *et al*., 2017; Chrastinová *et al*., 2015; Zhang *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2011; Kessler *et al.*, 2003). El contenido de grasa intramuscular modifica diferentes características de la carne, por ejemplo: jugosidad, textura, apariencia y palatabilidad siendo el rango óptimo entre el 3 y el 7.3 % (Miller, 2002); se ha reportado que la suplementación con zinc incrementa el contenido de grasa intramuscular en cerdos (Zhang *et al.*, 2014), patos de Pekin (Wen *et al*., 2019), ovinos (Rodriguez-Maya *et al.*, 2019), novillos (Greene *et al.*, 1988) y aves (Liu *et al.*, 2011).

Las xantofilas son carotenoides no provitamina A que se utilizan como pigmentos en la avicultura y acuacultura para cambiar el color de la carne o huevos; uno de los pigmentos más utilizados es producido a partir de flor de Cempasúchil (*Tagetes erecta*) debido al elevado contenido de xantofilas presentes en sus pétalos (Deineka *et al*., 2007). Con la mejora genética en las aves disminuyó el tiempo de engorda y se observó que no se obtenía la

coloración deseada, por lo tanto, se ha incrementado la cantidad de pigmento en las dietas (Peña *et al.,* 2004). Mancini y Hunt (2005) indicaron que el atributo más importante al momento de la compra de carne es el color. Francia, Italia y España son los principales países consumidores de carne de conejo (Dalle Zote y Szendrő, 2011). En México el consumo *per capita* de carne de conejo es muy bajo comparado con otras especies; Jaramillo-Villanueva *et al.* (2015) reportó que el color de la carne de conejo es uno de varios atributos, por los cuales el consumidor no adquiere dicho producto. Por lo tanto, es de considerable interés suplementar las dietas para conejos en etapa de crecimiento-finalización con zinc metionina (Zn-Met) para evaluar su efecto sobre el contenido de grasa intramuscular y el uso de FC para determinar si existen cambios en el color de la carne además de identificar el periodo de tiempo de administración, con la finalidad de aumentar la aceptabilidad y consumo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto en las características de la canal y calidad de la carne de conejos alimentados con dietas adicionadas con Zn-Met y TE en dos edades al sacrificio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y dietas

Doscientos conejos (Nueva Zelanda x California) de 40 días de edad, con un peso promedio de 1124 g se asignaron de forma aleatoria a una de las 4 dietas experimentales y dos periodos de engorda utilizando un diseño experimental factorial 2 x 2 x 2. Durante el periodo experimental los conejos se alojaron individualmente en jaulas metabólicas con dimensiones de 40 x 60 x 90 cm. Los ingredientes que contuvo la dieta incluyo: heno de avena, alfalfa, sorgo, salvado de trigo además de vitaminas y minerales (Tabla 1). La dieta testigo no contenía ningún aditivo, la segunda dieta (Zn-Met) contenía 200 mg/kg^{-1} de zinc metionina; la tercera dieta (TE) contenía 80 mg/kg^{-1} pigmento de flor de Cempasúchil y la cuarta dieta (Zn-Met*TE) contenía ambos aditivos (200 mg/kg^{-1} de Zn-Met y 80 mg/kg^{-1} de pigmento de flor de Cempasúchil); también se evaluaron dos edades al sacrificio (68 y 82 días) con un periodo experimental de 28 y 42 días, respectivamente. Los ingredientes utilizados para elaborar las dietas aportaban 47 mg/kg^{-1} de zinc, por lo tanto, se añadieron 153 mg/kg^{-1} de Zn-Met a las dietas que contenían en total 200 mg/kg^{-1} de zinc. El pigmento se suministró a partir de un producto comercial (Laboratorio Biosíntesis) que contenía una concentración de 20 g/kg^{-1} de xantofilas provenientes de flor de Cempasúchil saponificada. Las dietas cubrieron los requerimientos nutricionales recomendados por el NRC (1977) y Lebas (2013). El alimento y agua se ofrecieron *ad libitum*.

Sacrificio y mediciones de la canal

Al cumplir 68 y 82 días de edad los conejos se mataron según el procedimiento descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM- 033-SAG/ZOO-2014, posteriormente se retiró la piel, vísceras de la cavidad torácica y abdominal acorde a la metodología descrita por Blasco, Ouhayoun y Masoero (1993). El pH se midió a los 45 minutos después del sacrificio en el musculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) (Meat pH meter HI 99163, Hanna Instruments, Woonsocket RO, USA), inmediatamente se refrigeró la canal durante 24 horas a una temperatura de 4°C, se midió el pH, se pesó la canal, además, se diseccionó y se pesó (g) la grasa, músculos y huesos por separado, expresando los resultados en porcentaje (%). El color de la carne se midió con un colorímetro CR-400 (Minolta Co, Japón) en el musculo LTL utilizando la escala de color CIELAB recomendada por la Comisión Internacional de la Carne, con un área de medición de 8 mm de diámetro a temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C) con iluminante D65 y un ángulo de iluminación difusa de 0° al momento de la medición, antes de cada sesión de medición, el colorimetro se calibró en el sistema de espacio de color CIE (1976) utilizando una baldosa blanca, se evaluaron: la luminosidad (L*) y dos componentes cromáticos (a* y b*). El componente cromático a* en valores positivos (+a*) indica una coloración rojiza y en negativos (-a*) grisáceo mientras que el componente b* indica coloración amarillenta (+b*) o azulada (-b*) también se midieron el croma (C*) y el hue angle (H^o).

En la prueba de perdida de agua por cocción se cortaron porciones de 3 x 3 cm, se pesaron e introdujeron dentro de una bolsa de plástico, después se metieron a baño maría (Ryosa B-40) a 75°C durante 1 hora, posteriormente, se dejaron enfriar a temperatura ambiente por 30 minutos, se pesaron y con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de perdida de agua por cocción (Honikel, 1998). La prueba de fuerza de corte se llevó a cabo con un equipo Warner-Bratzler. La muestra se obtuvo a partir de carne cocinada, se cortó en piezas de 1 x 1 x 2 cm a lo largo de las fibras musculares (Honikel, 1998), los resultados reportados fueron los valores más elevados de energía detectados por el equipo de medición, la unidad de medida fue kg/cm^2.

Tabla 1. Ingredientes (%), Composición química (g/100g) y perfil de ácidos grasos (% ácidos grasos total) en dietas experimentales.

	Dietas			
	Testigo	Zn-Met[1]	FC	Zn-Met*FC[2]
Ingredientes (%)				
Sorgo	22.66	22.66	22.66	22.66
Pasta de Canola	21.22	21.22	21.22	21.22
Heno de Avena	27.27	27.14	26.84	26.71
Salvado	22.00	22.00	22.00	22.00
Alfalfa	5.00	5.00	5.00	5.00
Premix[a]	1.85	0.85	0.85	0.85
Flor de cempasúchil	0.00	0.00	0.43	0.43
Zinc Metionina	0.00	0.13	0.00	0.13
Composición Química				
Materia Seca	86.94	88.12	86.89	87.57
ED (Mcal/Kg)[b]	2.57	2.58	2.57	2.57
Proteína Cruda	16.25	16.56	16.38	16.20
Extracto Etéreo	1.11	1.39	1.10	1.06
Fibra Cruda	14.00	13.98	13.90	13.85
Cenizas	6.97	6.92	6.93	6.74
Ca (mg)	0.80	0.80	0.80	0.80
P (mg)	0.64	0.64	0.64	0.64
Perfil de Ácidos Grasos				
C14:0	0.24	0.18	0.31	0.33
C16:0	16.31	16.13	15.67	16.17
C16:1	0.55	0.54	0.55	0.38
C18:0	1.80	1.83	1.89	1.72
C18:1n9c	35.71	35.28	35.95	35.64
C18:2n6c	39.74	40.14	40.06	39.96
C18:3n3	5.18	5.39	5.08	5.31
C22:0	0.47	0.51	0.49	0.49

[1]Zn-Met, Zinc metionina; [2]Zn-Met*FC, Zinc metionina con Flor de Cempasuchil.
[a] Premix: Saccharomyces cerevisiae 50g; compactador 247g; bacitracina de zinc 60g; betaina 100g; fitasa 10 g; lasalosida sodica 33g; minazel 100g; $CaCO_3$ 1000g; Ca, P y Cenizas 285g.
[b] Energia Digestible

El análisis químico proximal se elaboró con las metodologías descritas por la AOAC (2007) para determinar la materia seca (2001.12), extracto etéreo (920.39), el contenido de nitrógeno (2001.11) y cenizas (935.12). Se usó un cromatógrafo Perkin Elmer, modelo Clarus con una columna capilar de 100 m x 0.25 x 0.2 µm (SUPELCO TM-2560) para evaluar la composición de los ácidos grasos; se utilizó nitrógeno como gas transportador a una temperatura inicial de 140 °C, incrementado 4°C cada minuto hasta alcanzar los 240°C. El detector e inyector tenía una temperatura de 260 °C. Las muestras consistieron en 500 mg de carne deshidratada, colocando la muestra en tubos Pyrex, se añadieron 2 mL de hexano y 3 mL de ácido clorhídrico metanólico, se mezclaron durante 1 minuto y se metieron a baño maría (Ryosa B-40) a 70°C por 45 minutos. A continuación, se dejaron enfriar por 30 minutos a temperatura ambiente y se añadieron 5 mL de K_2CO_3 al 6% y 1 mL de hexano, se mezclaron por 1 minuto y se centrifugaron a 1500 rpm por 5 minutos. Se retiró la capa superior y se vertió dentro de un Tubo Pyrex con 1 g de Na_2SO_4, se mezcló y se centrifugó por 5 minutos a 1500 rpm. El sobrenadante se filtró con papel Whatman (grado 597) y se introdujo dentro de viales Eppendorf, finalmente se almacenó a -40°C hasta su análisis. Los ácidos grasos se identificaron de acuerdo con los picos obtenidos de los estándares de los tiempos de retención de éter metilo (SUPELCO37, FAME MIX analytical SIGMA USA). Con los datos se calcularon los ácidos grasos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA), poliinsaturados (PUFA), los ácidos grasos n-3, los ácidos grasos n-6 y la relación n-

6/n-3. Los índices de saturación (S/P), aterogénico (AI) y trombogénico (TI) se calcularon con las fórmulas descritas por Ulbricht y Southgate (1991):

$$S/P = (C14:0 + C16:0 + C18:0)/\Sigma MUFA + \Sigma PUFA$$

$$AI = (C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0)/[\Sigma MUFA + \Sigma(n\text{-}6) + \Sigma(n\text{-}3)]$$

$$TI = (C14:0 + C16:0 + C18:0)/[0.5 \times \Sigma MUFA + 0.5 \times \Sigma(n\text{-}6) + 3 \times \Sigma(n\text{-}3) + \Sigma(n\text{-}3)/(n\text{-}6)]$$

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS (SAS, 2004), donde los efectos del Zn-Met, el pigmento de flor de Cempasúchil, la edad al sacrficio y sus interacciones en las canales y la carne fueron analizados con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + W_j + S_k + (D_i \times W_j) + (D_i \times S_k) + (W_j \times S_k) + (D \times W \times S)_{ijkl} + e_{ijkl},$$

donde Y_{ijkl} corresponden a las variables de estudio; μ para la media de la población; D_i, para el efecto del Zn-Met (0 mg/kg^{-1}-200 mg/kg^{-1}); W_j, para el efecto del pigmento de flor de Cempasúchil (0 mg/kg^{-1}-80 mg/kg^{-1}); S_k para el efecto de la edad al sacrificio (68-82 días de edad); $(D_i \times W_j)$ para efecto de la interacción de Zn-Met y pigmento de flor de Cempasúchil; $(D_i \times S_k)$ para el efecto de la interacción de Zn-Met y la edad al sacrificio; $(W_j \times S_k)$ para el efecto de la interacción del pigmento de flor de Cempasúchil y la edad al sacrificio; $(D \times W \times S)_{ijkl}$ para el efecto de la interacción de Zn-Met, el pigmento de la flor de Cempasúchil y la edad al sacrificio y e_{ijkl} para el error aleatorio.

Cada animal se consideró como una unidad experimental de todas las variables de respuesta. Los datos se presentan como la media ± y el error estándar medio (SEM) agrupado para cada tratamiento, las diferencias entre las medias se consideraron significativas cuando $P < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de la carne

Los valores de pH, índices de color, pérdida de agua por cocción y fuerza de corte en el musculo LTL son mostrados en la tabla 2. Existen interacciones en los valores de pH a 45 min y 24 h ($P < 0.05$) en conejos alimentados con 200 mg/kg de Zn-Met y 80 mg/kg de FC. En el color de la carne, los valores de L* muestran interacciones ($P < 0,05$) entre los factores evaluados para Zn-Met*EM y FC*EM. Valores superiores de estos parámetros se observaron en la inclusión de 80 mg/kg de FC y los conejos que se mataron a los 68 días de edad ($P < 0,05$). Con respecto a los colores b* y C* hubo interacciones ($P < 0.05$) entre los factores evaluados para FC y EM, siendo así 68 d la edad de sacrificio el parámetro más alto ($P < 0.05$).

En color H*, perdida de agua y fuerza de corte no hubo interacciones ($P > 0.05$) entre Zn-Met, M y EM. Sin embargo, los conejos matados a los 68 d de edad mostraron valores superiores ($P < 0.05$) en el Color H*, perdida de agua y valores inferiores ($P < 0.05$) en fuerza de corte.

Se han reportado diferencias en los valores de L*, a* y b* por efecto de la edad al sacrificio causado por una disminución en el metabolismo de oxidación durante el crecimiento y menor cantidad de mioglobina (Hernandez *et al.,* 2004): también durante el inicio del *rigor mortis*, el uso de glucógeno en las células musculares disminuye causando valores más bajos de pH, incrementado la luminosidad de la carne (Ouhayoun y Dalle-Zotte, 1993). Carrilho *et al.* (2009) observaron que la ganancia de peso (2 kg a 2.3 kg) a la misma edad de sacrificio afecta el color disminuyendo el valor b*, sin embargo, este efecto se pierde a los 15 minutos debido a la homogeneización del color en la carne fresca, independientemente de la dieta y el peso al sacrificio. La exposición al oxigeno afecta los valores de L*, a*, b* y C* en la carne y está asociado con mayor tiempo de exposición de la carne al ambiente y temperatura, las modificaciones de color son ocasionadas por efecto del consumo de oxígeno en la mitocondria (Young *et al*., 1999). El Chroma (C*) y el Hue Angle (H*) indican las variaciones a* y b*, ya que se calculan a partir de estos componentes cromáticos.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos experimentales en la calidad de la carne del musculo *longissimus thoracis et lumborum* de conejos en etapa de crecimiento finalización con dos edades de sacrificio.

	Zn-Met[1]		FC[2]		EM[3]			Valor de p[4]						
	0 mg/kg	200 mg/kg	0 mg/kg	80 mg/kg	68 días	82 días	EEM[9]	Zn-Met[1]	FC[2]	EM[3]	Zn-Met*FC[5]	Zn-Met*EM[6]	FC*EM[7]	Zn-Met*FC*EM[8]
pH 45 min	6.54	6.54	6.55	6.53	6.53	6.54	0.027	0.903	0.420	0.838	0.002	0.298	0.828	0.028
pH 24 h	5.42	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	0.040	0.815	0.734	0.896	0.001	0.342	0.790	0.100
L*	58.19	58.24	57.92	58.49	58.74	57.74	0.309	0.838	0.031	0.001	0.720	0.037	0.002	0.292
a*	3.79	3.85	3.79	3.85	3.88	3.77	0.143	0.737	0.577	0.489	0.186	0.895	0.117	0.379
b*	2.85	2.60	2.69	2.74	3.00	2.45	0.120	0.034	0.478	<0.001	0.562	0.375	0.025	0.721
C*	4.86	4.77	4.77	4.86	5.11	4.54	0.140	0.288	0.541	<0.001	0.104	0.555	0.002	0.178
H*	35.56	35.52	34.53	36.52	37.88	33.31	1.380	0.949	0.101	0.001	0.656	0.722	0.105	0.193
PAC[a], (%)	32.31	32.30	32.13	32.46	32.93	31.75	0.370	0.864	0.273	0.001	0.284	0.870	0.090	0.786
FC[b], (kg/cm^2)	2.40	2.41	2.43	2.39	2.05	2.75	0.228	0.828	0.478	<0.001	0.838	0.384	0.882	0.173

[1]Zn-Met, zinc metionina; [2] FC, flor de Cempasuchil; [3]EM, Edad de sacrificio; [5]Zn-Met*FC, efecto de la interacción de zinc metionina y flor de Cempasúchil; [6]Zn-Met*EM, efecto de interacción de zinc metionina y la edad de sacrificio; [7]FC*EM, interacción de la flor de Cempasúchil y la edad de sacrificio; [8] efecto de la interacción de zinc metionina, flor de Cempasúchil y la edad de sacrificio.
[4]Valor de p, para el efecto de los tratamientos y sus interacciones.
[9]EEM, Medias ± del Error estándar de la media por grupo.
[a]PAC, Perdida de agua por cocción.
[b]FC, Fuerza de corte.

En el presente estudio, se observó la disminución de L*, C* y H^o en los conejos matados a los 82 días de edad. Koziol, Maj y Bienik (2015) mencionan que existe una correlación entre L*, C* y H^o, donde las tres variables incrementan o disminuyen su valor en forma coordinada. Trocino, *et al.* (2015) no observaron diferencias para las variables de pH y color asociado a aumento de la edad al comparar 2 edades al sacrificio (76 y 83 días) en conejos de la línea Hyplus mientras que Dalle-Zotte *et al.* (1996) encontraron diferencias en el pH a las 24 horas pero no en la luminosidad cuando comparó tres edades al sacrificio 55, 80 y 87 días, obteniendo el valor más elevado en los animales más jóvenes.

En patos de Pekin alimentados con dietas adicionadas con diferentes niveles de sulfato de zinc (27.52 mg/kg, 44.47 mg/kg, 61.40 mg/kg, 88.87 mg/kg, 152.23 mg/kg y 267.87 mg/kg), se observó que al incrementar la cantidad del mineral disminuyó la luminosidad de la carne (Wen *et al.,* 2019). Por otro lado, en borregos alimentados con dietas que contenían óxido de zinc (80 mg/kg), zinc metionina (80 mg/kg), y una mezcla de óxido de zinc con zinc metionina (40 mg/kg de cada fuente de zinc para obtener un total de 80 mg/kg) se observó que la carne con mayor luminosidad se obtuvo de los animales alimentados con zinc metionina (Rodriguez-Maya *et al.,* 2019). Por otro lado, en pollos de engorda alimentados con dietas adicionadas con zinc se han reportado resultados contradictorios en la luminosidad de la carne (Qudsieh *et al.,* 2018; Norouzi *et al.,* 2014) mientras que en bovinos de engorda alimentados con dietas adicionadas con 80 mg/kg zinc metionina fue menor el valor de b* comparado con los animales alimentados con dietas que no contenían dicho aditivo (Rodriguez-Gaxiola *et al*., 2015) además en conejos alimentados con dietas adicionadas con tres fuentes diferentes de zinc no se reportaron diferencias significativas en el color de la carne (Chrastinová *et al.,* 2015). Los cambios en el color por la adición en las dietas con zinc pueden ser por su función antioxidante a través de la disminución de proceso oxidativo y de los electrones de transporte de cadena, además, por la asociación positiva con el hierro que puede influir en el valor de a* (Rodriguez-Maya, 2019).

La FC es utilizado en la avicultura como pigmento de la carne de pollos de engorda o huevos producidos por las gallinas de postura ocasionando un color amarillo característico, preferido por los consumidores de distintos países (Hudon, 1994). Peiretti *et al*. (2013) administraron pulpa de jitomate en dietas para conejos al 3% y 6%, observaron un incremento en los valores de b* y C* en la carne de los animales con dietas adicionadas con el 6% de dicho ingrediente, lo cual, fue asociado al elevado contenido de carotenos presentes en la pulpa. La mioglobina es la molécula más importante en el color de la carne, cuando se presenta en forma de oximioglobina que otorga un color rojo brillante característico de la carne fresca y la metamioglobina que provoca una coloración marrón; la diferencia del color radica en el estado de oxidación del hierro presente en la mioglobina mientras en la oximioglobina se presenta en su forma ferrosa (Fe^{2+}), mientras que, la metamioglobina lo hace en la forma férrica (Fe^{3+}) (Suman y Joseph, 2013). La adición de antioxidantes en la dieta puede mejorar la estabilidad del color de la carne durante su conservación y alargar el periodo de vida de anaquel. La capacidad antioxidante de FC puede ser similar al de la vitamina E; Wang (2017) comparó diferentes niveles de inclusión de extracto de flor de Cempasuchil (0%, 0.075%, 0.15%, 0.30% y 0.60%) y analizó la capacidad antioxidante encontrando mayores valores en las enzimas dismutasa y glutatión peroxidasa las cuales evitan el daño ocasionado por las especies reactivas a oxígeno, radicales libres y además, catalizan la descomposición de peróxido de hidrogeno, por otro lado, obtuvieron un menor contenido de malondialdehído que se deriva de la oxidación lipídica, estos resultados fueron en los animales que consumieron alimento con mayor concentración del extracto de Flor de Cempasuchil.

De acuerdo con los resultados de Pla (2008) los conejos de mayor edad, mayor peso al sacrificio y alimentados con una dieta orgánica presentaron valores más elevados en la prueba de fuerza corte comparados con animales más jóvenes, con menor peso al sacrificio y alimentados con dietas convencionales. Por otro lado, Trocino *et al*. (2015) no reportaron diferencias significativas en la prueba de perdida por cocción al comparar dos edades al sacrificio 76 y 83 días, sin embargo, en la prueba de fuerza de corte, el mayor puntaje fue obtenido en los conejos con mayor edad, siendo la carne más dura. La disminución de la perdida de agua por cocción en animales de mayor peso es asociada al aumento del tejido adiposo y a un menor contenido de humedad del musculo (Fortin, 1982). A pesar de presentar diferencias significativas los resultados obtenidos en esta investigación son considerados como carne muy blanda en la escala utilizada por Belew, Brooks, McKenna y Savell (2003).

Características de la canal

La cantidad (g y %) de hueso, musculo y tejido adiposo disectible en la canal son presentados en la tabla 3. Se observó interacción del peso de hueso (g) en la canal (P<0.05) entre Zn-Met, FC, en donde se encontraron valores más altos (P<0.05) en conejos matados a los 82 d de edad (g y %). Con respecto a la cantidad de músculo (g) los conejos matados a los 82 d de edad mostraron valores más altos (P < 0.05), y además se observó una interacción en el porcentaje (%) de músculo respecto a la canal entre Zn-Met y EM (P <0,05). Con respecto a la cantidad del contenido adiposo disectible de la canal (g y %) existió interacción entre Zn-Met y EM (P<0.05) valores más altos en los conejos matados a los 82 d (P<0.05).

Los coeficientes alometricos de los huesos, músculos y tejido adiposo son diferentes entre sí. Los músculos y huesos tienen mayor crecimiento durante las primeras semanas de vida después disminuyen; sin embargo, en el tejido adiposo se incrementa conforme aumenta la edad (Deltoro y López, 1985), esto explica las diferencias encontradas en el contenido y porcentaje de tejido adiposo, musculo y hueso de las canales en el presente estudio. También la acumulación de grasa depende de la cantidad de energía ingerida en el alimento, y los procesos metabólicos, como la lipogénesis y la lipolisis (Huang *et al*., 2008). Martínez-Alvaro *et al.* (2017) evaluaron en conejos la actividad enzimática de las enzimas lipogénicas, lipolíticas, glucolíticas y de oxidación a las 9 y 13 semanas de edad en los músculos *longissimus dorsi*, *semimembranosus propius* y la grasa perirenal observando un incremento en la actividad enzimática en las enzimas glucosa 6 fosfato, málica y la ácido graso sintetasa en los individuos con mayor edad, las cuales favorecen la deposición de grasa; por otro lado, la actividad de las enzimas glucoliticas fueron similares en ambas edades y las enzimas lipoliticas disminuyeron con el aumento de la edad. La enzima glucosa 6 fosfato deshidrogenasa es requerida para la síntesis *de novo* de los ácidos grasos y se ha asociado al incremento en el marmoleo de la carne en bovinos (Martínez-Alvaro *et al.,* 2017), la enzima málica está involucrada en el suministro de NADPH para la síntesis reductora de ácidos grasos y la enzima ácido graso sintetasa cataliza el último paso de la lipogénesis, además, determina la capacidad máxima para sintetizar ácidos grasos en el tejido adiposo (Huang *et al*., 2008).

A pesar de no encontrar diferencias significativas se observó una tendencia a incrementar el contenido de tejido adiposo en la carne de los conejos alimentados con las dietas adicionadas con Zn-Met. En cerdos alimentados con dietas que contenían 29, 250, 380, 570 y 760 mg/kg de óxido de zinc se observó incremento del contenido de grasa intramuscular, el porcentaje de grasa en la carne y la grasa dorsal conforme se aumentó la dosis del mineral, además se aumentó la actividad de las enzimas lipoproteína lipasa, ácido graso sintetasa y acetil CoA carboxilasa las cuales son enzimas lipogénicas, mientras que, las actividad enzimática de la lipasa y carnitina palmitoil transferasa que son lipolíticas, disminuyeron (Zhang *et al.,* 2014).

Composición química nutricional y composición de ácidos grasos en el musculo LTL

La composición química nutricional y composición de ácidos grasos en el musculo LTL se muestran en la tabla 4. Existió interacción en el contenido de ($g/100g^{-1}$) de proteína cruda (P<0.05) entre Zn-Met, FC y EM; con respecto al contenido de humedad y extracto etéreo ($g/100g^{-1}$) se encontró diferencia (P<0.05) lo cual estuvo influenciado por la edad al sacrificio.

En la composición de ácidos grasos no se encontró interacción (P>0.05) en C12:0, C14:0, C16:0, C16:1 y C17:0. Por otro lado, se encontró una triple interacción (P<0.05) C14:0, influenciada por Zn-Met, FC y EM. Con respeto a C15:00 se observó una doble interacción (P<0.05) entre Zn-Met*FC y FC*EM, siendo los conejos matados a los 82 d de edad los que mostraron los valores altos (P<0.05). El ácido esteárico (C18:0) mostro una doble interacción (P<0.05) entre Zn-Met*EM y FC*EM; sin embargo, el oleico (C18:1n9C) mostro interacción (P<0.05) entre Zn-Met *EM; siendo la carne de los conejos matados a los 82 d de edad con los valores más altos (P<0.05). La EM incremento el contenido de ácidos grasos saturados (SFA), mientras que, existió una interaccion entre Zn-Met*EM (P<0.05) en el contenido de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) siendo los conejos matados a los 82 d de edad los que presentaros los valores altos (P<0.05). A la vez se mostró efecto entre ácidos grasos saturados y ácidos grasos insaturados influenciado por la EM (P<0.05).

Tabla 3 Efecto de los tratamientos y las edades de matanza sobre el peso y porcentajes de los huesos, músculos y tejido adiposo disectible de las canales de conejos en etapa crecimiento finalización.

	Zn-Met[1]		FC[2]		EM[3]			Valor de P[4]						
	0 mg/kg	200 mg/kg	0 mg/kg	80 mg/kg	68 días	82 días	EEM[9]	Zn-Met[1]	FC[2]	EM[3]	Zn-Met*FC[5]	Zn-Met*EM[6]	FC*EM[7]	Zn-Met*FC*EM[8]
Hueso (g)	162.72	165.69	164.56	163.83	157.47	171.19	3.399	0.327	0.802	<0.001	0.278	0.269	0.997	0.032
Musculo (g)	885.47	895.67	879.75	901.13	789.45	994.28	21.433	0.429	0.172	<0.001	0.337	0.205	0.810	0.126
Tejido adiposo (g)	86.54	95.29	86.00	95.72	70.89	111.14	6.020	0.066	0.059	<0.001	0.200	0.001	0.069	0.467
hueso (%)	14.54	14.56	14.79	14.31	15.60	13.44	0.387	0.996	0.196	<0.001	0.179	0.584	0.761	0.359
Musculo (%)	77.97	77.49	77.80	77.67	77.52	77.95	0.451	0.284	0.763	0.334	0.742	0.021	0.205	0.341
Tejido adiposo (%)	7.49	7.95	7.41	8.02	6.88	8.61	0.396	0.149	0.085	<0.001	0.322	0.001	0.062	0.773

[1]Zn-Met, zinc metionina; [2] FC, flor de Cempasuchil; [3]EM, Edad de matanza; [5]Zn-Met*FC, efecto de la interacción de zinc metionina y flor de Cempasúchil; [6]Zn-Met*EM, efecto de interacción de zinc metionina y la edad de matanza; [7]FC*EM, interacción de la flor de Cempasúchil y la edad de matanza; [8] efecto de la interacción de zinc metionina, flor de Cempasúchil y la edad de matanza.
[4]Valor de p, para el efecto de los tratamientos y sus interacciones.
[9]EEM, Medias ± del Error estándar de la media por grupo.

Tabla 4 Efecto de los tratamientos y las edades de sacrificio sobre la composición de ácidos grasos (% de los ácidos grasos totales) y la composición química (g/100g^{-1}) del musculo *longissimus thoracis et lumborum* en conejos en etapa de crecimiento finalización.

	Zn-Met[1]		FC[2]		EM[3]			Valores de P[4]						
	0 mg/kg	200 mg/kg	0 mg/kg	80 mg/kg	68 días	82 días	EEM[9]	Zn-Met[1]	FC[2]	EM[3]	Zn-Met*FC[5]	ZnMet *EM[6]	FC*EM[7]	ZnMet* FC*EM[8]
Humedad	74.26	74.07	74.14	74.19	74.80	73.53	0.227	0.293	0.758	<0.001	0.303	0.812	0.186	0.936
Proteína	19.28	19.48	19.29	19.47	18.65	20.11	0.337	0.419	0.475	<0.001	0.754	0.612	0.431	0.049
Extracto etéreo	3.84	3.96	3.92	3.88	3.58	4.23	0.231	0.629	0.915	0.005	0.811	0.521	0.947	0.742
Cenizas	1.27	1.32	1.29	1.29	1.28	1.30	0.034	0.152	0.884	0.62	0.072	0.885	0.713	0.243
Composición de ácidos grasos														
C12:0	0.20	0.18	0.20	0.18	0.25	0.12	0.039	0.729	0.514	0.001	0.745	0.864	0.824	0.980
C14:0	2.42	2.37	2.42	2.37	2.38	2.41	0.072	0.434	0.522	0.658	0.349	0.335	0.797	0.025
C15:0	0.36	0.36	0.38	0.35	0.34	0.38	0.017	0.622	0.032	0.018	0.017	0.081	0.010	0.367

	Zn-Met[1]		FC[2]		EM[3]			Valores de P[4]						
	0 mg/kg	200 mg/kg	0 mg/kg	80 mg/kg	68 días	82 días	EEM[9]	Zn-Met[1]	FC[2]	EM[3]	Zn-Met*FC[5]	ZnMet *EM[6]	FC*EM[7]	ZnMet* FC*EM[8]
C16:0	27.66	27.76	28.08	27.34	28.19	27.23	0.433	0.812	0.077	0.023	0.280	0.689	0.101	0.335
C16:1	4.44	4.81	4.70	4.56	4.08	5.17	0.355	0.259	0.673	0.002	0.830	0.823	0.569	0.808
C17:0	0.58	0.64	0.60	0.62	0.57	0.66	0.440	0.150	0.594	0.040	0.060	0.080	0.877	0.896
C18:0	7.40	7.24	7.18	7.46	7.27	7.36	0.177	0.288	0.063	0.539	0.043	0.852	<0.001	0.093
C18:1n9C	31.67	31.11	31.20	31.59	30.84	31.95	0.429	0.125	0.281	0.004	0.768	0.004	0.562	0.479
C18:2n6C	19.95	19.84	19.80	19.99	20.41	19.38	0.639	0.866	0.775	0.116	0.882	0.298	0.838	0.974
C18:3n3	1.11	1.06	1.11	1.06	1.14	1.03	0.059	0.448	0.387	0.066	0.171	0.052	0.936	0.274
C20:4n6	2.67	2.62	2.67	2.63	2.72	2.58	0.177	0.761	0.824	0.472	0.945	0.227	0.856	0.740
Otros	1.84	2.04	1.87	2.00	1.85	2.02	0.203	0.352	0.556	0.428	0.998	0.415	0.923	0.991
AGS[a]	38.45	38.55	38.83	38.16	39.01	37.99	0.469	0.830	0.153	0.034	0.901	0.656	0.574	0.719
AGMS[b]	36.12	35.92	35.89	36.15	34.92	37.12	0.616	0.692	0.600	<0.001	0.940	0.018	0.960	0.491
AGPS[c]	23.60	23.47	23.39	23.68	24.21	22.86	0.716	0.860	0.682	0.063	0.902	0.253	0.723	0.806
PUFA-n3[d]	1.11	1.06	1.11	1.06	1.14	1.03	0.059	0.448	0.387	0.066	0.171	0.052	0.936	0.274
PUFA n-6[e]	22.63	22.69	22.58	22.74	23.28	22.03	0.751	0.935	0.830	0.106	0.748	0.264	0.643	0.968
n6/n3[f]	21.01	21.95	20.89	22.02	20.90	22.01	1.537	0.576	0.476	0.479	0.251	0.188	0.677	0.519
S/P[g]	0.63	0.63	0.64	0.62	0.64	0.62	0.012	0.767	0.188	0.036	0.949	0.599	0.591	0.658
Índice aterogénico	0.62	0.63	0.64	0.61	0.64	0.61	0.018	0.623	0.127	0.061	0.865	0.911	0.183	0.487
Índice trombogénico	1.14	1.16	1.16	1.14	1.17	1.13	0.021	0.533	0.213	0.055	0.510	0.828	0.759	0.921

[1]Zn-Met, zinc metionina; [2] FC, flor de Cempasúchil; [3]EM, Edad de sacrificio; [5]Zn-Met*FC, efecto de la interacción de zinc metionina y flor de Cempasúchil; [6]Zn-Met*EM, efecto de interacción de zinc metionina y la edad de sacrificio; [7]FC*EM, interacción de la flor de Cempasúchil y la edad de sacrificio; [8] efecto de la interacción de zinc metionina, flor de Cempasúchil y la edad de sacrificio.

[4]Valor de p, para el efecto de los tratamientos y sus interacciones.

[9]EEM, Medias ± del Error estándar de la media por grupo.

[a]AGS, Ácidos grasos saturados, [b]AGMS, Ácidos grasos monoinsaturados; [c]AGPS, Ácidos grasos poliinsaturados; [d]PUFA-n3, ácidos grasos omega 3; [e]PUFA-n6, ácidos grasos omega 6; [f]n6/n3, relación de ácidos grasos omega 6 y omega 3; [g]S/P, relación de ácidos grasos saturados y ácidos grasos poliinsaturados.

En lo referente al análisis químico proximal, se observó que la humedad del musculo LTL disminuyó en los animales matados a los 82 días, por lo tanto, aumentó su proporción de proteína y extracto etéreo comparado con los animales matados a los 68 días. North *et al*. (2017) evaluaron la composición química de la raza California y una línea hibrida (Nueva Zelanda x California) a las 9, 11, 13 ,15 y 17 semanas de edad determinando una disminución del contenido de humedad conforme aumentaron la edad, además, observaron el mayor contenido de proteína a las 9 y 11 semanas y posteriormente disminuyó; también el contenido de grasa incrementó con la edad al sacrificio independientemente de la raza o línea. Pla *et al*. (1998) compararon 3 líneas genéticas (dos líneas seleccionadas por el tamaño de la camada al destete y una por la ganancia diaria de peso) matados a diferentes pesos: bajo, medio y alto, obteniendo menor contenido de humedad y mayor cantidad de los lípidos en el grupo de mayor peso al sacrificio. Dalle-Zotte (2002) menciona que el incremento de la carne y su contenido de grasa están en detrimento del contenido de agua lo cual cambia el olor o el sabor de la carne.

Gasperlin *et al*. (2006) evaluaron los ácidos grasos en una muestra homogénea de los musculos *Longissimus thoracis et lumborum*, de la pared abdominal y de la pierna en dos genotipos y dos edades al sacrificio (77 y 90 días) encontrando diferencias significativas en el ácido palmitoleico (C16:1) en los animales de mayor edad además obtuvieron una menor relación n6/n3. En el presente estudio se encontró un aumento en los MUFA y disminución en los SFA lo cual mejoro el índice de saturación. El perfil de ácidos grasos varía entre las diferentes especies, los individuos, la edad al sacrificio y los diferentes tejidos del organismo. (Wood *et al*., 2008). Dalle- Zotte (2002) menciona que la cantidad de ácidos grasos insaturados en la carne de conejo representa del 54 al 60% del total de ácidos grasos, de los cuales los PUFA representan el 23%, en esta investigación los ácidos grasos insaturados y PUFA son similares a los antes descritos en ambas edades al sacrificio. Zomeño *et al.* (2013) seleccionaron dos líneas divergentes, una fue seleccionada para producir un alto contenido de grasa intramuscular y la otra línea con bajo contenido de grasa intramuscular al realizar correlaciones entre distintas variables de la canal y la carne encontraron mayores valores en los MUFA y SFA en los conejos de alto contenido de grasa intramuscular, por otro lado, el porcentaje de PUFA, n-3 y n-6 fueron mayores en la línea de bajo contenido de grasa intramuscular. Las principales enzimas involucradas en la formación de ácidos grasos insaturados son la Δ-5, Δ-6 y Δ-9 desaturasas, respectivamente; Benatmane *et al.* (2011) evaluaron linaza en dietas para conejos de engorda, observaron una disminución en la proporción de MUFA y una disminución en la actividad de la enzima Δ-9 desaturasa en los animales alimentados con dicho ingrediente, concluyendo que los cambios en MUFA pudieron ser ocasionados por una menor actividad de la enzima. Las enzimas Δ-5 y Δ-6 desaturasas pueden ser afectadas por el nivel de los ácidos grasos alfa linolenico, ácido linoleico, el estado metabólico y el genotipo, estas enzimas son importantes porque son el principal mecanismo de elongación y desaturación de los ácidos grasos precursores de los n-3 (Dal Bosco *et al.,* 2014).

El índice de saturación (S/P) indica el valor dietético de la carne teniendo en cuenta que los ácidos grasos saturados incrementan el riesgo de padecer problemas cardiovasculares; mientras que, los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados disminuyen el riesgo (Dalle Zotte y Szendrő, 2011). En la presente investigación el índice S/P en los conejos matados a los 82 días de edad fue de 0.62 mientras que los de 68 días fue de 0.64, sin embargo, el nivel óptimo recomendado es de 0.45 (Department of Healt and Social Security UK, 1994). Andrade *et al,* (2018) realizo un estudio incluyendo aceites de soya, girasol, algodón, cebo de bovino y grasa de pollo en dietas para conejos, observando, que la fuente de lípidos de origen vegetal contenían menor cantidad de grasas saturadas comparados con la carne de conejo que consumieron lípidos de origen animal; por otro lado, Rasinska *et al*, (2018) Evaluó el contenido de ácidos grasos en diferentes cortes de la canal de conejos en donde obtuvo valores de ácidos grasos saturados similares a los del presente estudio en el musculo *Longissimus dorsi*. El contenido de ácidos grasos presentes en la carne de conejo va a estar influenciada por la composición de ácidos grasos que consumen en el alimento, sin verse afectado por la inclusión de Zn-Met, FC y EM.

Se observó que en las interacciones Zn-Met*TE y FC*EM hubo un incremento en el porcentaje de ácido esteárico, Emken (1994) reportó que se absorbe un 92% a partir de la dieta pero también puede ser producido de forma endógena a partir de otros ácidos grasos, ya que forma parte de los ácidos grasos no esenciales (Lin *et al*., 1993). Por otro lado, la acción de la enzima steatoryl CoA desaturasa, el ácido esterico puede ser desaturado

en ácido oleico (C18:1n9C) (Wood *et al.*, 2008) así mismo el ácido oleico puede saturarse para formar ácido esteárico (Lin *et al.*, 1993).

CONCLUSIONES

La adición de Zn-Met modificó el color del musculo LTL disminuyendo el valor de b* mientras que la FC incrementó la luminosidad (L*). La edad al sacrificio fue el factor que más afectó las características de la canal y la calidad de la carne. En los conejos con mayor edad al sacrificio disminuyeron los parámetros del color (L*, b*, C* y H*) excepto el componente cromático a*, también se obtuvo menor porcentaje de perdida de agua por cocción y aumentó la dureza de la carne, además se incrementó el tejido adiposo. En la composición química nutricional de la carne disminuyo el contenido de humedad, modificando el contenido de proteína cruda y extracto etéreo los cuales se incrementaron. Finalmente, la cantidad de MUFA fue incrementado conforme incremento la edad, los SFA disminuyeron lo cual mejoró el índice de saturación (S/P) del musculo LTL.

Funding. This research was funded by the Autonomous University of the State of Mexico and by the National Council of Science and Technology of the Government of Mexico.

Conflict of interest. By this conduct, the authors of the article entitled "Carcass characteristics and meat quality of rabbits supplemented with zinc methionine and/or marigold pigment at two ages at slaughter", declare that we do not have conflict of interest of any kind with anybody.

Compliance with ethical standards. This research was approved by the Bioethics and Animal Welfare Committee of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics of the Autonomous University of the State of Mexico.

Data availability. The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Author Contribution Statement (CRediT). P.A Garcia-Martinez- Investigation, Writing—Original Draft**, J.E Sanchez-Torres –** Conceptualization, Methodology, Formal analysis, project administration**, I.A. Dominguez-Vara –** Conceptualization, Methodology, Formal analysis, project administration**, E Morales-Almaraz –** Supervision, Writing—review and editing, **J.P Galeano-Diaz –** Investigation, methodology**, L. A Mejia-Uribe –** Writing - review and editing**, B Valladares-Carranza** – Conceptualization, Writing - review and editing**, J.E Ramirez-Bribiesca –** Methodology**,** Supervision.

REFERENCES

Andrade, T.H.L.D., Pascoal, L.A.F., Martins, T.D.D., Silva, J.H.V., Silva, J.F.D., Watanabe, P.H. and Ferreira, V.C.D.S., 2018. Performance, fatty acids profile and oxidative stability of meat of rabbits fed different lipid sources. *Food Science and Technology*, 38(Suppl. 1), pp. 351-356. https://doi.org/10.1590/fst.20017

AOAC., 2007. *Official methods of analysis*. (18th ed). Maryland, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Belew, J.B., Brooks, J.C., McKenna, D.R. and Savell, J.E., 2003. Warner–Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science*, 64(4), 507-512. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00242-5

Benatmane, F., Kouba, M., Youyou, A. and Mourot, J., 2011. Effect of a linseed diet on lipogenesis, fatty acid composition and stearoyl-CoA-desaturase in rabbits. *Animal*, 5(12), pp. 1993-2000. https://doi.org/10.1017/S1751731111001145

Blasco, A., Ouhayoun, J. and Masoero, G., 1993. Harmonization criteria and terminology in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 1(1), pp.3-10. https://doi.org/10.4995/wrs.1993.189

Carrilho, M.C., Campo, M.M., Olleta, J.L., Beltran, J.A. and Lopez, M., 2009. Effect of diet, slaughter weight and sex on instrumental and sensory meat characteristics in rabbits. *Meat Science*, 82(1), pp.37-43. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.11.018

Chrastinová, Ľ., Čobanová, K., Chrenková, M., Poláčiková, M., Formelová, Z., Lauková, A., Ondruška, Ľ., Simonová-Pogány, M., Strompfová, V., Bučko, O., Mlyneková, Z., Mlyneková, Z., Mlynár, R. and Grešáková, Ľ., 2015. High dietary levels

of zinc for young rabbits. *Slovak Journal of Animal Science*, 48(2), pp. 57-63. https://office.sjas-journal.org/index.php/sjas/article/view/186/174

CIE., 1976. Recomendations on uniform colour spaces-colour difference equations, psychometric colour terms. *Supplement no.2 to CIE publication no.15 (E-1.3.1) 1978,1971/(TC-1-3).* Paris France: Commision International de l´Eclairage.

Coulston, L. and Dandona, P., 1980. Insulin-like effect of zinc on adipocytes. *Diabetes*, *29*(8), pp.665-667. https:///doi.org/10.2337/diab.29.8.665

Cruz, K.J.C., de Oliveira, A.R.S., Morais, J.B.S., Severo, J.S., Mendes, P.M.V., de Sousa Melo, S.R., Santos de Sousa, G. and do Nascimento Marreiro, D., 2018. Zinc and insulin resistance: biochemical and molecular aspects. *Biological Trace Element Research*, 186(2), pp. 407-412. https://doi.org/10.1007/s12011-018-1308-z

Dal Bosco, A., Mugnai, C., Roscini, V., Mattioli, S., Ruggeri, S. and Castellini, C., 2014. Effect of dietary alfalfa on the fatty acid composition and indexes of lipid metabolism of rabbit meat. *Meat Science*, *96*(1), 606-609. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.027

Dalle Zotte, A., 2002. Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Production Science*, 75(1), pp.11-32. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00308-6

Dalle Zotte, A., Ouhayou, J., Parigi Bini R. and Xiccato, G., 1996. Effect of age, diet and sex on muscle energy metabolism and on related physicochemical traits in the rabbit. *Meat Science*, 43(1), pp. 15-24. https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00066-6

Dalle Zotte, A. and Szendrő, Z., 2011. The role of rabbit meat as functional food. *Meat science*, 88(3), pp.319-331. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.02.017

Deineka, V.I., Sorokopudov, V.N., Deineka, L.A. and Tret'yakov, M.Y., 2007. Flowers of marigold (Tagetes) species as a source of xanthophylls. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, *41*, pp.540-542. https://doi.org/10.1007/s11094-008-0007-z

Deltoro, J. and Lopez, A.M., 1985. Allometric changes during growth in rabbits *The Journal of Agricultural Science*, 105(2), pp.339-346. https://doi.org/10.1017/S0021859600056392

Department of Health and Social Security., 1994. *Nutritional aspects of cardiovascular disease. Report on health and social subjects*. London: H.M. Stationery Office.

Emken, E. A., 1994. Metabolism of dietary stearic acid relative to other fatty acids in human subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 60(6), pp.1023S-1028S. https://doi.org/10.1093/ajcn/60.6.1023S

Fortin, A., 1982. Carcass composition of yorkshire barrows and gilts slaughtered between 85 and 112 kg body weight. *Canadian Journal of Animal Science*, 62, pp. 69-76. https://doi.org/10.4141/cjas82-007

Gasperlin, L., Polak, T., Rajar, A., Skvarèa, M. and Zlender, B., 2006. Effect of genotype, age at slaughter and sex on chemical composition and sensory profile of rabbit meat. *World Rabbit Science*, 14(3), pp.257-166. https://doi.org/10.4995/wrs.2006.558

Greene, L.W., Lunt, D.K., Byers, F.M., Chirase, N.K., Richmond, C.E., Knutson, R.E. and Schelling, G.T., 1988. Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *Journal of Animal Science*, *66*(7), pp. 1818-1823. https://doi.org/10.2527/jas1988.6671818x

Hernandez, P., Aliaga, S., Pla, M. and Blasco, A., 2004. The effect of selection for growth

rate and slaughter age on carcass composition and meat quality traits in rabbits. *Journal of Animal Science*, 82(11), pp.3138-3142. https://doi.org/10.2527/2004.82113138x

Honikel, K,O., 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Science, 49(4), pp.447-457. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5

Huang, Q.C., Xu, Z.R., Han, X.Y. and Li, W.F., 2008. Effect of dietary betaine supplementation on lipogenic enzyme activities and fatty acid synthase mRNA expression in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 140(3-4), pp.365-375. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.03.007

Hudon, J., 1994. Biotechnological applications of research on animal pigmentation. *Biotechnology advances*, 12(1), pp.49-69. https://doi.org/10.1016/0734-9750(94)90290-9

Jaramillo-Villanueva, J.L., Vargas-López, S. and Rodríguez-Guerrero, J.D., 2015. Preferencias de consumidores y disponibilidad a pagar por atributos de calidad en carne de conejo orgánico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6(2), pp.221-232. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242015000200007&lng=es&nrm=iso

Kessler, J., Morel, I., Dufey, P.A., Gutzwiller, A., Stern, A. and Geyer, H., 2003. Effect of organic zinc sources on performance, zinc status and carcass, meat and claw quality in fattening bulls. *Livestock Production Science*, 81(2-3), pp.161-171. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00262-2

Koziol, K., Maj, D. and Bieniek, J., 2015. Changes in the color and pH of rabbit meat in the aging process. *Medycyna Weterynaryjna*, 71(2), pp.104-108.

Lebas, F., 2013. Feeding strategy for small and medium scale rabbit units. *3rd Conference of Asian Rabbit Production Association.* Bali: Indonesia.

Lin, D.S., Connor, W.E. and Spenler, C.W., 1993. Are dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids deposited to the same extent in adipose tissue of rabbits?. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 58(2), pp.174-179. https://doi.org/10.1093/ajcn/58.2.174

Liu, Z.H., Lu, L., Li, S.F., Zhang, L.Y., Xi, L., Zhang, K.Y. and Luo, X.G., 2011. Effects of supplemental zinc source and level on growth performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Poultry Science*, 90(8), pp.1782-1790. https://doi.org/10.3382/ps.2010-01215

Mancini, R.A. and Hunt, M., 2005. Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), pp.100-121. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003

Martínez-Alvaro, M., Agha, S., Blasco, A. and Hernández, P., 2017. Muscle lipid metabolism in two rabbit lines divergently selected for intramuscular fat. *Journal of Animal Science*, 95(6), pp.2576-2584. https://doi.org/10.2527/jas.2017.1371

May, J.M. and Contoreggi, C.S., 1982. The mechanism of the insulin-like effects of ionic zinc. *Journal of Biological Chemistry*, 257(8), pp.4362-4368. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)34730-6

Miller, R.K., 2002. Factors affecting the quality of raw meat. In: J.P. Kerry, J.F. Kerry and D. Ledward, Eds., *Meat Processing-Improving quality*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Co. pp. 27-63.

NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domesticos y silvestres. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015(Accessed:January2018)

Norouzi, E., Daneshyar, M., Farhoomand, P., Aliakbarlu, J. and Hamian, F., 2014. Effect of zinc acetate and magnesium sulfate dietary supplementation on broiler

thigh meat colour, nutrient composition and lipid peroxidation values under continuous heat stress condition. *Annals of Animal Science*, 14(2), pp. 353-363. https://doi.org/10.2478/aoas-2014-0013

North, M.K., Nkhabutlane, P. and Hoffman, L.C., 2017. The effect of age on the carcass composition, portion yield and proximate composition of two rabbit genetic types in South Africa. *World Rabbit Science*, 25, pp.281-288. https://doi.org/10.4995/wrs.2017.6396

NRC., 1977. Nutrient Requirements of Rabbits. *National Research Council*.Washington, D.C., USA. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/35

Ouhayoun, J. and Dalle Zotte, A., 1993. Muscular energy metabolism and related traits in rabbit. A review. *World Rabbit Science*, 1(3), pp.97-108. https://doi.org/10.4995/wrs.1993.201

Peiretti, P.G., Gai, F., Rotolo, L., Brugiapaglia, A. and Gasco, L., 2013. Effects of tomato pomace supplementation on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. *Meat Science*, 95, pp.345-351. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.011

Peña, M.M., Cuevas, A.C. and González, E.A., 2004. Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel en pollos de engorda. *Técnica Pecuaria en México*, 42(1), pp.105-111. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/613/61342109.pdf

Pla, M., 2008. A comparison of the carcass traits and meat quality of conventionally and organically produced rabbits. *Livestock Science*, 115(1), pp.1-12. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.06.001

Pla, M., Guerrero, L., Guardia, D., Oliver, M. A. and Blasco, A., 1998. Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: I. Between lines comparison. *Livestock Production Science*, 54(2), pp.115-123. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00179-6

Qudsieh, R. I., Smith, D. P. and Brake, J., 2018. Effect of elevated dietary inorganic zinc on live performance, carcass yield, and quality of male and female broilers. *Poultry Science*, 97(11), pp.1-9. https://doi.org/10.3382/ps/pey274

Rasinska, E., Czarniecka-Skubina, E. and Rutkowska, J., 2018. Fatty acid and lipid contents differentiation in cuts of rabbit meat. *CyTA-Journal of Food*, 16 (1), pp.807−813. https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1488000

Rodríguez-Gaxiola, M.A., Domínguez-Vara, I.A., Barajas-Cruz, R., Mariezcurrema-Berasain, M.A., Borquez-Gastelum, J.L. and Cervantes-Pacheco, B.J., 2015. Effects of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on growth performance and carcass characteristics of beef bulls. *Canadian Journal of Animal Science*, 95(4), pp.609-615. https://doi.org/10.4141/cjas-2014-175

Rodríguez-Maya, M.A., Domínguez-Vara, I.A., Trujillo-Gutiérrez, D., Morales-Almaráz, E., Sánchez-Torres, J.E., Bórquez-Gastelum, J.L., Acosta-Dibarrat, J., Grageola-Nuñez, F. and Rodríguez-Carpena, J.G., 2019. Growth performance parameters, carcass traits, and meat quality of lambs supplemented with zinc methionine and (or) zinc oxide in feedlot system. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(3), pp.585-595. https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0153

SAS Institute Inc., 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 5136 p.

Suman, S.P. and Joseph, P., 2013. Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, pp.79-99. https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182623

Trocino, A., Filiou, E., Tazzoli, M., Birolo, M., Zuffellato, A. and Xiccato, G., 2015.

Effects of floor type, stocking density, slaughter age and gender on productive and qualitative traits of rabbits reared in collective pens. *Animal*, 9(5), pp.855-861. https://doi.org/10.1017/S1751731114003188

Ulbricht, T.L.V. and Southgate, D.A.T., 1991. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), pp.985–992. https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M

Wang, S., Zhang, L., Li, J., Cong, J., Gao, F. and Zhou, G., 2017. Effects of dietary marigold extract supplementation on growth performance, pigmentation, antioxidant capacity and meat quality in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(1), pp.71-77. https://doi.org/10.5713/ajas.16.0075

Wen, M., Wu, B., Zhao, H., Liu, G., Chen, X., Tian, G., Cai, J. and Jia, G., 2019. Effects of dietary zinc on carcass traits, meat quality, antioxidant status, and tissue zinc accumulation of pekin ducks. *Biological Trace Element Research*, 190(1), pp.187-196. https://doi.org/10.1007/s12011-018-1534-4

Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., Hughes, S.I. and Whittington, F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), pp. 343-358. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019

Yan, J.Y., Zhang, G.W., Zhang, C., Tang, L. and Kuang, S.Y., 2017.Effect of dietary organic zinc sources on growth performance, incidence of diarrhoea, serum and tissue zinc concentrations, and intestinal morphology in growing rabbits. *World Rabbit Science*, 25, pp.*43-49.* https://doi.org/10.4995/wrs.2017.5770

Young, O.A., Priolo, A., Simmons, N.J. and West, J., 1999. Effects of rigor attainment temperature on meat blooming and colour on display. *Meat Science*, 52(1), pp. 47-56. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00147-8

Zhang, H.B., Wang, M.S., Wang, Z.S., Zhou, A.M., Zhang, X.M., Dong, X.W. and Peng, Q.H., 2014. Supplementation dietary zinc levels on growth performance, carcass traits, and intramuscular fat deposition in weaned piglets. *Biological Trace Element Research*, 161(1), pp.69-77. https://doi.org/10.1007/s12011-014-0078-5

Zomeño, C., Blasco, A. and Hernández, P., 2013. Divergent selection for intramuscular fat content in rabbits. II. Correlated responses on carcass and meat quality traits. *Journal of Animal Science*, 91(9), pp. 4532-4539. https://doi.org/10.2527/jas2013-6417