

GENOTIPO, ALIMENTO Y REFRIGERACIÓN, EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL LOMO DE CONEJO

GENOTYPE, FEED TYPE AND REFRIGERATION TIME ON THE ANTIOXIDANT AND OXIDATIVE STABILITY OF RABBIT LOIN MEAT

Velázquez, R.S.R.^{1A}; Sosa M., E.²; Ramírez G., M.E.^{1B}; Pro M., A.^{1*}; Suarez L., R.^{1C}; Avila R., F.^{1D}; Hernández C., A.S.^{3A}; Narciso G., C.^{3B} y Rodríguez C., J.C.⁴

¹Programa en Ganadería. Colegio de Postgraduados. Texcoco Estado de México. México. *aproma@colpos.mx; ^Amc.velazquezr@gmail.com; ^Bmartharg@colpos.mx; ^Cjesus@colpos.mx; ^Dledifar@yahoo.com.mx

²Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Texcoco Estado de México. México. esosamontes@yahoo.com.mx

³Colegio de Postgraduados. Veracruz. México. ^Aaleyse@colpos.mx; ^Bnarciso@colpos.mx

⁴Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. México. rcjosebuap@hotmail.com

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Calidad de carne. Carne de conejo. Nutrición. Oxidación de la carne. Vida de anaquel.

ADDITIONAL KEYWORDS

Nutrition. Meat oxidation. Meat quality. Rabbit meat. Shelf life.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la actividad antioxidante (AA) de cuatro alimentos comerciales sobre la AA y la estabilidad oxidativa (EO) de lomo crudo (*Longissimus dorsi*) de conejos de tres genotipos (Nueva-Zelanda, NZ, California, CAL, y NZ*CAL) a tres tiempos de refrigeración (0, 3 y 6 días). La AA de todos los alimentos disminuyó ($p < 0,05$) a los 30 días de su almacenamiento; sin embargo, el alimento 1 presentó la mayor AA ($p < 0,05$). Con todos los genotipos y alimentos, la AA del lomo crudo disminuyó al día 6 de refrigeración excepto con NZ*CAL con el alimento 1. El genotipo NZ*CAL presentó mayor AA con el alimento 1 ($p < 0,05$) y menor con el alimento 3. Contrariamente, el genotipo NZ presentó menor AA con el alimento 1 y mayor con el alimento 3. La craza NZ*CAL presentó la mejor EO cuando recibió el alimento 1 y la peor cuando recibió el alimento 3. Contrariamente, NZ presentó la peor estabilidad oxidativa con el alimento 1 y la mejor con el alimento 3 con respecto a la craza, esto indica que la EO mejoró al aumentar la actividad antioxidante. El genotipo NZ presentó la menor EO con el alimento 4 durante todo el periodo de

refrigeración ($p < 0,05$). Adicionalmente, la EO del lomo crudo disminuyó al transcurrir el tiempo de refrigeración ($p < 0,05$). Se sugiere alimentar a NZ*CAL con alimentos con más de 85 % de AA y no refrigerar más de 6 días para prevenir el deterioro oxidativo del lomo crudo.

SUMMARY

The objective of the present study was to evaluate the antioxidant activity (AA) of four commercial feeds on the AA and oxidative stability (EO) of raw loin meat (*Longissimus dorsi*) of rabbits of three genotypes (New Zealand, NZ, California, CAL, and NZ*CAL), during three refrigerated storage times (0, 3, and 6 days). The AA of all feeds decreased at 30 days of storage; however, feed 1 showed greater AA ($p < 0.05$). In all genotypes and feeds the AA of the raw loin declined at day 6 of refrigeration, except with NZ*CAL fed feed 1. The NZ*CAL genotype showed higher AA fed feed 1 ($p < 0.05$) and lower with feed 3. In contrast, the NZ genotype showed lower AA with feed 1 and higher with feed 3. The NZ*CAL

Recibido: 21-6-13. Aceptado: 27-5-14.

Arch. Zootec. 63 (243): 531-542. 2014.

crossbreed meat had the best EO when it received feed 1 and the worst with feed 3. On the other hand, NZ showed the worst EO with feed 1 and the best with feed 3 with respect to NZ*CAL, this indicates that EO improved when AA increased. The NZ genotype showed lower EO with feed 4 during all refrigeration days ($p < 0.05$). In addition, the EO of the raw loin decreased over time in refrigeration ($p < 0.05$). It is suggested feeding NZ*CAL rabbits with feeds with more than 85 % of AA and do not refrigerate raw loin meat more than 6 days to avoid deterioration oxidative of the meat.

INTRODUCCIÓN

La carne de conejo se considera como una carne de elevado valor nutrimental por su alto contenido de proteína y baja cantidad de grasa, sodio y colesterol (Combes, 2004; Dalle Zotte, 2002). La composición del alimento influye en las características y calidad de la canal de diferentes especies (Tufarelli *et al.*, 2010; Suarez-López, 2009); también influyen el origen genético (Hernández *et al.*, 2006), el sexo al mismo peso (Pla *et al.*, 1998), el manejo ante y post mórtem y el procesamiento de la carne (Hernández *et al.*, 2002). El alimento puede modificar la ganancia de peso, la calidad de la canal y de la carne, y la composición de ácidos grasos en los diferentes tejidos del conejo, como incrementar los ácidos grasos insaturados (Bianchi *et al.*, 2006; Corino *et al.*, 2007; Kouba *et al.*, 2008). Las diferentes fuentes de grasa adicionadas al alimento también pueden influir en estas modificaciones (Xiccato, 2010). La carne con mayor cantidad de ácidos grasos insaturados es más susceptible al proceso de peroxidación de éstos (Erickson, 2007) produciendo radicales libres y aldehídos potencialmente tóxicos para la salud humana (Fellenberg y Speisky, 2006), éstos acortan la vida de anaquel y deterioran la carne produciendo rancidez, cambio de color, olor y sabor (Shahidi, 2002).

Se ha evaluado la estabilidad oxidativa de la carne de conejo, utilizando diferentes

concentraciones de suplementación de antioxidantes, ya sean sintéticos o naturales (Liu *et al.*, 2009; Selim *et al.*, 2008; Botsoglou *et al.*, 2004; López-Bote *et al.*, 1997). La inclusión de antioxidantes en la dieta inhibe la producción de radicales libres y mejora la estabilidad oxidativa de la carne (Castellini *et al.*, 1998; Corino *et al.*, 2002, 2007; Selim *et al.*, 2008). Hernández *et al.* (2002) midieron la actividad de enzimas antioxidantes en carne de dos líneas sintéticas de conejo. Sin embargo, poco se conoce de la actividad antioxidante de los alimentos comerciales para conejos y su efecto en la estabilidad oxidativa de la carne de esta especie. Por tal motivo, el presente estudio tuvo como finalidad evaluar la actividad antioxidante de 4 alimentos comerciales para conejos de engorda en 3 genotipos y 3 tiempos de refrigeración en la estabilidad oxidativa de la carne de conejo.

MATERIAL Y MÉTODOS

ANIMALES Y DIETA

Se evaluó la actividad antioxidante (AA) de cuatro alimentos comerciales (1, 2, 3 y 4) en la actividad antioxidante y estabilidad oxidativa (EO) del lomo crudo (*Longissimus dorsi*) de conejos de tres genotipos (Nueva-Zelanda, NZ, California, CAL, y NZ*CAL) a tres tiempos de refrigeración (0, 3, 6 días). Se evaluaron 12 tratamientos (alimento-genotipo) con 20 conejos de 30 días de edad cada uno, los cuales fueron criados hasta los 69 días de edad. Para la parte correspondiente a la evaluación de la carne se tomaron 10 unidades experimentales por tratamiento. Los animales, se alojaron en una caseta con jaulas provistas de bebederos automáticos tipo chupón y comederos de tolva, y se medicaron con una dosis preventiva de oxitetraciclina al inicio del experimento. La composición de uno de los alimentos se describe a continuación (g/kg), de los otros tres no fue posible obtenerla: salvado de trigo (340,96); alfalfa deshidratada (120); cascarilla de soya (117,43);

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y OXIDACIÓN DE LOMO CRUDO DE CONEJO

pasta de canola (90); pasta de cártamo (80); pulido de arroz (80); melaza (50); pasta de soya (34,42); granillo de trigo (30); maíz amarillo (20); premezcla de vitaminas y minerales (20); carbonato de calcio (13,16); zeolita (2); oxitetraciclina (1); ácidos orgánicos y surfactante (1). El análisis químico de los alimentos evaluados se muestra en el **tabla I**.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (AA) DE LOS ALIMENTOS

La actividad antioxidante de los alimentos se midió por la actividad captadora de radicales de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) siguiendo el método de Brand-Williams *et al.* (1995). Muestras representativas de cada alimento se almacenaron a 15 °C, a los 0, 15 y 30 días se trituraron en una licuadora (Osterizer), se tamizó y se homogenizó; 0,5 g del alimento tamizado, se mezclaron con 5 mL de metanol (CH₃OH,

Sigma Aldrich), se dejaron reposar durante 30 min a 30 °C en baño maría y se agitaron con un vortex cada 10 min. El extracto metanólico se filtró en papel Whatman No. 4, se tomó un 1 mL del extracto y se le adicionaron 3 mL de DPPH (0,0042 g de DPPH, Sigma Aldrich + 100 mL de CH₃OH) y se agitó vigorosamente durante 10 segundos. El extracto se dejó reposar a temperatura ambiente en un lugar oscuro por 20 min y a continuación se centrifugó a 2000 r.p.m. durante 10 min. Finalmente, se tomó la lectura del sobrenadante en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, modelo 10S VIS) a 515 nm. La actividad antioxidante de cada uno de los alimentos se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Inhibición del DPPH (\%)} = 100 \times (\text{absorbancia del DPPH sin muestra} - \text{absorbancia del DPPH con muestra}) / \text{absorbancia del DPPH sin muestra}$$

A mayor disminución de la absorbancia, mayor porcentaje de inhibición del DPPH, mayor actividad antioxidante, y mayor cantidad de antioxidantes en la muestra.

Tabla I. Análisis químicos de alimentos comerciales para conejo. (Chemical analyzes of commercial feed for rabbits).

	Composición alimento			
	1	2	3	4
MS	92,80	91,80	91,98	90,96
PC	16,35	17,16	14,34	18,25
EE	4,41	4,70	3,52	5,80
FC	18,61	17,06	21,73	14,55
ELN	50,69	50,87	49,99	53,77
Cenizas	9,94	10,19	10,42	7,63
FDN	63,33	65,77	60,97	67,94
FDA	24,20	22,68	25,03	18,58
Calcio	0,82	0,89	1,29	0,82
Fosforo	0,30	0,29	0,21	0,33
ED kcal/kg*	2654	2754	2539	3026

Excepto ED, todos los valores son en g/100 g. MS= materia seca; PC= proteína cruda; EE= extracto etéreo; FC= fibra cruda; ELN= extracto libre de nitrógeno; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; ED= energía digestible.

*La ED se determinó de acuerdo a la regresión propuesta por Fernández-Carmona *et al.* (1996).

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE CARNE

Al final del periodo de engorda (69 días de edad) 10 animales de cada tratamiento se sacrificaron según la norma NOM-033-ZOO-1995. Las canales se identificaron y almacenaron en refrigeración a 4 °C por 24 horas. El músculo *Longissimus dorsi* se removió de cada una de las canales, se empacó al vacío y se almacenó a -20 °C hasta su análisis. Después de 30 días de congelación, las muestras de carne del lomo se trituraron por separado en un molino Torrey con cedazo fino (1/8 de pulgada) y se elaboraron hamburguesas de 85 g para medir la actividad antioxidante (% de inhibición del DPPH) y la concentración de dialdehído malónico (MDA) en muestras crudas, sometidas a 0, 3 y 6 días de refrigeración a 4 °C. La carne se almacenó en platos de poliestireno envueltos en bolsas de nylon para evitar su deshidratación.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (AA) DE LA CARNE

La actividad antioxidante de la carne cruda del lomo de conejo se evaluó en una muestra de 5 g de forma similar a como se determinó en los alimentos según el método de (Brand-Williams *et al.*, 1995). La actividad antioxidante de la carne se expresó en % de inhibición del DPPH.

ESTABILIDAD OXIDATIVA (EO) DE LA CARNE

La concentración de dialdehído malónico (MDA) se determinó con base a la técnica de TBARS (substancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, por sus siglas en inglés), para estimar el grado de oxidación lipídica (Buege y Aust, 1978). Una muestra de 10 g de carne molida cruda del lomo de conejo se mezcló por separado con 30 mL de agua grado HPLC y 0,2 mL de butilhidroxitolueno (BHT) al 7,2 % m/v (0,7212 g BHT + 10 mL CH₃OH). La mezcla se homogenizó en una licuadora y se dejó reposar por 15 min en un lugar oscuro a temperatura ambiente. Posteriormente, se tomó 1 mL de la mezcla homogenizada y se le adicionaron 2 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,02 M con ácido tricloroacético (TCA) (0,1154 g de TBA + 40 mL de TCA al 15 % = 15 mL de TCA puro aforados a 100 mL de H₂O HPLC). El extracto se agitó con un vortex durante 10 s y se dejó incubar en agua caliente (80 °C) durante 10 min, se dejó enfriar, y se centrifugó a 2000 rpm durante 10 min. La lectura del sobrenadante se obtuvo en el espectrofotómetro (Thermo Scientific, modelo 10S VIS) a 530 nm. Los datos se expresaron en mg de MDA por kilogramo de carne fresca. A menor concentración de MDA, mayor estabilidad oxidativa (EO) de la carne.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron utilizando el programa estadístico SAS 9.1 (SAS, 2003) y SPSS v.20 (SPSS, 2011). Se utilizó un modelo lineal general con arreglo factorial 4x3x3, donde los factores A, fueron 4 alimentos (1,

2, 3 y 4), B, 3 genotipo (NZ, CAL y NZ*CAL) y C, 3 tiempos de refrigeración (0, 3 y 6 días).

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (A \times B)_{ij} + (A \times C)_{ik} + (B \times C)_{jk} + (A \times B \times C)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta en carne de conejo proveniente del i-ésimo alimento, j-ésimo genotipo y k-ésimo día de refrigeración;

μ = constante que caracteriza a la población;

A_i = efecto del i-ésimo alimento $i = 1, 2, 3, 4$;

B_j = efecto del j-ésimo genotipo $j = 1, 2, 3$;

C_k = efecto del k-ésimo día de refrigeración $k = 1, 2, 3$;

$(A \times B)_{ij}$ = efecto de la interacción del i-ésimo alimento con el j-ésimo genotipo;

$(A \times C)_{ik}$ = efecto de la interacción del i-ésimo alimento con el k-ésimo día de refrigeración;

$(B \times C)_{jk}$ = efecto de la interacción del j-ésimo genotipo con el k-ésimo día de refrigeración;

$(A \times B \times C)_{ijk}$ = efecto de la interacción del i-ésimo alimento con el j-ésimo genotipo y el k-ésimo día de refrigeración;

ϵ_{ijk} = error aleatorio del i-ésimo alimento con el j-ésimo genotipo en el k-ésimo día de refrigeración ~NID (0, σ^2).

RESULTADOS

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS ALIMENTOS

En la **tabla II** se presentan los resultados de la actividad antioxidante de los alimentos comerciales para conejo. El alimento 1 mostró el mayor porcentaje de actividad antioxidante a los días 0 y 30 de almacenamiento, al día 15 mostró un comportamiento similar ($p > 0,05$) a los demás alimentos. Todos los alimentos presentaron menor actividad antioxidante al día 30 de almacenamiento cuando se compararon con el día 0. La media de la actividad antioxidante del alimento 1 en % de inhibición del DPPH fue superior a los otros tres alimentos ($p < 0,05$).

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN LOMO CRUDO DE CONEJO

Todos los genotipos con todos los alimentos mostraron una disminución de la

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y OXIDACIÓN DE LOMO CRUDO DE CONEJO

Tabla II. Actividad antioxidante de los alimentos comerciales para conejos (% de inhibición del DPPH). (Antioxidant activity of commercial feed for rabbits (% DPPH inhibition)).

	0	Almacenamiento (días)		Media
		15	30	
Alimento				
1	88,33 ± 0,53 ^a	84,71 ± 0,94 ^b	84,79 ± 0,41 ^b	85,94 ± 0,51 ^x
2	85,26 ± 0,43 ^b	84,49 ± 0,20 ^b	79,56 ± 0,78 ^d	83,10 ± 0,60 ^y
3	83,63 ± 0,46 ^{bc}	82,36 ± 0,75 ^{bcd}	80,16 ± 0,95 ^d	82,05 ± 0,51 ^y
4	84,68 ± 0,34 ^b	83,23 ± 0,52 ^{bc}	81,23 ± 0,72 ^{cd}	83,05 ± 0,42 ^y
Media	85,48 ± 0,38 ^A	83,70 ± 0,36 ^B	81,44 ± 0,50 ^C	-
p-valor				
Día	<0,01	<0,01	<0,01	
Alimento	<0,01	<0,01	<0,01	
Día*Alimento	0,011	0,011	0,011	

^{a,b,c,d}Letras minúsculas distintas entre sí, indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$); ^{A,B,C}Letras mayúsculas distintas en la misma hilera son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$); ^{x,y}Letras mayúsculas distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

actividad antioxidante ($p < 0,05$) al día 6 de refrigeración (**figura 1**), excepto el genotipo NZ*CAL con el alimento 1. La variabilidad de la AA del lomo crudo entre genotipos fue mayor con el alimento 1 y menor con el alimento 4.

El genotipo NZ con el alimento 1 (**figura 1**) mostró menor AA con respecto a los otros dos genotipos durante todo el periodo de refrigeración; contrariamente, la AA fue mayor con el alimento 2 a los días 0 y 3 de refrigeración (**figura 1**). La AA durante todo el periodo de refrigeración con el genotipo NZ y el alimento 3 fue mayor con respecto a NZ*CAL (**figura 1**). Cuando NZ recibió el alimento 4, la AA, sólo al día 6 de refrigeración fue inferior a los otros genotipos (**figura 1**).

El genotipo CAL con el alimento 1 (**figura 1**) mostró valores intermedios de AA durante todo el periodo de refrigeración. Con el alimento 2, el genotipo CAL se comportó igual a NZ*CAL a los días 0 y 3 de refrigeración; sin embargo, al día 6 de refrigeración la AA de CAL fue mayor al resto de los genotipos (**figura 1**). La AA del genotipo CAL con el alimento 3 (**figura 1**) fue igual al

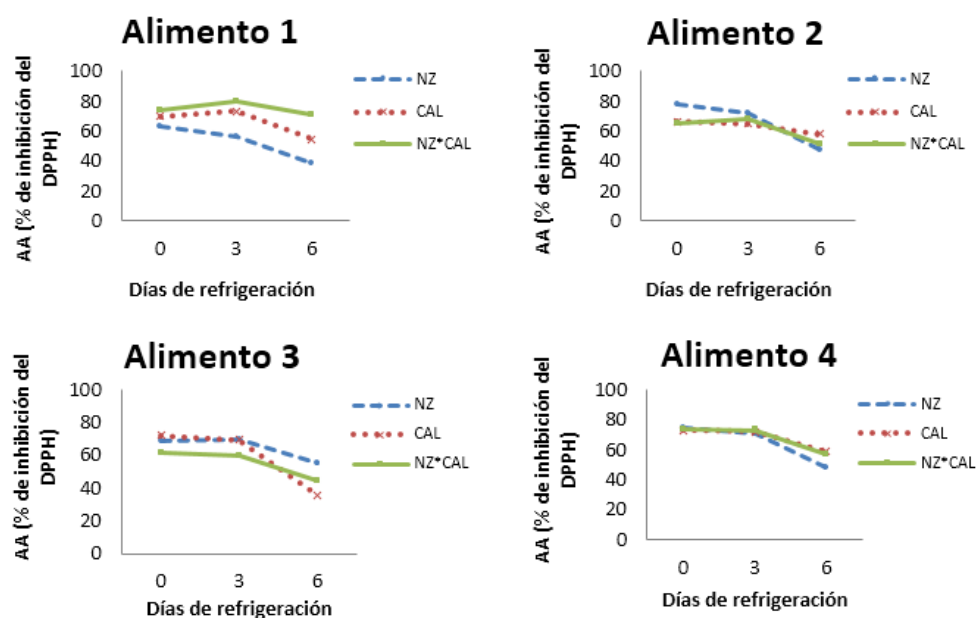
genotipo NZ a los días 0 y 3 de refrigeración, y al día 6 de refrigeración CAL mostró la menor actividad antioxidante con respecto a los otros dos genotipos. Cuando el genotipo CAL recibió el alimento 4 se comportó igual a los otros dos genotipos, excepto con el genotipo NZ al día 6 de refrigeración (**figura 1**).

La cruce NZ*CAL mostró la mayor AA con el alimento 1 durante todo el periodo de refrigeración (**figura 1**). Con el alimento 2, el genotipo NZ*CAL sólo fue diferente con NZ al día 0 de refrigeración.

Contrario a lo observado con el alimento 1, el genotipo NZ*CAL presentó menor AA cuando recibió el alimento 3 respecto al genotipo NZ (**figura 1**). La actividad antioxidante del genotipo NZ*CAL con el alimento 4 fue igual al genotipo CAL durante todo el periodo de refrigeración.

ESTABILIDAD OXIDATIVA EN LOMO CRUDO DE CONEJO

La **figura 2** muestra la estabilidad oxidativa de lomo crudo de conejo a diferentes días de refrigeración con las cuatro marcas de alimentos comerciales. Se obser-



Todos los efectos principales e interacciones fueron significativos, así como las comparaciones múltiples realizadas para alimento, día y genotipo ($p < 0,05$). NZ= Nueva-Zelanda; CAL= California.

Figura 1. Actividad antioxidante (AA) a diferentes días de refrigeración de lomo crudo de conejo con cuatro alimentos comerciales (% de inhibición del DPPH). (Antioxidant activity (AA) at different days of refrigeration of rabbit raw loin with four commercial feeds brands (% DPPH inhibition)).

vó un incremento ($p < 0,05$) de MDA al día 3 de refrigeración en todas las combinaciones de alimento y genotipo. El genotipo NZ*CAL que recibió los alimentos 1 y 3 (**figura 2**) mostró diferencias en la estabilidad oxidativa ($p < 0,05$), el menor valor de MDA (mejor EO) se observó con el alimento 1 y el mayor (peor EO) con el alimento 3, lo contrario se observó con el genotipo NZ.

Con el alimento 2 (**figura 2**), NZ fue peor que el genotipo NZ*CAL ($p < 0,05$) al día 3 de refrigeración, NZ mostró en promedio $1,25 \text{ mg de MDA kg}^{-1}$ y NZ*CAL presentó $0,87 \text{ mg de MDA kg}^{-1}$ de carne ($p < 0,05$), en todo el periodo de refrigeración (datos no presentados).

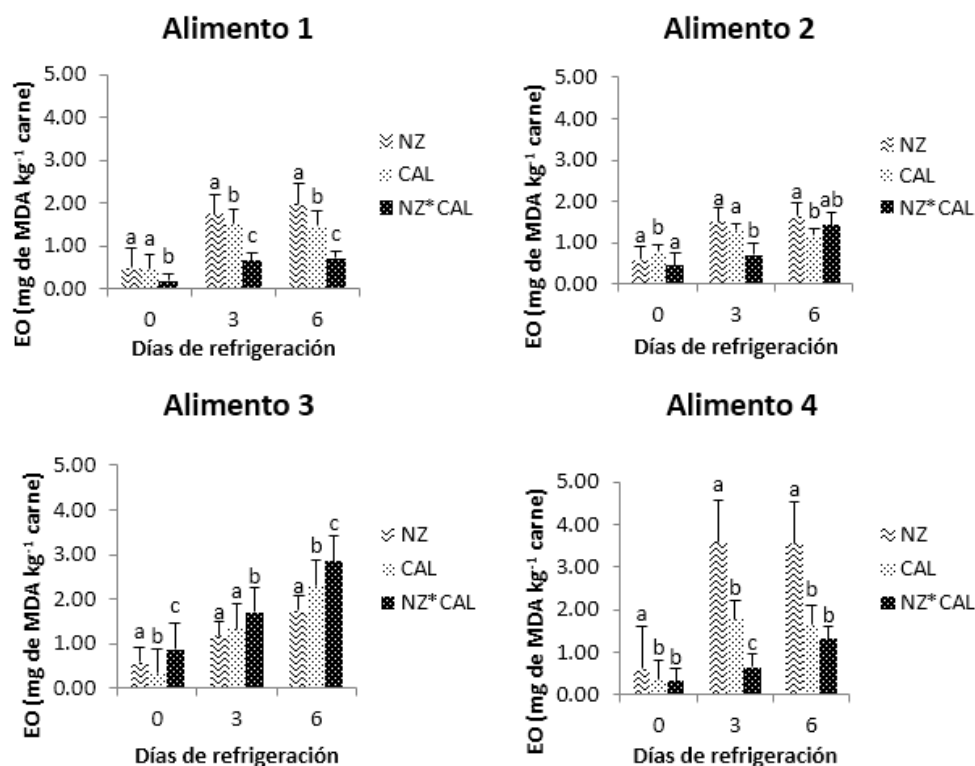
La concentración de MDA de NZ con el alimento 4 (**figura 2**) fue mayor ($p < 0,05$)

durante todo el periodo de refrigeración respecto a los otros dos genotipos y se observó una mayor variabilidad con este alimento entre genotipos a los días 3 y 6 de refrigeración.

CORRELACIÓN ENTRE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (AA) Y ESTABILIDAD OXIDATIVA (EO) EN LOMO CRUDO DE CONEJO

Usando todos los datos, la **figura 3** muestra que el MDA disminuyó (aumentó la EO) al aumentar la AA o el % de inhibición del DPPH ($p < 0,01$). Lo cual muestra una relación directa entre EO y el % de inhibición del DPPH ($p < 0,01$). Cuando los datos se observaron durante todos los días de refrigeración, la actividad antioxidante disminuyó y MDA (oxidación de la carne) au-

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y OXIDACIÓN DE LOMO CRUDO DE CONEJO



NZ= Nueva-Zelanda; CAL= California; MDA= dialdehído malónico.

Promedio de MDA por genotipo: NZ= 0,99; CAL= 1,20; NZ*CAL= 1,6.

Promedio de MDA por alimento: A= 1,02; B= 1,07; C= 1,43; D= 1,54.

^{a,b,c}Letras minúsculas distintas en un mismo día de refrigeración y alimento son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Todos los efectos fueron significativos, así como las comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,01$).

Figura 2. Estabilidad oxidativa (EO) a diferentes días de refrigeración de lomo crudo de conejo con cuatro alimentos comerciales (mg MDA kg⁻¹ de carne). (Oxidative stability (EO) at different days of refrigeration of rabbit raw loin with four commercial feeds (mg MDA kg⁻¹ of meat)).

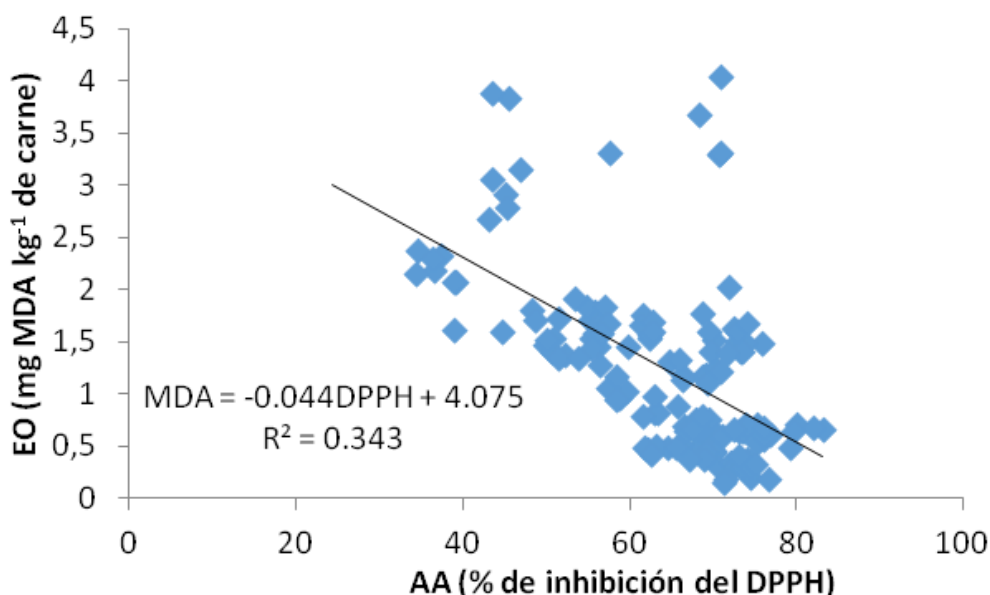
mentó conforme pasaron los días de refrigeración (**figura 4**). Es decir, si MDA aumenta al transcurrir el tiempo de refrigeración, AA (DPPH) disminuye.

DISCUSIÓN

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS ALIMENTOS

Conforme aumentó el tiempo de almacenamiento de los alimentos consumidos por

los conejos, la actividad antioxidante disminuyó, debido a la regulación de la producción de radicales libres mediante la donación de hidrógenos (Decker, 2007). La producción de radicales libres es mayor cuando el alimento contiene más cantidad de ácidos grasos insaturados; ya que estos son más susceptibles a la oxidación (Miyashita, 2007; Niki *et al.*, 2005). La oxidación de los alimentos comerciales para conejos



AA= actividad antioxidante; EO= estabilidad oxidativa; MDA= dialdehído malónico; DPPH= 2,2-difenil-1-picrilhidrazil.

La primera variable se midió en términos de la disminución del color (absorbancia) inicial de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) en % y la segunda por medición de dialdehído malónico en mg kg⁻¹ de carne. La pendiente fue negativa y distinta de cero ($p < 0,01$).

Figura 3. Correlación entre el % de inhibición del DPPH y mg de MDA kg⁻¹ de carne. (Correlation between % DPPH inhibition and mg of MDA kg⁻¹ meat).

puede deberse al uso de grasas o aceites para incrementar la energía que se reduce por la alta cantidad de fibra que deben contener para mejorar la motilidad intestinal y evitar problemas entéricos (De Blas y Wiseman, 2010). Si el alimento comercial contiene mayor cantidad de ácidos grasos insaturados, la cantidad de antioxidante debería ser mayor para mantener la estabilidad oxidativa de los mismos. Aunque el extracto etéreo (EE) no excluye la presencia de otros lípidos diferentes a los triglicéridos, éste puede ser un referente relativo del contenido de triglicéridos en el alimento para conejo. En el presente estudio se encontró que el EE del alimento 4 (5,80 %) fue mayor en relación a los alimentos 1, 2 y 3 con

4,40; 4,70 y 3,52 % EE respectivamente ($p < 0,05$, **tabla I**); sin embargo, la cantidad de antioxidantes de los alimentos 2, 3, 4 (83,10; 82,05 y 83,05 % respectivamente) fue menor comparado con el alimento 1 (85,94 %), esto sugiere que los antioxidantes de los alimentos comerciales para conejos no se adicionan en relación al contenido de EE. El porcentaje de EE del alimento 4 es mayor a lo recomendado por Xiccato (2010) de 3 a 5 %. Estudios previos realizados con las mismas marcas comerciales de alimento confirman que en algunos casos la cantidad de EE es mayor a lo recomendado para los alimentos de conejos, y que éste aumenta el contenido de grasa en la canal (Suarez-López, 2009). La disminución de la AA de los alimentos de

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y OXIDACIÓN DE LOMO CRUDO DE CONEJO

0 a 30 días de almacenamiento en bodega se debe a que los antioxidantes se agotan por la inhibición de radicales libres para mantener la integridad del alimento. La cantidad de antioxidante presente en el alimento puede afectar la calidad de la carne, estudios realizados en alimentos para conejos elaborados con algún ingrediente con actividad antioxidante como el aceite de orégano (Botsoglou *et al.*, 2004) y vitamina E (López-Bote *et al.*, 1997; Botsoglou *et al.*, 2004) mejoran la estabilidad oxidativa de la carne de conejo, debido a la mayor cantidad de antioxidantes que se acumulan en la carne. La dieta puede modificar la actividad antioxidante, los prooxidantes y la composición de los ácidos grasos de la carne (Serpen *et al.*, 2012).

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN LOMO CRUDO DE CONEJO

Una disminución de la actividad antioxidante en el lomo crudo de conejo (**figura 1**) al día 6 de refrigeración se presentó en casi todos los genotipos, ésta puede deberse a la reducción de los antioxidantes en la carne, provenientes del alimento que recibieron, debido a la inhibición de radicales libres que se producen durante el periodo de refrigeración (Decker *et al.*, 2005; Decker, 2007; Erickson, 2007). Se reportan pocos estudios que midan la AA en carne de conejo; sin embargo, Hernández *et al.* (2002) reportaron una disminución de la actividad de las enzimas antioxidantes durante la refrigeración. La actividad antioxidante de la carne cruda de pollo (Jang *et al.*, 2008) cerdo y bovino (Fasseas *et al.*, 2007) también disminuye conforme aumenta el tiempo de refrigeración. La diferencia de la actividad antioxidante en los genotipos durante el periodo de refrigeración (**figura 1**) probablemente se debe a una diferencia en la composición de sus tejidos, principalmente la cantidad de ácidos grasos insaturados. Hernández *et al.* (2008) reportaron diferencias en el porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y ácidos grasos

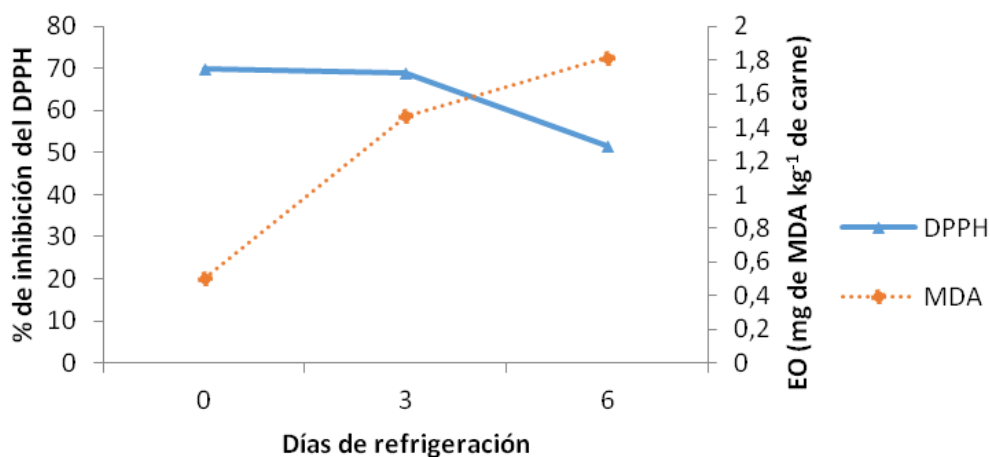
saturados (AGS) en la carne de pierna entre líneas de conejos NZ y NZ*CAL, a los 7 días de refrigeración. En adición, la carne de conejo es rica en ácidos grasos poliinsaturados (Combes, 2004) que pueden ser modificados a través de la alimentación (Dal Bosco *et al.*, 2004; Bianchi *et al.*, 2006; Kouba *et al.*, 2008). Incluso, Alasnier *et al.* (2000) y Hernández *et al.* (2008) observaron que la cantidad de ácidos grasos libres aumenta después del séptimo día de refrigeración por acción de las enzimas lipolíticas, lo que coincide con lo observado en el presente estudio que a mayor tiempo de refrigeración la AA disminuye, probablemente por la presencia de mayor cantidad de ácidos grasos insaturados libres.

Con el alimento 1 el genotipo NZ*CAL mostró mayor AA que NZ y con el alimento 3 ocurrió lo contrario durante todo el periodo de refrigeración (**figura 1**), lo que indica que los genotipos respondieron de manera diferente a un mismo alimento comercial durante los días de refrigeración, debido probablemente a la interacción significativa de los genotipos con la concentración de antioxidantes presentes en el alimento.

ESTABILIDAD OXIDATIVA EN LOMO CRUDO DE CONEJO

El incremento de MDA que se presentó en todos los genotipos al día 3 de refrigeración se puede explicar por la disminución de la actividad antioxidante a partir de ese día. La estabilidad oxidativa aumenta cuando el alimento tiene mayor cantidad de antioxidantes (Castellini *et al.*, 1998; Corino *et al.*, 2002, 2007); sin embargo, ésta puede variar según el genotipo y el alimento comercial, como lo indican los resultados. No obstante, que el alimento 1 contenía la mayor cantidad de antioxidantes 85,94 % sólo con NZ*CAL expresó mejor AA y la mejor EO en la carne de lomo crudo.

La mayor cantidad de MDA que presentó el lomo crudo del genotipo NZ con el alimento 4 probablemente esté relacionada con la cantidad de EE (5,80 %, **tabla I**) que



EO= estabilidad oxidativa; MDA= dialdehído malónico; DPPH= 2,2-difenil-1-picrilhidrazil.

Figura 4. Respuesta del % de inhibición del DPPH y mg de MDA kg⁻¹ de carne a través de los días de refrigeración. (Response % DPPH inhibition and mg of MDA kg⁻¹ meat through the days of refrigeration).

contenía el alimento provocando mayor acumulación de ácidos grasos insaturados en la carne, susceptibles de oxidarse. Estos resultados muestran una correlación negativa entre el % de DPPH y la cantidad de MDA, es decir, a mayor actividad antioxidante, mayor estabilidad oxidativa ($r = -0,312$; $p < 0,01$) (figura 3 y 4), tal como lo reportan Corino *et al.* (2007) y Selim *et al.* (2008).

El incremento de la cantidad de MDA que se aprecia durante el periodo de refrigeración (figura 4) coincide con otros investigadores (Botsoglou *et al.*, 2004; Corino *et al.*, 2007; Selim *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2011) y se asocia al efecto del genotipo por diferencia en el contenido de ácidos grasos insaturados (Cambero *et al.*, 1991; Hernández *et al.*, 2008) y a la producción de radicales libres por oxidación lipídica durante la refrigeración (Kiokias *et al.*, 2010; Erickson, 2007; Reische *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

Se observó concordancia entre la mayor

inhibición del DPPH del alimento 1 (85 %) y el menor contenido de MDA del lomo crudo del genotipo NZ*CAL proveniente de dicho alimento.

Los alimentos comerciales para conejos tienen diferente grado de inhibición del DPPH (actividad antioxidante); que puede ser o no suficiente para atenuar la disminución de la estabilidad oxidativa del lomo crudo de conejo, misma que depende del genotipo y de los días de refrigeración.

Se sugiere alimentar a NZ*CAL con alimentos que contengan más de 85 % de AA y no refrigerar más de 6 días para reducir la cantidad de MDA y por lo tanto la pérdida de calidad de la carne de conejo.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, por brindar el espacio y las condiciones necesarias para lograr la terminación de este estudio y en especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y OXIDACIÓN DE LOMO CRUDO DE CONEJO

BIBLIOGRAFÍA

- Alasnier, C.; David-Briand, E. and Gandemer, G. 2000. Lipolysis in muscles during refrigerated storage as related to the metabolic type of the fibres in the rabbit. *Meat Sci*, 54: 127-134.
- Bianchi, M.; Petracci, M. and Cavani, C. 2006. Effects of dietary inclusion of dehydrated lucerne and whole linseed on rabbit meat quality. *World Rabbit Sci*, 14: 247-258.
- Botsoglou, N.; Florou-Paneri, P.; Christaki, E.; Giannenas, I. and Spais, A. 2004. Performance of rabbits and oxidative stability of muscle tissues as affected by dietary supplementation with oregano essential oil. *Arch Anim Nutr*, 58: 209-218.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm Wiss Technol*, 28: 25-30.
- Buege, J. and Aust, S.D. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Method Enzymol*, 52: 302-310.
- Camero, M.I.; De la Hoz, L.; Sanz, B. and Ordoñez, J.A. 1991. Lipid and fatty acid composition of rabbit meat. II. Phospholipids. *Meat Sci*, 29: 167-176.
- Castellini, C.; Dal Bosco, A.; Bernardini, M. and Cyril, H.W. 1998. Effect of dietary vitamin E on the oxidative stability of raw and cooked rabbit meat. *Meat Sci*, 50: 153-161.
- Combes, S. 2004. Valeur nutritionnelle de la viande de lapin. *INRA Prod Anim*, 17: 373-383.
- Corino, C.; Mourot, J.; Magni, S.; Pastorelli, G. and Rosi, F. 2002. Influence of dietary conjugated linoleic acid on growth, meat quality, lipogenesis, plasma leptin and physiological variables of lipid metabolism in rabbits. *J Anim Sci*, 80: 1020-1028.
- Corino, C.; Lo Fiego, D.P.; Macchioni, P.; Pastorelli, G.; Di Giancamillo, A.; Domeneghini, C. and Rossi, R. 2007. Influence of dietary conjugated linoleic acids and vitamin E on meat quality, and adipose tissue in rabbits. *Meat Sci*, 76: 19-28.
- Dal Bosco, A.; Castellini, C.; Bianchi, L. and Mugnai, C. 2004. Effect of dietary α -linolenic acid and vitamin E on the fatty acid composition, storage stability and sensory traits of rabbit meat. *Meat Sci*, 66: 407-413.
- Dalle Zotte, A. 2002. Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livest Prod Sci*, 75: 11-32.
- De Blas, C. and Wiseman, J. 2010. Nutrition of the rabbit. 2nd edition CABI Publ. Wallingford Oxon. UK. 325 pp.
- Decker, E.A.; Warner, K.; Richard, M.P. and Shahid, F. 2005. Measuring antioxidant effectiveness in food. *J Agric Food Chem*, 53: 4303-4310.
- Decker, E.A. 2007. Antioxidant. In: Akoh, C.C. and Min, D.B. (Eds.). Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology. pp: 475-492.
- Erickson, M.C. 2007. Lipid oxidation of muscle. In: Akoh, C.C. and Min, D.B. (Eds.). Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology. pp: 322-347.
- Fasseas, M.K.; Mountzouris, K.C.; Tarantilis, P.A.; Polissiou, M. and Zervas, G. 2007. Antioxidant activity in meat treated with oregano and sage essential oils. *Food Chem*, 106: 1188-1194.
- Fellenberg, M.A. and Speisky, H. 2006. Antioxidants: their effects on broiler oxidative stress and its meat oxidative stability. *World Poultry Sci J*, 62: 53-70.
- Fernández-Carmona, J.; Cervera, C. and Blas, E. 1996. Prediction of the energy value of rabbit feeds varying widely in fibre content. *Anim Feed Sci Tech*, 64: 61-75.
- Hernández, P.; López, A.; Marco, M. and Blasco, A. 2002. Influence of muscle type, refrigeration storage and genetic line on antioxidant enzyme activity in rabbit meat. *World Rabbit Sci*, 10: 141-146.
- Hernández, P.; Ariño, B.; Grimal, A. and Blasco, A. 2006. Comparison of carcass and meat characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate. *Meat Sci*, 73: 645-650.
- Hernández, P.; Cesari, V. and Blasco, A. 2008. Effect of genetic rabbit lines on lipid content, lipolytic activities and fatty acid composition of hind leg meat and perirenal fat. *Meat Sci*, 78: 485-491.
- Jang, A.; Liu, X.D.; Shin, M.H.; Lee, B.D.; Lee, S.K.; Lee, J.H. and Jo, C. 2008. Antioxidative potential of raw breast meat from broiler chicks fed a dietary medicinal herb extract mix. *Poultry Sci*, 87: 2382-2389.
- Kiokias, S.; Varzakas, T.H.; Arvanitoyannis, I.S. and Labropoulos, A.E. 2010. Lipid oxidation and

- control of oxidation. In: Yildiz, F. (Ed.). *Advances in food biochemistry*. CRC Press. USA. pp. 384-408.
- Kouba, M.; Benatmane, F.; Blochet, J.E. and Mouro, J. 2008. Effect of a linseed diet on lipid oxidation, fatty acid composition of muscle, perirenal fat, and raw and cooked rabbit meat. *Meat Sci*, 80: 829-834.
- Liu, H.W.; Gai, F.; Gasco, L.; Brugiapaglia, A.; Lussiana, C.; Guo, J.K.; Tong, J.M. and Zoccarato, I. 2009. Effects of chestnut tannins on carcass characteristics, meat quality, lipid oxidation and fatty acid composition of rabbits. *Meat Sci*, 83: 678-683.
- López-Bote, C.J.; Rey, A.; Ruiz, J.; Isabel, B. and Sanz Arias, R. 1997. Effects of feeding diets high in monounsaturated fatty acids and α -tocopheryl acetate to rabbits on resulting carcass fatty acid profile and lipid oxidation. *Anim Sci*, 64: 177-186.
- Miyashita, K. 2007. Polyunsaturated lipid oxidation in aqueous system. In: Akoh, C.C. and Min, D.B. (Eds.). *Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology*. Marcel Dekker, Inc. NY. pp. 365-383.
- Niki, E.; Yoshida, Y.; Saito, Y. and Noguchi, N. 2005. Lipid peroxidation: Mechanisms, inhibition and biological effects. *Biochem Biophys Res Commun*, 338: 668-676.
- NOM-033-ZOO. 1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Norma Oficial Mexicana. Diario Oficial de la Federación, 7 de julio de 1995. 12 pp.
- 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. *Livest Prod Sci*, 54: 115-123.
- Reische, D.W.; Lillard, D.A. and Eitenmiller, R.R. 2007. Antioxidants. In: Akoh, C.C. and Min D.B. (Eds.). *Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology*. CRC Press. USA. pp. 409-430.
- SAS. 2003. *SAS/STAT User's Guide* (Release 69.3). SAS Inst. Inc., Cary NC. USA.
- Selim, N.A.; Abdel-Khalek, A.M.; Nada, S.A. and El-Medany, Sh.A. 2008. Response of growing rabbits to dietary antioxidant vitamins E and C. 2. Effect on meat quality. 9th World Rabbit Congress. Verona. Italia. 1437-1442.
- Serpen, A.; Gökmen, V. and Fogliano, V. 2012. Total antioxidant capacities of raw and cooked meats. *Meat Sci*, 90: 60-65.
- Shahidi, F. 2002. Lipid-derived flavors in meat products. In: Kerry, J.; Kerry, J.; Ledward, D. (Eds.). *Meat processing: improving quality*. CRC Press. USA. pp. 105-121.
- Shin, D.; Yang H.S.; Min, B.R.; Narciso-Gaytán, C.; Sánchez-Plata, M.X. and Ruiz-Feria, C. 2011. Evaluation of antioxidant effects of vitamins C and E alone and in combination with sorghum bran in a cooked and stored chicken sausage. *Korean J Food Sci Ani Resour*, 31: 693-700.
- Suarez-López, R. 2009. Calidad de los alimentos comerciales y genotipos de conejos para la producción de carne en México. Colegio de Postgraduados. Tesis de maestría. 113 pp.
- SPSS. 2011. *SPSS-X. User's Guide*. SPSS Inc. Chicago.
- Tufarelli, V.; Desantis, S.; Zizza, S. and Laudadio, V. 2010. Performance, gut morphology and carcass characteristics of fattening rabbits as affected by particle size of pelleted diets. *Arch Anim Nutr*, 64: 373-382.
- Xiccato, G. 2010. Fat digestion. In: De Blas, C. and Wiseman, J. (Eds.). *Nutrition of the rabbit*. 2nd Edition. CABI Publ. Wallingford Oxon. UK. pp. 56-65.