

# EFFECTO DE DIETAS CON ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DE LA CARNE DE CERDO

## EFFECT OF DIETS WITH POLYUNSATURATED FATTY ACIDS ON PORK SENSORY CHARACTERISTICS

Jarumi Aguilar-Guggembuhl<sup>1</sup>, Daniel Mota-Rojas<sup>2</sup>, Héctor Escalona-Buendía<sup>1</sup>, M. Elena Trujillo-Ortega<sup>3</sup>, Isabel Guerrero-Legarreta<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Avenida San Rafael Atlixco 186, 09340, Iztapalapa, México D.F. (jaruag23@yahoo.com.mx, hheb@xanum.uam.mx, isabel\_guerrero\_legarreta@yahoo.com). <sup>2</sup>Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, 04960, Coyoacán, México D.F. (dmota100@yahoo.com.mx). <sup>3</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, México D.F. (elenam@unam.mx).

### RESUMEN

El consumo de algunos ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPCL), en particular los ácidos docosahexanoico (ADH), eicosapentanoico (AEP) y linoleico conjugado (ALC), es benéfico para la salud humana, por lo cual su incorporación a la carne de abasto le da un valor agregado, pero las características sensoriales podrían alterarse ocasionando el rechazo del consumidor. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de adicionar estos tres AGPCL a la dieta de cerdos en variables de calidad fisicoquímica y sensorial de la carne. El diseño experimental fue de bloques al azar y los tratamientos fueron: T1) dieta+ALC; T2) dieta+ADH+AEP; T3) dieta+ADH+AEP+ALC; T4) dieta (testigo). Los datos se analizaron mediante ANDEVA y componentes principales (ACP); las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Se usaron 32 cerdos castrados, Pietrain  $\times$  Landrace  $\times$  York  $\times$  Duroc, en engorda de dos fases: 4 semanas de desarrollo y 4 semanas de finalización, después se electroinsensibilizaron y sacrificaron. Para realizar los análisis fisicoquímicos (pH, actividad de agua, dureza y pérdidas por cocción) y descriptivo cualitativo (sabor, textura y aroma) se tomaron muestras del músculo *Longissimus dorsi*. El sabor y aroma de la carne de los cerdos alimentados con AGPCL se describió como rostizado, a res, y a borrego, con textura suave y jugosa, aunque menos aceptable que el testigo. El sabor a rostizado, un atributo deseable en las carnes, disminuyó en las muestras obtenidas de cerdos que recibieron dietas con ADH y AEP, y no se detectó aroma ni sabor a pescado.

### ABSTRACT

The consumption of some long chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA), in particular docosahexanoic (DHA), eicosapentanoic (EPA) and conjugated linoleic (CLA) acids is beneficial for human health, thus its incorporation to meat gives added value, but sensory characteristics could be altered, causing rejection by the consumer. The objective of the present study was to evaluate the effect of adding these three LCPUFA to pig diet on physiochemical and sensory meat quality. The experimental design was randomized blocks with the following treatments: T1) diet+CLA; T2) diet+DHA+EPA; T3) diet+DHA+EPA+CLA; T4) diet (control). The data were analyzed using ANOVA and principal component analysis (PCA). Means were compared with Tukey test ( $p \leq 0.05$ ). Thirty-two Pietrain  $\times$  Landrace  $\times$  York  $\times$  Duroc castrated pigs were used in two fattening phases: 4 weeks of development and 4 weeks of finishing. They were then electroanesthetized and sacrificed. To carry out the physiochemical analyses (pH, water activity, hardness and cooking loss) and qualitative description (flavor, texture and aroma) samples were taken from the *Longissimus dorsi* muscle. Flavor and aroma of pork meat fed with LCPUFA was described as roasted, beef-like, and sheep-like, with soft and juicy texture, although less acceptable than the control. Roasted flavor, a desirable attribute in meats, decreased in samples obtained from pigs with diets including DHA and EPA, and fishy aroma and flavor were not detected.

**Key words:** docosahexanoic acid (DHA), eicosapentanoic acid (EPA), conjugated linoleic acid (CLA), functional food, nutraceuticals, pork meat quality.

\* Autor responsable  $\diamond$  Author for correspondence.  
Recibido: septiembre, 2013. Aprobado: octubre, 2014.  
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 777-788. 2014.

**Palabras clave:** ácido docosahexanoico (ADH), ácido eicosapentanoico (AEP), ácido linoleico conjugado (ALC), alimento funcional, nutraceutico, calidad de carne de cerdo.

## INTRODUCCIÓN

El uso de ácidos grasos polinsaturados de cadena larga (AGPCL) de diversas fuentes en dietas para cerdos aumenta su contenido final en la carne (Leskanich *et al.* 1997; Jiménez-Colmenero *et al.*, 2000; Jaturasita *et al.*, 2009), con lo cual ésta adquiere un valor agregado porque contiene compuestos que favorecen a la salud humana y, por tanto, se clasificará como alimento funcional. Los AGPCL omega-3 eicosapentanoico (AEP, C20:5 $\omega$ 3, cis-5,8,11,14,17) y docosahexanoico (ADH, C22:6 $\omega$ 3, cis-4,7,10,13,16,19) se encuentran en proporción alta en los tejidos de algunos peces de aguas frías (García-Barrientos *et al.*, 2011). Estos ácidos tienen un efecto positivo en el ser humano, como el mantenimiento de las membranas celulares, la actividad antioxidante (Valenzuela *et al.*, 2011) y el efecto hipocolesterolemico (Socarrás y Bolet, 2010). Los AGPCL omega-6 con dobles ligaduras en isomería *trans* fueron considerados como dañinos para la salud humana debido a sus efectos en los lípidos de la sangre (Morgado *et al.*, 1998). Sin embargo, Sanhueza *et al.* (2011) destacan que algunos de estos ácidos, principalmente el linoleico conjugado (ALC), pueden ser benéficos. Este ácido es una estructura modificada del ácido linoleico (C18:2, cis-9, cis-12); se encuentra en plantas y animales en varias formas isomórficas, principalmente cis-7,trans-9, cis-11,trans-13, y la más abundante, cis-9,trans-11. Está presente en cantidades pequeñas en la mayoría de los alimentos y hasta 0.65% del total de lípidos en la carne y la leche de los rumiantes (Kramer *et al.* 2004). Algunos efectos positivos en la salud humana por el consumo de ALC son la reducción del colesterol plasmático y del volumen del tejido adiposo (Rahman *et al.*, 2001), así como la estimulación del sistema inmune (Hayek *et al.*, 1999).

Sin embargo, la incorporación de AGPCL a la carne de animales de abasto mediante suplementos ricos en ácidos omega-3 de origen marino, como el aceite y la harina de pescado, pueden deteriorar la calidad de este alimento al producir olores y sabores desagradables, y mayor fluidez de la grasa (Romans *et al.*, 1995; Tseng *et al.*, 2000), lo cual causa rechazo por

## INTRODUCTION

Supplementation of pig diets with long chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA) from diverse sources increases its final content in the meat (Leskanich *et al.*, 1997; Jiménez-Colmenero *et al.*, 2000; Jaturasita *et al.*, 2009), which acquires added value because it contains compounds that favor human health, and therefore, can be classified as a functional food. Omega-3 LCPUFA such as eicosapentanoic (EPA, C20:5 $\omega$ 3, cis-5,8,11,14,17) and docosahexanoic acids (DHA, C22:6 $\omega$ 3, cis-4,7,10,13,16,19) are found in high proportion in tissues of several cold water fish (García-Barrientos *et al.*, 2011). These acids have a positive effect in humans, such as maintaining cell membrane integrity, antioxidant activity (Valenzuela *et al.*, 2011) and hypocholesterolemic effect (Socarrás and Bolet, 2010). Omega-6 LCPUFA containing double links in *trans* isometrics were considered harmful for human health due to their effects in blood fats (Morgado *et al.*, 1998). However, Sanhueza *et al.* (2011) point out that some of these acids, mainly conjugated linoleic acid (CLA), can be beneficial. This acid is a modified structure of linoleic acid (C18:2, cis-9, cis-12); it is found in plants and animals in various isomorphic forms, mainly cis-7, trans-9, cis-11, trans-13, and the most abundant, cis-9, trans-11. It is present in small amounts in most foods, but as much as 0.65 % of the total fat content in ruminant meat and milk (Kramer *et al.*, 2004). Some positive effects of CLA for human health are reduction of plasmatic cholesterol, volume decrease of adipose tissue (Rahman *et al.*, 2001), as well as stimulation of the immune system (Hayek *et al.*, 1999).

However, incorporation of LCPUFA to animal diets through supplements rich in omega-3 acids of marine origin, such as fish oil and flour, can deteriorate meat quality and produce unpleasant odors and flavors, and increase fat softness (Romans *et al.*, 1995; Tseng *et al.*, 2000), causing rejection by the consumer. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effect of three LCPUFA (DHA, EPA and CLA) as supplements in pig diets, on the meat physiochemical and sensorial quality variables.

el consumidor. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de tres AGPCL (ADH, AEP y ALC) , como suplementos en la dieta de cerdos, sobre variables de calidad fisicoquímica y sensorial de la carne.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPCL)

Los ácidos AEP y ADH se adquirieron de la compañía Ocean Nutrition Canada<sup>MR</sup> (Dartmouth, Nueva Escocia, Canadá), obtenidos a partir de aceite de anchoa y sardina (12 % ADH-18 % AEP) desodorizado, y microencapsulado en gelatina, comercializado como MEG-3<sup>MR</sup>. El ALC, en forma líquida con 60 % de isómeros cis-9, trans-11 y cis-12, trans-10, obtenido de aceite de cártamo, se adquirió de la compañía Cognis<sup>MR</sup> (Mississauga, Ontario, Canadá), comercializado como Tonalin<sup>MR</sup>.

### Animales y dietas

Se utilizaron 32 cerdos machos castrados proporcionados por el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión de Producción Porcina (CEIEPP), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Jilotepec, Estado de México. De acuerdo con los registros de CEIEPP los padres eran híbridos 50/50 Pietrain × Landrace, y las madres híbridos 50/50 York × Duroc. El peso vivo (PV) inicial promedio fue 54 kg, y las edades de 3 a 3.5 meses. Los lechones se distribuyeron en dos lotes, divididos a la vez en cuatro grupos de cuatro cerdos cada uno. Estos fueron sorteados por peso para cada uno de los tratamientos, para que los promedios de las repeticiones de cada tratamiento fuera similar a las repeticiones de otro tratamiento. El alimento comercial (sorgo, pasta de soya, aceite crudo de soya, subproductos del trigo, vitaminas A, D, E, K, complejo B, aminoácidos, micro y macro minerales) y el agua se proporcionaron *ad libitum*. La engorda se dividió en dos fases: 1) cuatro semanas de desarrollo [15 % de proteína (0.036 g/kg PV de lisina), 60 % ELN y 3 % de grasa mínima] y, 2) cuatro semanas de finalización [14 % de proteína (0.036 g/kg PV de lisina), 64 % ELN y 3 % de grasa mínima]. Para cada tratamiento se agregó una combinación de AGPCL (Cuadro 1) en las fases de desarrollo y finalización. El cálculo de las cantidades de AGPCL se hizo tomando como base las concentraciones de ácidos puros reportadas por los fabricantes. El manejo y la matanza de los cerdos se realizaron de acuerdo con la legislación mexicana para animales domésticos NOM-194-SSA1-2004 (Secretaría de Salud, 2004). El peso promedio al sacrificio fue 120.25 kg.

## MATERIALS AND METHODS

### Long chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA)

EPA and DHA were acquired from Ocean Nutrition Canada<sup>TM</sup> (Dartmouth, Nova Scotia, Canada), obtained from deodorized anchovy and sardine oil (12 % DHA-18 % EPA), microencapsulated in gelatin, commercialized as MEG3<sup>MR</sup>. CLA, in liquid form with 60 % of isomers cis-9, trans-11 and cis-12, trans-10, obtained from safflower oil, was acquired from Cognis<sup>TM</sup> (Mississauga, Ontario, Canada), and commercialized as Tonalin<sup>TM</sup>.

### Animals and diets

Thirty-two castrated male pigs were used, provided by the Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión de Producción Porcina (CEIEPP), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Jilotepec, Mexico. According to CEIEPP records, the parents were hybrids 50/50 Pietrain × Landrace, and the mothers hybrids 50/50 York × Duroc. Average initial live weight (LW) was 54 kg, and the age was 3 to 3.5 months. The piglets were distributed in two lots, each one divided into four groups of four pigs each. These were grouped by weight for each one of the treatments, so that the averages of the replicates of each treatment were similar to the replicates of other treatments. Commercial feed (sorghum, soybean paste, raw soybean oil, wheat by-products, vitamins A, D, E, K, B complex, amino acids, micro and macro minerals) and water were provided *ad libitum*. Fattening was divided into two phases: 1) four weeks of development [15 % protein (0.36 g/kg LW of lysine), 60 % ELN and 3 % minimum fat], and 2) four weeks of finishing [14 % protein (0.036 g/kg LW of lysine), 64 % ELN and 3 % minimum fat]. For each treatment, a combination of LCPUFA was added (Table 1) in the

**Cuadro 1. AGPCL en las dietas para cerdos.**  
**Table 1. LCPUFA supplemented to pig diets.**

Tratamiento	AGPCL	Cantidad de AGPCL (g kg <sup>-1</sup> )	
		Fase de desarrollo	Fase de finalización
T1	ALC	15	20
T2	ADH	1.8	2.4
	AEP	2.7	3.6
T3	ALC	15	20
	ADH	1.8	2.4
	AEP	2.7	3.6
T4 (testigo)	---	---	---

### Muestreo y análisis fisicoquímicos

Las muestras del músculo *Longissimus dorsi* se tomaron 45 min postmortem entre las vértebras 12 y 13, se almacenaron a 4 °C por 48 h y se congelaron a -24 °C. Dieciocho horas antes de los análisis se descongelaron y mantuvieron a 4 °C hasta su uso. Los análisis fisicoquímicos de la calidad de carne fueron: pH, actividad de agua ( $a_w$ ), dureza y pérdidas por cocción.

El pH se midió como indicador de la frescura de la carne con un potenciómetro (Beckman, Palo Alto, California) en las muestras crudas. El análisis de  $a_w$  en muestras crudas se realizó a temperatura ambiente (18 °C) con un psicrómetro Aqualab (Decagon CX-1, Washington, DC) calibrado contra agua destilada (Park, 2009). La dureza y las pérdidas por cocción se analizaron en muestras asadas después de eliminar el tejido conectivo, para lo cual se cortaron piezas de carne cruda de 1.5 cm de espesor y se calentaron por 8 min a 82 °C (temperatura interna) en un asador precalentado a 130 °C. Las pérdidas por cocción se calcularon por diferencia entre los pesos antes y después del asado (Ansorena y Astiansarán, 2009). La dureza se midió mediante la aplicación de una fuerza cortante perpendicular a la dirección de las fibras musculares, empleando un analizador de textura TA-XT2 (Texture Technologies, Scarsdale, Nueva York) con una celda de carga de 49 N y una cuchilla de prueba de Warner-Bratzler (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra); la fuerza necesaria para cortar a la muestra se reportó en g.

### Análisis sensoriales

Estos se aplicaron a muestras asadas en la forma descrita en el párrafo anterior. Los panelistas se seleccionaron entre el personal y los estudiantes de la Universidad Autónoma Metropolitana. El panel de 20 miembros se eligió en función a su habilidad para identificar los siguientes aromas: metilcaproato (frutal), benzaldehído (almendras), hexanal (rancio) y metilvainillina (vainilla). En esta identificación se incluyó también un producto asociado al aroma de pescado (aceite de pescado disuelto en aceite de canola). Para generar los descriptores individuales de cada atributo (aroma, sabor y textura), se presentaron a los panelistas tres muestras de carne de cerdo: 1) testigo; 2) tratada en la superficie con solución de ADH+AEP; 3) tratada en la superficie con solución de ALC. A los panelistas se les solicitó que acordaran los términos del lenguaje común que mejor describieran los atributos. El Análisis Descriptivo Cualitativo (ADC) (Stone y Sidel, 2004) se realizó con los datos obtenidos de aroma, sabor y textura de acuerdo con los métodos y lineamientos ISO 8586-1:1993 (ISO, 1993). Las muestras de carne de los cerdos se asaron como ya se describió, y se presentaron a los jueces en piezas de 1.5 x 3 cm. Los jueces, en una línea horizontal de 14 cm, indicaron con una

desarrollo y etapas de acabado. El cálculo de LCPUFA se basó en las concentraciones de ácidos puros reportados por el fabricante. El manejo y el sacrificio de los cerdos se realizaron de acuerdo con la legislación mexicana para animales domésticos NOM-194-SSA1-2004 (Secretaría de Salud, 2004). El peso promedio de sacrificio fue de 120.25 kg.

### Sampling and physiochemical analysis

Samples of *Longissimus dorsi* muscle were taken 45 min postmortem between vertebrae 12 and 13, stored at 4 °C for 48 h and frozen at -24 °C. Eighteen hours prior to analyses, samples were thawed and maintained at 4 °C until use. Physiochemical analysis of meat quality were: pH, water activity ( $a_w$ ), hardness and cooking losses.

The pH was measured in raw samples as indicator of meat freshness with a potentiometer (Beckman, Palo Alto, California). In raw samples the  $a_w$  was analyzed at room temperature (18 °C) with an Aqualab psychrometer (Decagon CX-1, Washington, DC) calibrated against distilled water (Park, 2009). Hardness and cooking losses were analyzed in roasted samples after eliminating connective tissue, for which pieces of raw meat 1.5 cm thick were cut and heated for 8 min at 82 °C (internal temperature) in a preheated roasting oven at 130 °C. Cooking losses were calculated by the difference between the weight before and after cooking (Ansorena and Astiansarán, 2009). Hardness was measured by the application of a cutting force perpendicular to the direction of muscle fibers, using a TA-XT2 texture analyzer (Texture Technologies, Scarsdale, New York) with a 49 N load cell and a Warner-Bratzler test blade (Stable Micro Systems, Surrey, England); the force needed to cut the sample was reported in g.

### Sensory analysis

Sensory analysis was applied to roasted samples as described in the above paragraph. Panelists were selected among the staff and students of Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. The 20 member-panel was selected according to their ability to identify the following aromas: methylcaproate (fruity), benzaldehyde (almonds), hexanal (rancid) and methylvanillin (vanilla). This identification also included a product associated with fish aroma (fish oil dissolved in canola oil). To generate individual descriptors for each attribute (aroma, flavor and texture), the panelists were presented with three pork meat samples: 1) control; 2) treated on the surface with a solution of DHA+EPA; 3) treated on the surface with CLA solution. The panelists were asked to agree on the common language terms that best described the attributes. Qualitative Descriptive Analysis (QDA) (Stone and Sidel, 2004) was performed with the data



línea vertical la distancia que representaba la intensidad de cada descriptor, donde el origen (0 cm) significaba no detectada, y 14 cm la máxima intensidad. La distancia se midió y los resultados se analizaron de acuerdo al ADC (Escalona *et al.*, 1999). Este procedimiento se repitió dos veces, obteniendo 20 observaciones para cada descriptor.

### Análisis estadístico

El diseño experimental fue de bloques al azar y los tratamientos fueron: T1) dieta+ALC; T2) dieta+ADH+AEP; T3) dieta+ADH+AEP+ALC; T4) dieta (testigo). El análisis estadístico se realizó con el procedimiento GLM y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para lo cual se usó Statgraphics Plus for Windows 4. El análisis de componentes principales (ACP) se aplicó solo a los datos de textura y sabor (Pravdova *et al.*, 2002), porque estas variables presentaron diferencia significativa entre tratamientos en al menos un descriptor.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En un animal sacrificado, la calidad fisicoquímica y sensorial de la carne para consumo es el resultado de la estructura de sus componentes y de los cambios bioquímicos e interacciones que ocurran entre estos. Dada la complejidad de los factores que intervienen en la calidad final, se han definido algunos indicadores que permiten discriminar con relativa facilidad la calidad de consumo de este alimento.

El pH es indicador de frescura debido a que su variación depende de la relación tiempo-temperatura postmortem, durante la cual se activan enzimas endógenas, prolifera la flora deteriorante y, en consecuencia, se generan compuestos químicos que aumentan el pH. Un intervalo de pH 5.4 a 5.8 en la carne postrigor indica que no se ha iniciado la producción de compuestos de putrefacción, como aminas biogénicas, aldehídos, cetonas y ácidos grasos de cadena corta (Guerrero L. 2009). Los valores de pH en este estudio están dentro del intervalo señalado, y no hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0.243$ ) (Cuadro 2), lo cual mostró la ausencia de putrefacción y se concluyó que la carne empleada satisfacía las características de frescura. La dureza, una manifestación macroscópica de la resistencia de un tejido al corte cuando se aplica una fuerza externa, tampoco mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0.167$ ). La dureza de la carne se debe a la estructura de las fibras musculares formadas en un

obtained for aroma, flavor and texture according to the methods and procedures ISO 8586-1:1993 (ISO, 1993). Meat samples were roasted as previously described, and presented to the panel in 1.5 x 3 cm pieces. The judges, on a horizontal 14 cm-line, indicated with a vertical line the distance represented by the intensity of each descriptor, where the origin (0 cm) meant not detected, and 14 cm the maximum intensity. The distance was measured and the results analyzed according to QDA (Escalona *et al.*, 1999). This procedure was repeated twice, obtaining 20 observations for each descriptor.

### Statistical analysis

The experimental design was randomized blocks; the treatments were as follows: T1) diet+CLA; T2) diet+DHA+EPA; T3) diet+DHA+EPA+CLA; T4) diet (control). The statistical analysis was performed by GLM procedure and means compared by Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ), using Statgraphics Plus for Windows 4. Principal Component Analysis (PCA) was applied only to texture and flavor data (Pravdova *et al.*, 2002), due that these variables were the ones presented a significant difference among treatments in at least one descriptor.

## RESULTS AND DISCUSSION

Physiochemical and sensory quality of meat for consumption is the result of its components structure and biochemical changes and interactions that occur among them. Given the complexity of factors that intervene in final quality, some indicators have been defined that make it possible to discriminate with relative ease the consumption quality of this food.

The pH value is a freshness indicator due to the fact that its variation depends on postmortem time-temperature ratio, during which endogenous enzymes are activated, deteriorating flora proliferates and, consequently, chemical compounds that increase pH are generated. A pH range between 5.4 and 5.8 in postrigor meat indicates that the production of chemical compounds related to spoilage, such as biogenic amines, aldehydes, ketones and short chain fatty acids, has not begun (Guerrero L. 2009). pH values observed in this study are within the indicated interval, with no significant differences among treatments ( $p=0.243$ ) (Table 2), which showed the absence of putrefaction. It was concluded that the studied meat samples satisfied the characteristics of freshness. Hardness, a macroscopic manifestation of tissue resistance to cutting when an external force is

**Cuadro 2. Efecto de la adición de AGPCL (ADH, AEP y ALC) en dietas para cerdos, sobre el pH, la dureza, la actividad de agua ( $a_w$ ) y las pérdidas por cocción de la carne.****Table 2. Effect of LCPUFA (DHA, EPA and CLA) supplementation in pig diets on pH, hardness, water activity ( $a_w$ ) and cooking losses.**

Variable	Tratamiento				P =
	ALC (T1)	ADH+AEP (T2)	ADH+AEP+ALC (T3)	Testigo (T4)	
pH	5.33 ± 0.10	5.42 ± 0.07	5.41 ± 0.06	5.37 ± 0.11	0.243
Dureza (g)	200.5 ± 34.5	254.5 ± 53.5	261.1 ± 48.9	286.4 ± 48.6	0.167
Actividad de agua ( $a_w$ )	0.969 ± 0.004 a,b <sup>†</sup>	0.967 ± 0.004 b	0.961 ± 0.004 b	0.975 ± 0.003a	0.001
Pérdidas por cocción (%)	23.9 ± 3.0 c	34.7 ± 3.3 b	47.91 ± 4.0 a	23.7 ± 3.3 c	0.001

<sup>†</sup> Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) ♦ Means with different letter in a row are statistically different ( $\alpha=0.05$ )

alto porcentaje por proteínas (Pérez Munuera *et al.*, 2009). Los AGPCL se incorporan al tejido graso, no al proteínico, por lo cual el suplemento de AGPCL no afecta la dureza de la carne al no incorporar notablemente lípidos a las fibras musculares.

La actividad de agua ( $a_w$ ) y las pérdidas por cocción mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.001$ ). Los valores de  $a_w$  mínimos observados ( $a_w=0.961$ ) y la pérdida por cocción máxima (47.91 %) se presentaron en T3 (ADH+AEP+ALC) (Cuadro 2). Los AGPCL, incorporados a la carne en arreglos estructurales de aciltriglicéridos, da como resultado una mayor proporción de tejido adiposo y por tanto una disminución de  $a_w$ . Young *et al.* (2012) reportaron una disminución de  $a_w$  hasta 0.97 al adicionar AGPCL a dietas para no rumiantes y suponen que se debió a una disminución en la relación de ácidos saturados/insaturados en la grasa de cerdo. Entre mayor sea el grado de insaturación de un ácido graso, menor es la cantidad de cargas eléctricas que pueden interactuar con las moléculas de agua (Lo Fiego *et al.*, 2005). Por tanto, la  $a_w$  disminuyó al incorporar al sistema cárnico un ácido graso poliinsaturado como ALC.

La pérdida por cocción se refiere al agua retenida físicamente en la estructura de la carne y se relaciona con su jugosidad. Al elevar la temperatura sobre 55 °C, la desnaturalización térmica de las fibras musculares libera un alto porcentaje del agua que se puede eliminar fácilmente al aplicar una presión suave sobre el tejido (Pérez Munuera *et al.*, 2009). Como el tejido proteínico participa en la retención de agua, y no el graso, a mayor proporción de tejido adiposo

applied, did not show significant differences among treatments ( $p=0.167$ ). Meat hardness is due to the structure of the muscle fibers largely formed by proteins (Pérez Munuera *et al.*, 2009). LCPUFA incorporate to the fatty tissue, not to the protein tissue, thus the supplement of LCPUFA did not affect meat hardness as fats are not incorporated to the muscle fibers.

Water activity ( $a_w$ ) and cooking losses showed significant differences among treatments ( $p \leq 0.001$ ). The minimum  $a_w$  observed ( $a_w=0.961$ ) and maximum cooking loss (47.91 %) appeared in T3 (DHA + EPA+CLA) Table 2). LCPUFA incorporated to the meat as acyltriglycerides in the adipose tissue.  $a_w$  reduction by adding LCPUFA to diets was probably due to a reduction in saturated/unsaturated fatty acid ratio in the pig fat. The higher the degree of unsaturation in a fatty acid, the lower the amount of electric charges that can interact with water molecules (Lo Fiego *et al.*, 2005). Therefore,  $a_w$  decreased by incorporating polyunsaturated fatty acids to the meat system, such as CLA.

Cooking loss refers to water physically retained in the meat structure, and is related to juiciness. By raising the temperature above 55 °C, thermal denaturalization of the muscle fibers releases a high percentage of the water which can be eliminated by applying soft pressure on the tissue (Pérez Munuera *et al.*, 2009). As the protein tissue participates in water retention but not in fat retention, the higher the proportion of adipose tissue, the lower the retention, thus the incorporation of LCPUFA increases water release. These results agree with those reported by

hay menor retención, por lo cual la incorporación de AGPCL produce mayor expulsión de agua. Estos resultados están de acuerdo con los reportados por Apple *et al.* (2009), quienes estudiaron el efecto interactivo de la grasa con la dieta en diversas regiones anatómicas del cerdo, encontrando que los AGPCL adicionados alteraban la proporción promedio de ácidos grasos en la grasa de cerdo, disminuyendo el punto de fusión del tejido adiposo y aumentando las pérdidas por cocción. De los análisis fisicoquímicos de la calidad de carne se concluyó que se satisfacían las características de frescura necesarias para proceder a la evaluación sensorial por un panel entrenado, no se alteraba la dureza pero disminuía la  $a_w$  y las pérdidas por cocción en los tratamientos que incluían ácidos omega-3.

### Análisis sensoriales

De acuerdo con Deliza y Gloria (2009), al disminuir la interacción de agua decrece la percepción de aroma y sabor debido a un retraso en la liberación de moléculas odoríferas. Estevez *et al.* (2003) reportan que a mayor longitud de la cadena del ácido graso, menor es la liberación de compuestos relacionados con el sabor y aroma, lo cual se comprobó en el estudio de evaluación sensorial descrita a continuación.

### Análisis descriptivo cualitativo

Los descriptores generados por los jueces, valores medios y diferencias estadísticas se muestran en el Cuadro 3. No hubo diferencias significativas entre tratamientos con excepción de los descriptores de sabor a rostizado ( $p=0.032$ ) y textura jugosa ( $p=0.004$ ) y en ambas variables el tratamiento T1 (ALC) tuvo las mayores calificaciones. En concordancia con los resultados de los análisis fisicoquímicos, la adición de AGPCL omega-3, debido a la longitud de la cadena y al número de insaturaciones, aumentan la hidrofobicidad del sistema dando como resultado menor sensación de jugosidad y de sabor rostizado, como ya se indicó. La inclusión de ALC en los tratamientos T1 y T3, uno de los compuestos responsables del sabor de carne rostizada, aumentó la calificación de este atributo de manera significativa con respecto al testigo ( $p=0.032$ ). Asimismo, de acuerdo con los resultados reportados por Pérez M. *et al.* (2009), la presencia de isómeros inestables de ALC promueve mayor

Apple *et al.* (2009), who studied the interactive effect of fat with the diet in diverse anatomical regions of the pig, finding that added LCPUFA altered the average proportion of fatty acids in pork fat, decreasing adipose tissue melting point and increasing cooking losses. Physiochemical analysis of meat quality showed that freshness characteristics were satisfied for proceeding to sensory evaluation by a trained panel. Hardness was not altered, but  $a_w$  decreased along with cooking losses in treatments that included omega-3 acids.

### Sensory analysis

According to Deliza and Gloria (2009), as water interaction decreases, aroma and flavor perception also decreases due to a delay in the release of odor molecules from the food system. Estevez *et al.* (2003) report that the longer the fatty acid chain, the lower the release of compounds related to flavor and aroma, which was confirmed in the sensory evaluation described below.

### Qualitative descriptive analysis

The descriptors generated by the judges, mean values and statistical differences are shown in Table 3. There were no significant differences among treatments, with the exception of the descriptors of roasted flavor ( $p=0.032$ ) and juicy texture ( $p=0.004$ ). For both variables, treatment T1 (CLA) had the highest scores. In agreement with physiochemical analyses results, the addition of omega-3 LCPUFA, as chain length and unsaturation degree increase, hydrophobicity of the system also increases, resulting in a lower sensation of juiciness and roasted flavor. The inclusion of CLA, responsible for the roast meat flavor, in treatments T1 and T3 significantly increased the score of this attribute with respect to the control. In addition, according to the results reported by Pérez M. *et al.* (2009), the presence of unstable CLA isomers promotes higher interaction with water molecules, increasing the score for juicy texture (10.25). Fishy aroma and flavor, undesirable in meat, were not observed in any of the treatments including LCPUFA. Scores given by the panelists were very low (0.4 to 1.42) (Figure 1), contrary to what was reported in other studies of the effect of the inclusion of omega-3 acids, such as safflower oil

**Cuadro 3. ADC: valores medios y desviación estándar de características sensoriales de la carne de cerdos que recibieron dietas con AGPCL (ADH, AEP y ALC).****Table 3. QDA: mean values and standard deviation of sensory characteristics of meat obtained from animals supplemented with LCPUFA (DHA, EPA and CLA).**

Atributo	Descriptor	Tratamientos				P =
		ALC (T1)	ADH+AEP (T2)	ADH+AEP +ALC (T3)	Testigo (T4)	
Aroma	Rostizado	4.91±1.19 <sup>†</sup>	3.60±1.20	4.33±1.17	5.08±1.12	0.305
	Pescado	1.31±0.84	1.30±0.80	0.82±0.88	0.99±0.86	0.843
	Rancio	0.45±0.72	0.96±0.64	0.72±0.63	0.63±0.60	0.755
	Borrego	1.74±1.05	1.71±0.99	2.15±1.05	1.77±1.03	0.935
	Res	1.45±0.95	1.66±0.94	2.50±0.92	2.02±0.98	0.498
	Huevo	0.90±0.81	1.22±0.70	0.81±0.74	0.83±0.87	0.907
	Pollo	1.70±1.19	1.90±1.27	1.92±1.25	1.93±1.27	0.993
	Aceitoso	1.19±0.81	1.73±0.77	2.11±0.84	1.57±0.83	0.529
Sabor	Rostizado	4.68±1.12 a,b <sup>‡</sup>	2.74±1.06 b	3.47±1.13 a,b	4.96±1.04 a	0.032
	Pescado	0.96±0.74	0.65±0.70	1.42±0.89	0.40±0.69	0.251
	Res	1.81±0.99	2.43±0.97	1.10±0.90	2.48±1.20	0.213
	Borrego	1.55±0.85	2.06±0.84	1.06±0.93	1.54±0.86	0.535
	Acido	2.17±0.93	2.01±0.94	2.01±0.94	2.54±0.96	0.877
	Semillas	0.92±0.78	1.25±0.67	1.21±0.69	0.55±0.70	0.567
Textura	Suave	7.81±1.54	10.05±1.71	8.54±1.69	9.45±1.82	0.294
	Jugoso	10.25±1.52 a	4.77±2.55 c	8.34±2.54 a,b	8.75±2.21 a,b	0.004
	Pastoso	4.33±1.13	5.01±1.19	4.49±1.16	4.78±1.12	0.729
	Fibroso	4.00±1.20	5.35±0.79	4.27±1.03	5.44±1.11	0.140

<sup>†</sup> Media ± desviación estándar (20 observaciones) ♦ Mean ± standard deviation (20 observations).

<sup>‡</sup> Medias con distinta letra en un renglón son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) ♦ Means with different letter in a row are statistically different ( $\alpha=0.05$ )

interacción con moléculas de agua, aumentando la calificación de textura jugosa (10.25). El aroma y sabor a pescado, indeseables en la carne, no se observaron en ninguno de los tratamientos con AGPCL y las calificaciones dadas por los panelistas fueron bajas (0.4 a 1.42) (Figura 1), en forma contraria a lo reportado en otros estudios acerca del efecto de la inclusión de materiales ricos en ácidos omega-3, como el aceite de cártamo, en las dietas para cerdos (Juárez *et al.*, 2011). Además, en todos los tratamientos se asignaron calificaciones bajas al aroma a rancio, otro atributo indeseable en las carnes (0.45 a 0.965). Una posible explicación a la disminución de la rancidez, ocasionada mayormente por la generación y posterior oxidación de compuestos azufrados (Guentert *et al.*, 1990), fue el atrapamiento de electrones por los AGPCL (Huang y Ho, 2011).

### Análisis de componentes principales (ACP)

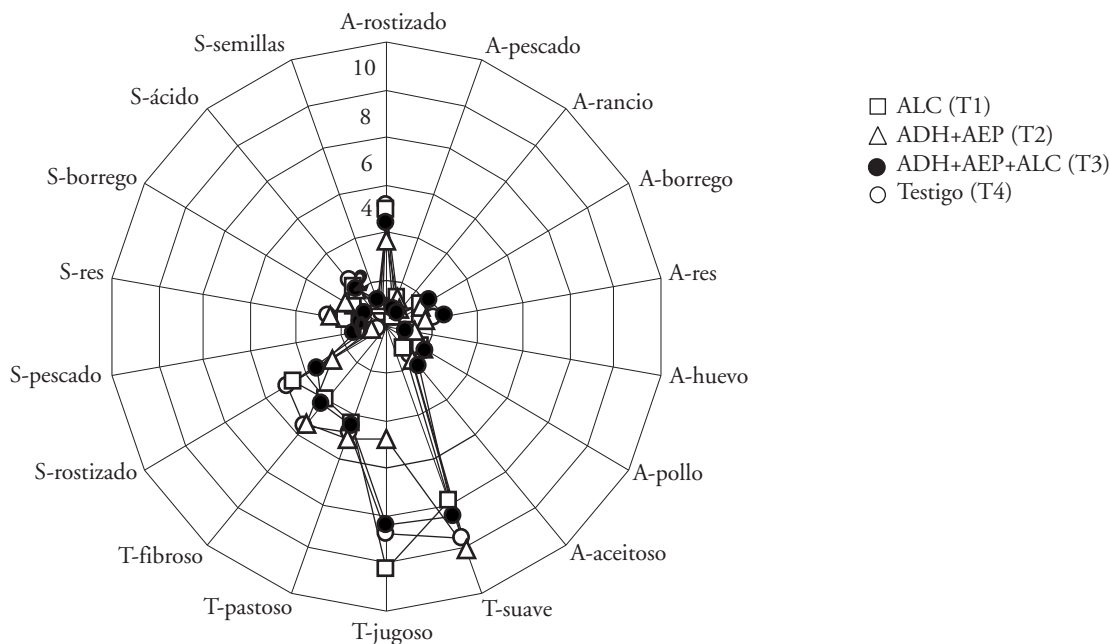
El ACP se aplicó solamente a los descriptores de sabor a rostizado y textura jugosa, debido a que fueron

in pig diets (Juárez *et al.*, 2011). Furthermore, in all of treatments low scores were assigned to rancid odor, another undesirable attribute in meats (0.45 to 0.965). One possible explanation to the reduction in rancidity caused by the sulfur compounds generation and oxidation (Guentert *et al.*, 1990) was the entrapment of electrons by LCPUFA (Huang and Ho, 2011).

### Principal components analysis (PCA)

PCA was applied only to roasted flavor and juicy texture descriptors, due to the fact that they were the only ones that presented significant differences in QDA ( $p = 0.032$  and  $0.004$ , respectively). The sum of the two principal components (PC) of texture (PC1 and PC2) explained 71.82 % of the results (Figure 2A); the positive values corresponded to the treatments PC1: DHA+EPA (T2), DHA+EPA+CLA (T3) and control (T4); PC2: DHA+EPA+CLA (T3) and control (T4). The fibrous descriptor, in the upper right quadrant, was the highest positive contribution





**Figura 1.** Análisis descriptivo cualitativo de sabor (S), textura (T) y aroma (A) de la carne de cerdos que recibieron dietas con AGPCL (ADH, AEP y ALC). Los datos son valores medios de 20 observaciones.

**Figure 1.** Qualitative descriptive analysis of flavor (F), texture (T) and aroma (A) of meat obtained from animals supplemented with LCPUFA (DHA, EPA and CLA). Data are means of 20 observations.

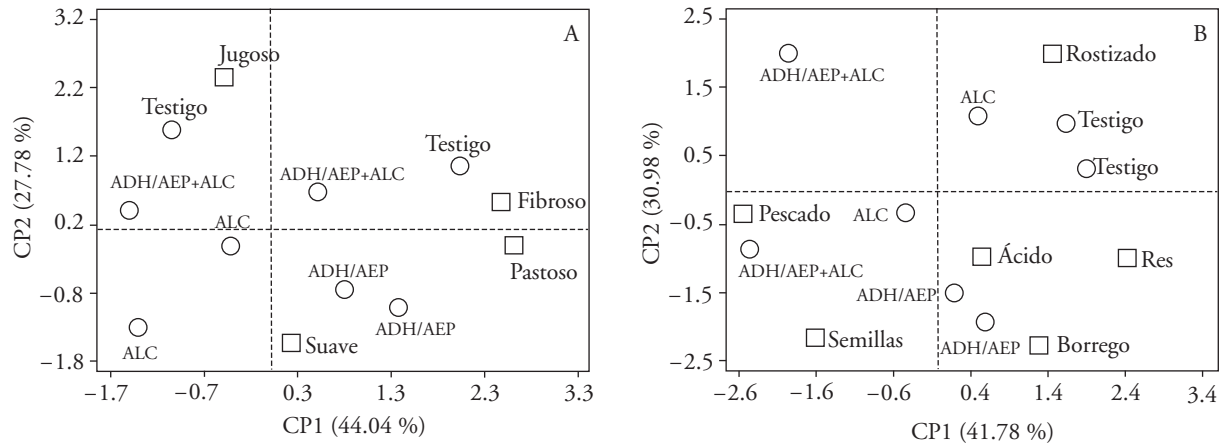
los únicos que mostraron diferencias significativas en el ADC ( $p=0.032$  y  $0.004$ , respectivamente). La suma de los dos componentes principales (CP) de la textura (CP1 y CP2) explicaron 71.82 % de los resultados (Figura 2A); los valores positivos correspondieron a los tratamientos: CP1: ADH+AEP (T2), ADH+AEP+ALC (T3) y testigo (T4); CP2: ADH+AEP+ALC (T3) y testigo (T4). El descriptor fibroso, en el cuadrante superior derecho, fue la mayor contribución positiva a la textura, mientras que el descriptor pastoso (cuadrante inferior derecho) contribuyó negativamente.

El descriptor jugoso tuvo una contribución baja para las calificaciones de la textura. Los valores positivos del sabor fueron para los tratamientos: CP1: ALC (T1), ADH+AEP (T2) y testigo (T4); CP2: ALC (T1), ADH+AEP+ALC (T3) y testigo (T4) (Figura 2B). La suma de los dos componentes principales explicó 72.76 % de los resultados. Los resultados muestran que la carne de cerdo presentó textura pastosa (de acuerdo al término acordado por los panelistas, indicando así una consistencia aglutinada, cohesiva y ligeramente elástica) para ADH+AEP (T2), mientras que con ADH+AEP+ALC (T3) la

to texture, whereas the pasty descriptor (lower right quadrant) contributed negatively.

The juicy descriptor had a low contribution for texture scores. The positive values of flavor were for treatments: PC1: CLA (T1), DHA+EPA (T2) and control (T4); PC2: CLA (T1), DHA+EPA+CLA (T3) and control (T4) (Figure 2B). The sum of the two principal components explained 72.76% of the results. These results show that pork presented pasty texture (according to the term agreed on by the panelists, thus indicating agglutinated, cohesive and slightly elastic consistency) for DHA+EPA (T2), while with DHA+EPA+CLA (T3) the meat was fibrous, with a clear perception to sheep meat and reduced juiciness. Although according to Azain (2004) and Rahman *et al.* (2001), CLA decreased the proportion of adipose tissue. Wood *et al.* (2003) indicate that this fatty acid negatively affected meat quality by increasing melting point, thus producing a higher perception of hardness. Treatments that included CLA (T1 and T3) effectively showed higher hardness (less softness, Table 3).

The roast meat descriptor contributed positively to flavor, whereas the descriptors that affected



**Figura 2. Análisis de Componentes Principales de sabor (A) y textura (B) de carne obtenida de cerdos alimentados con AGPCL (○ DH, AEP y □ LC). Los datos presentados son valores medios de 20 observaciones ○ atributos □ tratamientos.**  
**Figure 2. Principal Component Analysis of flavor (A) and texture (B) of meat obtained from animals supplemented with LCP-UFA (○ DHA, EPA and □ CLA). Data are means of 20 observations of ○ attributes and □ treatments.**

carne fue fibrosa, con una clara percepción a borrego y jugosidad reducida. Aunque, de acuerdo con Azain (2004) y Rahman *et al.* (2001), el ALC disminuye la proporción de tejido adiposo, Wood *et al.* (2003) indican que este ácido graso afecta negativamente a la calidad de la carne al aumentar el punto de fusión, y por tanto producir mayor percepción de dureza. Y los tratamientos que incluyeron ALC (T1 y T3) efectivamente mostraban mayor dureza (menor suavidad, Cuadro 3).

El descriptor de carne rostizada contribuyó positivamente al sabor, mientras que los descriptores que lo afectaron negativamente fueron: ácido, a borrego, a pescado, a res, a semillas; el sabor rostizado más intenso se presentó en el testigo. La identificación de sabor a pescado fue la contribución negativa más importante, de acuerdo al ACP (Figura 2B), aunque obtuvo calificaciones bajas de los panelistas (0.40 a 1.42), pero no significativas ( $p=0.251$ ) con respecto al testigo (Cuadro 3). Según Leskanich *et al.* (1997), la adición de harina de pescado a dietas de cerdos no afecta la aceptabilidad sensorial de la carne. Asimismo, y de acuerdo con la información proporcionada por el proveedor, en el proceso de obtención de los ácidos omega-3 utilizados en este estudio se disminuyen los olores y sabores a pescado a través de un proceso de desodorización. Paralelo a la obtención de ADH y AEP, se extraen compuestos odoríferos potentes, como metional, 1-octen-3-ol, 2,6-nonadienal, 2,4-octadienal, 2-penteno-1-ol y 2,3-butanediona

negativamente were: acid, lamb-like, fishy, beefy, seedy. The most intense roasted flavor was observed in the control. The identification of fishy flavor was the most important negative contribution, according to the PCA (Figure 2B), although it obtained low scores from the panelists (0.40 to 1.42), it was not significant ( $p=0.251$ ) with respect to the control (Table 3). According to Leskanich *et al.* (1997), the addition of fish flour to pig diets did not affect meat sensory acceptability. In the same way, and according to information provided by the supplier, in the process of obtaining the omega-3 acids used in this study, the fishy odors and flavors were reduced by means of a deodorization process. Parallel to obtaining DHA and EPA, potent odiferous compounds are extracted, such as methional, 1-octen-3-ol, 2,6-nonadienal, 2,4 octadienal, 2-penteno-1-ol and 2,3-butanediona (Narain and Nunes, 2007). The deodorized product was microencapsulated, and thus was incorporated to the pigs' diets.

## CONCLUSIONS

The addition of combinations of CLA, DHA and EPA in pigs' diets made it possible to obtain meat with an added value due to the incorporation of these bioactive compounds, without affecting pH or tenderness, although it diminished  $a_w$  and increased cooking losses. Sensory properties were not altered, except roasted flavor and juiciness, which had lower

(Narain y Nunes, 2007). El producto desodorizado se microencapsuló y de esta forma se incorporó a las dietas de cerdos.

## CONCLUSIONES

La adición de combinaciones de ALC, ADH y AEP en dietas para cerdos permitió obtener carne con un valor agregado debido a la incorporación de estos compuestos bioactivos, sin efectos en el pH ni en la dureza, aunque disminuyó la  $a_w$  y aumentaron las pérdidas por cocción. Las propiedades sensoriales no cambiaron, excepto el sabor a rostizado y la jugosidad, que mostraron menor intensidad con respecto al testigo. Sin embargo, no se detectaron aroma ni sabor a pescado, aunque los ácidos grasos omega-3 tenían origen marino. Las dosis y la adición de los AGPCL en forma microencapsulada permitieron que la carne fuera aceptada por un panel entrenado, además de satisfacer los requisitos de ser un alimento funcional.

## AGRADECIMIENTOS

Jarumi Aguilar-Guggembuhl agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México) por una beca de posgrado. Los autores reconocen el invaluable apoyo del MVZ Roberto Martínez Rodríguez, CEIEPP, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, por la asesoría y el manejo antemortem de los animales.

## LITERATURA CITADA

- Ansorena D., and I. Astiansarán. 2009. Ingredients: Meat, fat and salt. *In*: Nollet, L., and F. Toldrá (eds). Handbook of Processed Meat and Poultry Analysis. CRC Press, Boca Raton. pp: 69-90.
- Apple, J. K., C. V. Maxwell, D. L. Galloway, S. Hutchison, and C. R. Hamilton. 2009. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine. I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. *J. Anim. Sci.* 87: 1407-1422.
- Azain, M. J. 2004. Role of fatty acids in adipocyte growth and development. *J. Anim. Sci.* 82: 916-924.
- Deliza, R., and B. R. Gloria. 2009. Sensory perception. *In*: Nolle, L. M. L., and F. Toldrá (eds). Handbook of Muscle Foods Analysis. CRC Press Boca Raton, Florida pp: 526-548.
- Doyon, M., and J. A. Labrecque. 2008. Functional foods: a conceptual definition. *Brit. Food J.* 110: 1133-1149.
- Escalona, H., S. Ogden, I. Guerrero Legarreta, and A. Taylor. 1999. Changes in flavor-related compounds in meat treated with organic acids. *In*: Shahidi, F., and C. H. Ho (eds). Flavor Chemistry of Ethnic Foods. Academic-Plenum Press, New York. pp: 159-168.
- Estevez, M., D. Morcuende, S. Ventanas, and R. Cava. 2003. Analysis of volatiles in meat from Iberian pigs and lean pigs after refrigeration and cooking using SPME-GC-MS. 2003. *J. Agric. Food Chem.* 51: 3429-3435.
- García Barrientos R., X. Guzmán García, A. Hernández Sámano, R. E. Armenta, and I. Guerrero Legarreta, I. 2011. Nutraceuticals from marine sources. *In*: Jaramillo-Flores, M. E., E. C. Lugo-Cervantes, and L. Chel-Guerrero (eds). Nutraceuticals and Functional Foods: Conventional and Non-conventional Sources. Studium Press, Llc. New Delhi, India. pp: 79-102.
- Guentert, M., J. Bruening, R. Emberger, M. Koepsel, W. Kuhn, T. Thielmann, and P. Werkhoff. 1990. Identification and formation of some selected sulfur-containing flavor compounds in various meat model systems. *J. Agric. Food Chem.* 38: 2027-41.
- Guerrero L. I. 2009. Meat spoilage detection. *In*: Nolle, L., and F. Toldrá (eds). Handbook of Processed Meat and Poultry Analysis. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp: 445-460.
- Hayek, M. G., S. Han, D. Wu, B. A. Watkins, M. Meydani, and J. L. Dorsey. 1999. Dietary conjugated linoleic acid influences the immune response of young and old C57BL/6N CrIbr mice. *J. Nutr.* 129: 32-38.
- Huang, T. C., and C.T. Ho. 2011. Flavors and flavor generation of meat products. *In*: Aalhus, J, L. Cocolin, I. Guerrero Legarreta, L. Nolle, R. Purchas, P. Stanfield, Y. Xiong, and M. Schilling (eds). Handbook of Meat and Meat Processing. CRC Press. New York. pp: 107-137.
- International Organization for Standardization (ISO). 1993. Sensory analysis: General guidance for the selection, training and monitoring of assessors. Part 1: Selected assessors. [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=15875](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=15875). (Acceso: enero 2013).
- Jaturasita, S., R. Khiaosa, P. Pongpiachan, and M. Kreuzer. 2009. Early deposition of n-3 fatty acids from tuna oil in lean and adipose tissue of fattening pigs is mainly permanent. *J. Anim. Sci.* 87: 693-703.
- Jiménez-Colmenero, F., J. Carballo, and S. Cofrades 2001. Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Sci.* 59: 5-13.

—End of the English version—

-----\*-----

- Juárez, M., M. E. Dugan, N. Aldai, J. L. Aalhus, J. F. Patience, R. T. Zijlstrac, and A. D. Beaulieu. 2011. Increasing omega-3 levels through dietary co-extruded flaxseed supplementation negatively affects pork palatability. *Food Chem.* 126: 1716-1723.
- Kramer, J. K. G., C. Cruz-Hernández, Z. Deng, J. Zhou, G. Jahreis, and M. E. R. Dugan. 2004. Analysis of conjugated linoleic acid and trans 18:1 isomers in synthetic and animal products. *Am. J. Clin. Nutr.* 79(suppl): 1137S-1145S.
- Leskanich, C. O., K. R. Matthews, C. C. Warkup, C. Noble, and M. Hazzledine. 1997. The effect of dietary oil containing n-3 fatty acids on the fatty acid, physicochemical and organoleptic characteristics of pig meat and fat. *J. Anim. Sci.* 75: 673-683.
- Lo Fiego, D. P., P. Macchioni, P. Santero, G. Pastorelli, and C. Corino C. 2005. Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on CLA isomers content and fatty acid composition of dry-cured Parma ham. *Meat Sci.* 70: 285-291.
- Martin, D., T. Antequera, E. Muriel, T. Pérez-Palacios, and J. Ruiz. 2011. Effect of dietary conjugated linoleic acid in combination with monounsaturated fatty acids on the composition and quality traits of cooked loin. *Food Chem.* 124: 518-526.
- Morgado, N., A. Galleguillos, J. Sanhueza, A. Garrido, S. Nieto, and A. Valenzuela. 1998. Effect of the degree of hydrogenation of dietary fish oil on the trans acid content and enzymatic activity of rat hepatic microsomes. *Lipids* 33: 669-673.
- Mota Rojas, D., I. Guerrero L. P. Roldán, P. Mora, y R. Martínez. 2012. Factores participantes en la incidencia del músculo PSE en cerdos. *In: Mota Rojas, D., S. M. Huertas, I. Guerrero L., M. E. Trujillo (eds). Bienestar Animal: Productividad y Calidad de Carne. Segunda Edición. Elsevier, México D. F. pp: 451-476.*
- Narain, N., and M. L. Nunes. 2007. Marine Animals and Plant products. *In: Nolle, L. (ed.). Handbook of Meat Poultry and Seafood Quality. Blackwell Publishing, Oxford. pp: 243-257.*
- Park, Y. W. 2009. Moisture and water activity. *In: Nolle, L., and F. Toldrá (eds). Handbook of Processed Meat and Poultry Analysis. CRC Press, Boca Raton. pp: 35-67.*
- Pérez M. I., V. Larrea, A. Quiles, and M. A. Lluch. 2009. Microstructure of muscle foods. *In: Nolle, L. M. L., and F. Toldrá (eds). Handbook of Muscle Foods Analysis. CRC Press Boca Raton, Florida, pp: 335-352.*
- Pravdova, V., C. Boucon, S. de Jong, B. Walczak, and D. L. Massart. 2002. Three-way principal component analysis applied to food analysis: an example. *Anal. Chim. Acta* 462: 133-148.
- Rahman, S. M., Y. M. Wang, H. Yotsumoto, J. Y. Cha, S. Y. Han, S. Inoue, and T. Yanagita. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on serum leptin concentration, body-fat accumulation, and b-oxidation of fatty acid in OLETF rats. *Nutrition* 17: 385-390.
- Sanhueza, J., S. Nieto, y A. Valenzuela, A. 2011. Ácido linoleico conjugado: un ácido graso con isomería trans potencialmente beneficioso. *Rev. Chilena Nutric.* 11: 98-105.
- Secretaría de Salud. 2004. Norma Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004. Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faena de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos. México D.F., México.
- Socarrás, S. M., and A. M. Bolet. 2010. Healthy feeding and nutrition in cardiovascular diseases. *Rev. Cubana Inv. Bioméd.* 29: 78-81.
- Stone, H., and J. L. Sidel. 2004. *Sensory Evaluation Practices.* Elsevier Academic Press. San Diego. 365 p.
- Tseng, Y. Y., C. J. Cheng, and R. C. Weng. 2000. Effects of dietary fish oil supplement on fatty acid composition and stability of pork meat and meat products. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 13 (Suppl A): 126-129.
- Valenzuela, B. R., O. G. Tapia, O. G., E. M. González, and B. A. Valenzuela. 2011. Omega-3 fatty acids (EPA and DHA) and its application in diverse clinical situations. *Rev. Chilena Nutric.* 38: 356-367.
- Venugopal, V. 2009. *Marine Products for Healthcare: Functional and Bioactive Nutraceutical Compounds from the Ocean.* CRC Press, Boca Raton. 527 p.
- Wood, J. D., R. I. Richardson, G. R. Nute, A. V. Fisher, M. M. Campo, E. Kasapidou, P. R. Sheard, and M. Enser. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 66: 21-32.
- Young, O. A., D. A. Frost, and M. Agnew. 2012. Analytical methods for meat and meat products. *In: Aalhus, J. L., L. Coliclin, I. Guerrero Legarreta, L. M. Nolle, R. W. Purchas, and M. W. Schilling (eds). Handbook of Meat and Meat Processing. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp: 140-159.*