



**Centro de Investigación en
Alimentación y Desarrollo, A. C.**

**EFEECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DIETARIA DE
ÁCIDO FERÚLICO EN EL COMPORTAMIENTO
PRODUCTIVO, CALIDAD DE LA CANAL Y CARNE DE
CERDO**

Por:

Julio Alfonso González Noriega

TESIS APROBADA POR LA

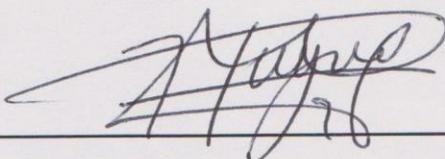
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS

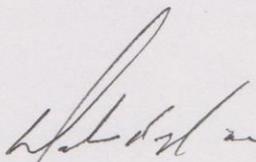
APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Julio Alfonso González Noriega, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



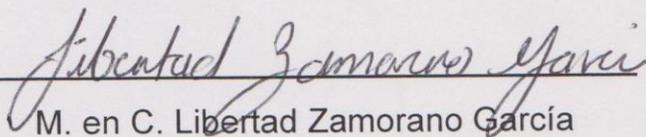
Dr. Humberto González Ríos

Director de tesis



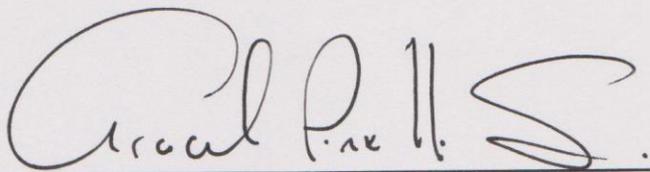
Dr. Martín Valenzuela Melendres

Asesor



M. en C. Libertad Zamorano García

Asesor



Dra. Araceli Pinelli Saavedra

Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en esta tesis es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.



Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme los recursos económicos durante el periodo de estudio en el posgrado de Maestría en Ciencias.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) por brindarme la oportunidad de seguir con mis estudios y poder realizar la Maestría en Ciencias mediante el uso de sus instalaciones.

A cada uno de los investigadores que formaron parte de mi comité de tesis, por sus valiosos consejos durante el desarrollo de esta investigación: Dr. Humberto González Ríos, Dra. Araceli Pinelli, M. en C. Libertar Zamorano y Dr. Martín Valenzuela.

Al Dr. Humberto González Ríos por haberme aceptado como parte de su equipo de trabajo y asesorado durante estos dos años de maestría. Por sus consejos, tiempo y dedicación en mis estudios.

A la M. en C. Libertad Zamorano por su apoyo técnico durante los muestreos y realización de análisis sensoriales y fisicoquímicos.

A la Q. B. Thalia IIsava Lagarda por su apoyo técnico durante el desarrollo de trabajo en el laboratorio.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo principalmente a mi familia, por haberme apoyado en mis estudios y en cada una de mis decisiones, al brindarme su ayuda, dándome consejos y siempre enseñándome a ser mejor persona.

A cada uno de los compañeros del grupo de investigación en el área de carnes por su apoyo y gran amistad: Dra. Aida, M. en C. Libertad, Thalia, Anna, Lisdeth, Roció, Nidia, Dr. Humberto, Dr. Juan Pedro. Dr. Martin, I.Q. Germán, José Luis, Edgar Peña, Julio, Edgar Valle y Felipe.

A mis compañeros y amigos de generación de CİAD así como a mis amigos de años atrás por formar parte de una gran etapa de mi vida y pasar buenos momentos juntos.

A Dios por brindarme salud para salir adelante y paciencia en esas horas de estudio, por llevarme por un buen camino y poder concluir mis estudios.

Quiero que reciban en forma de reconocimiento este trabajo en cambio de lo mucho que ustedes me han brindado.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Panorama de la Industria Porcícola	3
2.2. Sistemas de Producción de Ganado Porcino.....	4
2.3. Aditivos Sintéticos como Promotores de Crecimiento.....	4
2.3.1 Suplementación de β -AA en la Producción de Cerdos	5
2.3.2. Suplementación de Ractopamina en la Dieta de Ganado Porcino y su Enriquecimiento con Lisina	7
2.4. Parámetros de la Calidad de la Carne de Cerdo	10
2.4.1. Composición Química.....	11
2.4.2. Propiedades Sensoriales	12
2.5. Efectos Negativos del Uso de β -AA en la Calidad de la Carne de Cerdo ..	14
2.6. Uso de Compuestos Naturales en la Producción Animal y su Efecto Benéfico sobre la Calidad de la Carne.....	16
2.7. Ácido Ferúlico y su Potencial Uso en la Producción Porcina	19
3. HIPÓTESIS.....	23
4. OBJETIVO GENERAL	24
4.1 Objetivos Específicos.....	24
5. METODOLOGÍA	25
5.1. Prueba de Comportamiento Productivo y Calidad de la Canal	25
5.1.1. Alimentación y Pruebas de Comportamiento Productivo	25
5.1.2. Sacrificio y Evaluación de la Calidad de la Canal	28
5.1.3. Obtención y Selección de Muestras para Análisis de Carne	28
5.2. Análisis de la Calidad de la Carne	29
5.2.1. Composición Química.....	29

CONTENIDO (Continuación)

5.2.2. Determinación del Perfil de Ácidos Grasos.....	30
5.3. Estudio de Vida de Anaquel en Carne Fresca	32
5.3.1. Valor de pH.....	33
5.3.2. Parámetros de Color.....	33
5.3.3. Capacidad de Retención de Agua (CRA)	33
5.3.4. Pérdida de Peso por Cocción	34
5.3.5. Esfuerzo al Corte	34
5.3.6. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)	35
5.3.7. Porcentaje de Metamioglobina.....	35
5.3.8. Evaluación Sensorial	36
5.4. Diseño Experimental y Análisis Estadístico	37
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
6.1. Comportamiento Productivo.....	38
6.2. Características de Calidad de la Canal	41
6.3. Análisis de Calidad de la Carne	47
6.3.1. Composición Química.....	47
6.3.2. Perfil de Ácidos Grasos de Tejido Intramuscular y Grasa Dorsal	49
6.4. Vida de Anaquel.....	58
6.4.1 Calidad Físico-química.	59
6.4.2. Análisis Sensorial.....	74
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
8. REFERENCIAS	84
9. Anexos.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructura de clorhidrato de ractopamina.....	6
2	Mecanismo de acción de los compuestos β -AA.....	8
3	Coloración en la pierna de cerdo asociada a las diversas fases de estado de oxidación de la mioglobina.....	13
4	Estructura del ácido ferúlico.....	20
5	Valor de pH en carne fresca de cerdo en condiciones de refrigeración a 4 °C y en presencia de luz.....	60
6	Valor de L* de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	61
7	Valor de a* de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	63
8	Valor de b* de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	64
9	Valor del ángulo de matiz de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	66
10	Capacidad de retención de agua de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	67
11	Pérdida de peso por cocción en carne de cerdo.....	69
12	Valor de esfuerzo al corte de carne de cerdo cocinada.....	70
13	Valor de TBARS en carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	72
14	Porcentaje de metamioglobina en carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	75
15	Pérdida de sabor a carne fresca de cerdo cocinada almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	77

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

16	Pérdida de olor a carne fresca de cerdo cocinada almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	78
17	Valor de color sensorial de la carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	80
18	Evaluación sensorial de la decoloración de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.....	81

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.....	27
2	Comportamiento productivo de cerdos en finalización suplementados con ácido ferúlico.....	39
3	Efecto de la suplementación de ácido ferúlico en la calidad de la canal de cerdo.....	42
4	Efecto de la suplementación de ácido ferúlico en la composición química de la carne de cerdo.....	48
5	Perfil de ácidos grasos (g/100g FAME) de grasa intramuscular de <i>Longissimus thoracis</i> de cerdos suplementados con RAC, AF y AF-L.....	50
6	Sumatoria parcial de ácidos grasos y valor nutricional de grasa intramuscular de <i>Longissimus thoracis</i> de cerdo suplementados con RAC, AF y AF-L.....	52
7	Perfil de ácidos grasos (g/100g FAME) de grasa dorsal de <i>Longissimus thoracis</i> de cerdos suplementados con RAC, AF y AF-L.....	55
8	Sumatoria parcial de ácidos grasos y valor nutricional de grasa dorsal de <i>Longissimus thoracis</i> de cerdo suplementados con RAC, AF y AF-L.....	57

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación dietaria de ácido ferúlico (AF) sobre el comportamiento productivo, calidad de la canal y carne de cerdos. A 110 cerdos (Landrace x Yorkshire; 68kg promedio) por tratamiento, se les asignó aleatoriamente uno de cuatro tratamientos: Control, dieta basal (DB); RAC, DB+10 ppm de clorhidrato de ractopamina + 0.3% de lisina; AF, DB+25 ppm de AF y AF-L, DB+25 ppm de AF + 0.3% de lisina, durante los últimos 27 días de la fase de finalización. En la prueba de alimentación se evaluó el peso inicial y peso final de los animales, ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento y conversión alimenticia. En las canales se evaluó el pH, área del ojo de costilla (AOC) y espesor de grasa dorsal (EGD) en 10 canales por tratamiento. Se obtuvo el músculo *Longissimus thoracis* para su análisis de composición química (humedad, grasa, proteína y perfil lipídico) y estudio de vida de anaquel (características fisicoquímicas y sensoriales) en refrigeración durante 10 días. Se realizó un ANOVA para comportamiento productivo, calidad de la canal y composición química y se probaron contrastes ortogonales para la comparación de medias. Los datos de vida de anaquel, se analizaron con un ANOVA GLM con arreglo factorial (tratamiento x día) y se compararon medias por Tukey-kramer ($P < 0.05$). En la prueba de comportamiento productivo, se observó un incremento del 10% en GDP de animales suplementados con AF, AF-L y RAC, además de un incremento del 20% en AOC y una reducción del 49% del EGD respecto al Control ($P < 0.05$). El comportamiento y calidad de la canal de animales suplementados con AF fue similar a RAC ($P > 0.05$). El perfil lipídico fue modificado por efecto de la suplementación de AF y RAC, donde se redujo el contenido de ácidos grasos saturados (principalmente C16:0 y C18:0), y se incrementaron los ácidos grasos insaturados en grasa dorsal e intramuscular ($P < 0.05$) de animales suplementados. Durante la vida de anaquel, se observó una disminución del 12% ($P < 0.05$) del esfuerzo al corte en carne de los

animales suplementados con AF respecto al Control. Sin embargo, no se observó un efecto antioxidante de AF, ya que se registró una menor ($P<0.05$) estabilidad en valores de a^* , TBARS y metamioglobina, así como un incremento ($P<0.05$) de pérdida de sabor a fresco y decoloración sensorial en comparación al Control. En conclusión, la suplementación de AF a cerdos ejerció un efecto promotor del crecimiento equiparable a RAC; sin embargo, no se observó un efecto antioxidante durante la vida de anaquel.

Palabra clave: ractopamina, fitogénico, β -agonista adrenérgico, cerdos.

ABSTRACT

The objective of current study was to evaluate the effect of dietary supplementation of ferulic acid (FA) on productive performance, carcass quality and meat from pigs. One hundred ten pigs (Landrace x Yorkshire; 68 kg average) per treatment, were randomly assigned to one of four treatments: Control, basal diet (BD); RAC, BD + 10 ppm of ractopamine hydrochloride + 0.3% lysine; FA, BD + 25 ppm FA and FA-L, BD + 25 ppm FA + 0.3% lysine, during the last 27 days of the finishing phase. In the feedlot performance, initial body weight, final weight, average daily gain (ADG), feed intake and feed conversion were evaluated. In the carcasses (n= 10 by treatment), pH value, rib eye area (REA) and backfat thickness (BFT) were evaluated, and the *Longissimus thoracis* (LT) muscle was obtained for its chemical composition (moisture, fat, protein and lipid profile) analysis and shelf life study in refrigeration for 10 days. For productive performance, carcass quality and chemical composition data, an ANOVA was performed and orthogonal contrasts were tested. For the shelf life data, an ANOVA GLM with factorial arrangement (treatment x day) was used and Tukey-Kramer test was utilized for means comparison ($P < 0.05$). Results in productive performance showed an increase of 10% in ADG in supplemented animals with FA, FA-L and RAC, and a 20% increase of the REA and a reduction of 49% of the BFT compared to the Control ($P < 0.05$). The feedlot performance and carcass quality of animals supplemented with FA was similar to RAC ($P > 0.05$). Lipid profile was modified by effect of the FA and RAC, showing a reduction in the saturated fatty acids content (mainly C16:0 and C18:0) as well, an increase of unsaturated fatty acids in dorsal and intramuscular fat ($P < 0.05$) in meat from animals supplemented was observed. During the shelf life, a decrease of 12% ($P < 0.05$) of the shear force of the meat from supplemented animals with FA and FA-L was observed, however, not an antioxidant effect was observed, presenting a lower ($P < 0.05$) stability in a^* values, TBARS and metmyoglobin formation, and an increase ($P < 0.05$) in the

loss of fresh flavor and sensory discoloration compared to the Control. In conclusion, FA supplementation to pigs produced a comparable growth promoting effect to RAC, however, was not observed an antioxidant effect of FA during the shelf life study.

Keywords: ractopamine, phytogenic, β -adrenergic agonists, pigs

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) reportó que la carne de cerdo es una de las de mayor consumo a nivel mundial, siendo así que en el 2012 se registró una producción mundial de 112.4 millones de ton de carne de cerdo (FAO, 2014). De igual manera, su consumo per cápita a nivel nacional aumentó 0.6 kg en el 2014 y llegó a ser de 16.6 kg (SAGARPA, 2014). Debido a esto, se ha buscado la manera de incrementar la producción animal y obtención de carne de mayor calidad, con el fin de satisfacer las demandas del mercado (Navarrete, 2012).

Durante la distintos eslabones de la producción porcina (producción primaria, planta de sacrificio y canales, carne y su comercialización), existen factores que influyen sobre la calidad final del producto. Por ejemplo, características genotípicas o estrategias de alimentación utilizadas en la producción animal, el manejo que se dé al animal durante el traslado a la planta de sacrificio, así como el propio proceso de sacrificio del animal y obtención de la canal (Bautista *et al.*, 2013; Rosenvold y Andersen, 2003). Cada uno de estos factores se verá relacionado con el crecimiento animal, el porcentaje de tejido magro, composición química y calidad de la carne (Assan, 2014; Tikk, 2007). Sin embargo, uno de los factores con mayor influencia en las características mencionadas es el manejo nutricional, dentro del cual, el uso de aditivos promueven una mejora o hacen más eficiente la ganancia de peso o bien las características de calidad de la carne.

El uso de promotores de crecimiento sintético ha sido implementado por productores de ganado, con el fin de obtener mayores rendimientos productivos. Esto, debido a la modificación metabólica en la transformación de alimento y la generación de tejido muscular (Fajardo *et al.*, 2011). Sin embargo, a pesar de los beneficios productivos, el uso de estos aditivos sintéticos ha causado problemas tanto en la calidad de la carne, así como en la salud tanto del animal como del consumidor, al quedar residuos de estos compuestos en la carne, por lo que recientemente la suplementación de RAC ha sido restringida en mercados internacionales como es el caso de la Unión Europea (Blanca *et al.*, 2005). Es por esto, que se ha implementado la búsqueda y uso de compuestos naturales que sustituyan a los sintéticos (Kang *et al.*, 2012; Yan *et al.*, 2011).

La suplementación dietaria de compuestos de origen vegetal con actividad promotora de crecimiento puede ser una alternativa potencial para los promotores de crecimiento sintéticos, aunado a una posible mejora en las características de calidad de la carne, al reducir su oxidación lipídica y mejorar parámetros sensoriales, debido a la actividad antioxidante del fitoquímico suplementado (Kang *et al.*, 2012; Moroney *et al.*, 2012). Por consiguiente, la búsqueda constante de agentes fitogénicos y antioxidantes utilizados desde la producción animal, ha sido de gran importancia para la industria cárnica.

El uso de ácido ferúlico (AF) por medio de la suplementación dietaria, puede ser una alternativa en la mejora del comportamiento productivo animal hasta la calidad de la carne. Existe un solo reporte (Herrera *et al.*, 2011) que indica una moderada actividad promotora de crecimiento en cerdos por efecto de la suplementación dietaria de AF. Además, la información es nula en relación a un posible efecto antioxidante en la carne de los animales suplementados, tal como ya ha sido reportado en carne proveniente de ganado bovino suplementado con dicho fitoquímico (Peña, 2014). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo, fue evaluar el efecto de la suplementación dietaria de AF sobre el comportamiento productivo, calidad de la canal y la carne de cerdos.

2. ANTECEDENTES

2.1. Panorama de la Industria Porcícola

En la actualidad la carne de cerdo es uno de los alimentos de mayor importancia en la industria cárnica, al ser una de las de mayor consumo a nivel mundial. En el 2012 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) reportó una producción mundial de 112.4 millones de toneladas de carne y pronosticó un aumento de 3.1 millones de toneladas (FAO, 2014). En el caso más específico, en México su consumo *per cápita* aumentó 0.6 kg en el 2014 y llegó a ser de 16.6 kg (SAGARPA, 2014). Debido a esto, la producción en México ha ido a la alza. En el 2011 Jalisco fue el principal estado con una producción de 227.5 mil ton de carne, lo que representaba el 19.2% nacional y un incremento del 2.6% en relación al 2010. Por su parte, Sonora se consideró el segundo productor, con 223.1 mil toneladas, 18.9% del total a nivel nacional y un crecimiento anual de 4.6% (Navarrete, 2012). Cabe mencionar que en el año 2013 estos porcentajes de producción permanecieron igual según reportó la confederación de porcicultores mexicanos (SAGARPA, 2014). Para que ésto pueda suceder es necesario mantener un régimen de calidad en cada una de las áreas de la industria cárnica, es decir; desde la producción animal hasta la obtención de carne de buena calidad.

2.2. Sistemas de Producción de Ganado Porcino

Con el incremento en la demanda en la carne de cerdo, la producción animal también se ha intensificado convirtiéndose en una actividad económicamente redituable, produciéndose una mayor cantidad de cerdos en un menor tiempo. Por consiguiente, los sistemas de producción porcina a gran escala han logrado alcanzar grandes niveles en el mercado en base a la selección de razas con material genético favorable a un mayor rendimiento productivo y a la innovación en el tipo de alimentación animal (FAO, 2014; Saintilan *et al.*, 2011).

La estrategia de alimentación, la cual contempla entre otras cosas manipular el tipo de ingredientes, los requerimientos nutricionales por etapa, el uso de aditivos y suplementos para cubrir con ciertos requerimientos nutricionales y eficientar la producción animal, es el principal factor en la producción porcina, ya que la eficiencia con la que ésta se lleve a cabo, se verá reflejada tanto en el costo de alimentación (70 – 75% total de la producción), el desarrollo del animal y la calidad de la carne (Mukumbo *et al.*, 2015). Dichas estrategias, son de gran importancia principalmente durante la etapa de finalización, ya que durante esta fase el animal consume del 75 al 80% del alimento necesario para alcanzar su peso comercial (Lebret, 2007). Es por esto, que el productor debe tomar muy en cuenta la estrategia de alimentación, dentro de ella principalmente el uso de aditivos alimenticios, pues gran parte del éxito del rendimiento en el sistema de producción depende del uso de estos.

2.3. Aditivos Sintéticos como Promotores de Crecimiento

En la actualidad la industria cárnica ha implementado la suplementación de aditivos sintéticos con actividad promotora de crecimiento en la dieta del ganado, con el fin de disminuir el tiempo de alimentación, al incrementar la conversión alimentaria por parte del animal, aumentando así la densidad del

tejido muscular con una menor cantidad de alimento (Hinson *et al.*, 2011; Strydom *et al.*, 2009; Xiao *et al.*, 1999). Esto es posible a través de la modificación de su metabolismo, al incrementar el rendimiento animal y de su canal, lo que satisface la demanda de carne en el mercado (Barbosa *et al.*, 2012; Fajardo *et al.*, 2011). Entre los promotores de crecimiento utilizados en animales se encuentran: hormonas esteroideas y androgénicas, compuestos β -agonista adrenérgicos (β -AA), probióticos, prebióticos, antibióticos (Fajardo *et al.*, 2011). Sin embargo, en los últimos años los más utilizados en la producción de ganado porcino son los β -AA.

2.3.1 Suplementación de β -AA en la Producción de Cerdos

Los β -AA son compuestos fenil-etanoloaminas con diferentes sustitutos en el anillo aromático y en el grupo amino terminal, que simulan los receptores β -adrenérgicos del sistema nervioso (Beermann, 2002). El β -AA más utilizado en la producción de cerdos, es el clorhidrato de ractopamina (RAC) (Figura 1), cuyo fin es promover la eficiencia alimentaria y el crecimiento animal, lo que genera canales con un mayor porcentaje magro y por consiguiente una reducción de su tejido lipídico (Bridge *et al.*, 1998; Dávila-Ramírez *et al.*, 2013; Lin *et al.*, 2013).

El mecanismo de acción de los compuestos β -AA se basa en la analogía presente entre dichos compuestos y las catecolaminas propias del animal (epinefrina y norepinefrina); mediante un reconocimiento por parte de los receptores β -AA de las células satélites, lo cual genera una cascada metabólica.

De manera general, el mecanismo de señalización de los compuestos β -AA inicia al ser reconocidos en la membrana celular por parte de los receptores, lo que genera una interacción con la proteína G la cual se encuentra acoplada al receptor, misma que actúa como una proteína mensajera

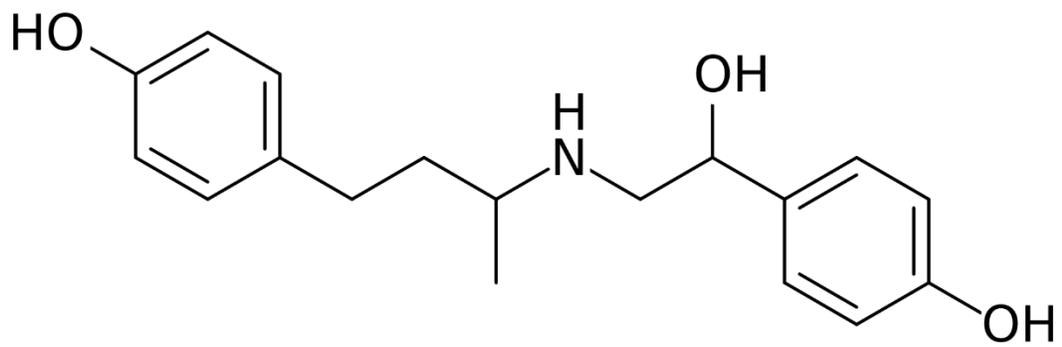


Figura 1. Estructura de clorhidrato de ractopamina (Adaptada de *Blanca et al. (2005)*).

activando a la enzima adenilciclase (AC), para posteriormente generar una conversión de adenosin trifosfato (ATP) a adenosin monofosfato cíclico (cAMP). El cAMP funge como un segundo mensajero en la cascada de señalización, activando a la proteína kinasa (pka) para producir una disminución del tejido adiposo e incremento del tejido muscular (Figura 2) (Domínguez *et al.*, 2009).

La activación de pka tiene como efecto la fosforilación de lipasa, que promueve un incremento de la lipólisis y reduce la lipogénesis, con el fin de inhibir la síntesis de ácidos grasos y su esterificación con el glicerol en los adipositos, lo que se verá reflejado en una disminución en el depósito graso en la canal (Dunshea *et al.*, 2005).

El efecto anabólico de los β -AA sobre el tejido muscular se basa en el aumento de la síntesis de aminoácidos mediante una modificación en el número de ARN de transcripción para proteínas miofibrilares como lo es actina y miosina, reflejándose en un incremento del tamaño de dicha fibra muscular, lo cual es conocido como hipertrofia, y este se ve relacionado en un incremento del tejido magro de la canal (Beermann, 2002).

2.3.2. Suplementación de Ractopamina en la Dieta de Ganado Porcino y su Enriquecimiento con Lisina

Como ya se mencionó, en la producción de cerdos, el β -AA mayormente utilizado para la promoción del crecimiento muscular es RAC. Metabólicamente, RAC tiene un efecto en el sistema endocrino y en el metabolismo de lípidos, proteínas y carbohidratos de los animales suplementados (Barbosa *et al.*, 2012).

La recomendación del fabricante es que RAC se administre en la dieta animal durante los últimos 30 ó 40 días de la etapa de finalización. El efecto de la suplementación de RAC se ve reflejado en la producción animal al

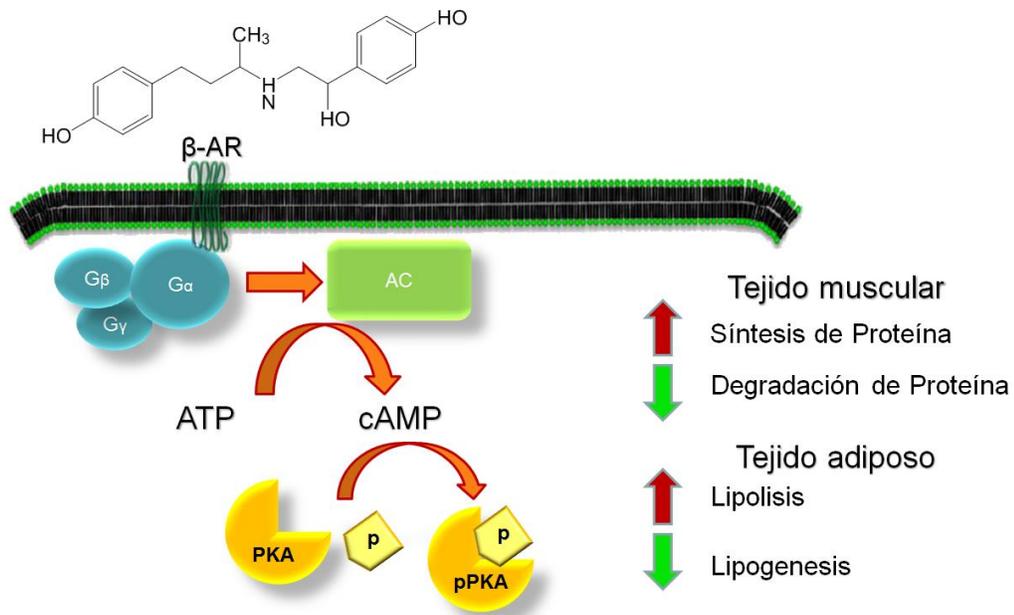


Figura 2. Mecanismo de acción de los compuestos β -AA

Principales receptores β -adrenérgicos con su respectivo sistema transductor (proteína G); su efector primario (enzima adenilciclasa, AC); segundo mensajero (Adenosin Monofosfato cíclico, AMPc); y su efector secundario (proteinkinasa, PKA) (Johnson *et al.*, 2014).

incrementar la ganancia diaria de peso, la eficiencia alimentaria (González *et al.*, 2010) y el mejoramiento de características como el porcentaje de tejido magro

Xiao *et al.* (1999) probaron una dieta con 20 ppm de RAC y observaron un incremento significativo del 9% en el área del ojo de la costilla (AOC), y una reducción significativa del espesor de la grasa dorsal del 23%, en comparación a las canales de animales sin suplementar. Así mismo, Armstrong *et al.* (2004) reportaron un incremento significativo en el AOC del 11% al suplementar 10 ppm de RAC en cerdos durante 27 días, respecto a los no suplementados. Dichos estudios concuerdan con lo reportado por Carr *et al.* (2009), quienes encontraron un incremento significativo del 7% del AOC y una reducción de la grasa dorsal del 16% de la canal de cerdos, al ser suplementada la dieta de los animales con una concentración de 20 ppm de RAC en comparación al control.

Generalmente las dietas utilizadas en la producción de cerdo son a base de alimentos como sorgo, maíz y avena, todos ellos deficientes en lisina (García *et al.*, 2010). Por tal motivo, es necesario la suplementación exógena de este aminoácido con el fin de alcanzar el nivel óptimo dietario (0.65% de lisina) recomendado por la NRC (1998), y así cubrir los requerimientos del animal. Aunado a esto, cuando se suplementa RAC en la dieta de cerdo es necesario incrementar el contenido de lisina en 0.3% en la dieta por arriba de la recomendación óptima, con el fin de obtener un mejor efecto como promotor de crecimiento por parte del β -AA.

Lisina, al igual que metionina y triptófano, es un aminoácido limitante en los granos utilizados en la dieta porcina, y además, es considerado esencial para el animal, al no poder producirlo por sí mismo en una cantidad necesaria y requerida para un adecuado crecimiento, ya que este es útil en la formación de la miosina, principal proteína del tejido esquelético muscular (Acosta, 2006; Apple *et al.*, 2004). En el cerdo se expresan cuatro isoformas de miosinas: I, IIa, IIx y IIb; esta última ha sido reportada como la más abundante y posiblemente la responsable del crecimiento muscular (Morales *et al.*, 2015).

Estos autores sugieren que un suministro adecuado de lisina en la dieta (balanceada con otros aminoácidos) promueve la expresión de la isoforma de miosina IIb, aun cuando el mecanismo no ha sido elucidado.

Los efectos de lisina sobre el incremento muscular han sido investigados en base a comparaciones entre dietas deficientes y enriquecidas con dicho aminoácido, evaluándose el comportamiento productivo animal o características propias de la canal. En un estudio realizado por Rivera *et al.* (2005) observaron que al suplementar una dieta deficiente en lisina, redujo ($P < 0.001$) de un 46 a 49% la fracción de síntesis de proteína muscular en comparación a una dieta con un aporte 0.22% mayor de lisina. Por su parte, Apple *et al.* (2004) al aumentar de 1.7 a 3.1 g de lisina/Mcal en la dieta durante 28 días, observaron un incremento ($P < 0.001$) del 28% de la ganancia diaria de peso, 30.5% de la eficiencia alimentaria y 10% del AOC. Es por esto que se recomienda aumentar el aporte de lisina, y mantener constantes el resto de los nutrientes, ya que existe una relación directa entre la demanda de energía: lisina y la formación de proteína.

2.4. Parámetros de la Calidad de la Carne de Cerdo

La calidad de la carne es un término genérico utilizado para describir las propiedades y percepción de la carne. Definida de distintas maneras, ésta dependerá de parámetros característicos en la composición o propiedades del alimento, los cuales propicien la aceptación del consumidor (Bautista *et al.*, 2013). Las propiedades sensoriales, químicas, fisicoquímicas, y sanitarias de la carne fresca y la combinación de estas, propiciará al consumidor la aceptación y percepción de calidad.

2.4.1. Composición Química

Durante muchos años la carne de cerdo fue considerada como un alimento poco nutritivo, sin embargo esto ha cambiado en la actualidad. En los últimos 25 años la carne de cerdo se ha visto modificada en su composición al verse reducido en aproximadamente un 30% el contenido de grasa, 14% en calorías y 10% en colesterol total, lo cual es producto del avance tecnológico en la producción porcícola mundial a través de la manipulación de la dieta (Navarrete, 2012). Esta reducción en la concentración lipídica, se ha visto acompañada con el incremento de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA's por sus siglas en inglés) y reducción de ácidos grasos saturados. Esto se ve reflejado en la proporción de ácidos grasos poliinsaturados/saturados de 0.61 en grasa de cobertura y de 0.58 en grasa intramuscular en el cerdo, en relación a valores de 0.09 y 0.15 en oveja, y 0.05 y 0.11 en bovinos, para grasa de cobertura e intramuscular respectivamente (Wood *et al.*, 2008). Por consiguiente, se ha reportado una mayor proporción de PUFA's tanto en tejido adiposo como grasa intramuscular en cerdo, en comparación de res y oveja.

Uno de los inconvenientes de esta concentración de PUFA's es que hace más propensa a la carne de cerdo a sufrir oxidación lipídica durante su almacenamiento, en comparación a una carne con un mayor contenido de ácidos grasos saturados. La oxidación es uno de los principales deterioros no microbianos presentes en la carne, causante de la disminución de calidad de ésta en el anaquel, que tiene como efecto la disminución del color al oxidarse mioglobina, lo que origina un color pardo a la carne (D'Agata *et al.*, 2009). Aunado a esto, la oxidación lipídica es responsable de la rancidez en la carne y por lo tanto de la presencia de malos sabores, olores y pérdida del valor nutritivo (Haak *et al.*, 2008).

2.4.2. Propiedades Sensoriales

La evaluación sensorial de la carne consiste en percibir la calidad del producto, al valorar a través de los sentidos los atributos visibles como el color y no visibles como el sabor, olor y terniza (Tikk, 2007). Por lo tanto, las características organolépticas de un alimento serán un aspecto fundamental en su producción y aceptación por parte del consumidor.

La apariencia es un factor importante ya que es la primera impresión que tiene el consumidor con respecto al alimento al momento de adquirirlo. El color de la carne tiende a presentar variaciones. El color rojo rosado (característico de la carne fresca de cerdo) disminuye durante el transcurso de su almacenamiento (Bryhni *et al.*, 2002). La mioglobina es la proteína responsable de proporcionar dicha pigmentación al estar presente en tres estados de oxidación: desoximioglobina, oximioglobina y metamioglobina.

El color rojo purpura característico del músculo es proporcionado por la desoximioglobina, al entrar en contacto con el oxígeno este se liga al grupo hierro, lo que produce la formación de oximioglobina, observándose un color rojo rosado relacionado con frescura. Por último al presentar su tercera fase de oxidación, la metamioglobina es la responsable de la pigmentación parda de la carne, característica de aquella que ha sido almacenada (Figura 3) (Boles y Pegg 2011).

El sabor de la carne al igual que en otros alimentos es una combinación entre el sentido gustativo y olfativo así como sensaciones percibidas por las papilas gustativas al momento de ingerir el alimento. Durante su cocción, en la carne se producen reacciones como Maillard entre los compuestos no volátiles, tales como aminoácidos y carbohidratos reductores, así como la degradación de lípidos responsables de proporcionar el olor característico de la carne cocinada (Kerry y Ledward, 2009).

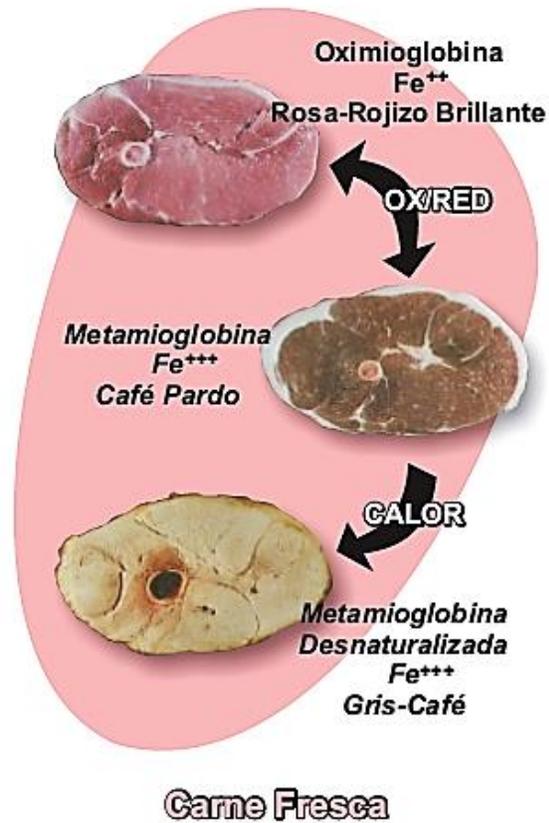


Figura 3. Coloración en pierna de cerdo asociada a las diversas fases de estado de oxidación de la mioglobina (López *et al.*, 2013).

La satisfacción al comer está determinada por tres parámetros percibidos durante la palatabilidad: sabor, ternura y jugosidad. Generalmente la ternura está dada por la composición del tejido conectivo y el proceso de maduración que se haya implementado. Así mismo, la ternura al igual que la jugosidad se ve influida positivamente por la grasa intramuscular presente en la carne denominada marmoleo. Esto puede ser debido a que el tejido graso sustituye en el músculo al tejido muscular, y de este modo se reduce la fuerza total al corte (Talbot, 2011). De esta manera, la satisfacción al comer carne, se relaciona con la percepción de combinaciones de factores físicos y químicos.

2.5. Efectos Negativos del Uso de β -AA en la Calidad de la Carne de Cerdo

Aun cuando se ha reportado efectos positivos a nivel producción con el uso de RAC, al aumentar la masa magra y disminuir el espesor de la grasa dorsal en la canal, también ha exhibido perjuicios en la características de la carne, al afectar su calidad sensorial como lo es color, ternura, marmoleo; y propiedades fisicoquímicas como su pH, textura y capacidad de retención de agua lo que provoca un rechazo por parte del consumidor hacia esta carne (Dikeman, 2007).

Leick *et al.* (2010) realizaron un estudio donde se suplementó 5 ppm de RAC/kg de alimento, y observaron una disminución en el color sensorial, valor de a^* y marmoleo de la carne en un 7%, 8% y 15% respectivamente. Otros efectos han sido reportados por Li *et al.* (2015), quienes al suplementar 7.5 ppm de RAC en la dieta de ganado porcino, observaron un aumento de la oxidación en la fibra muscular y de los valores de textura en un 16.6%, así como una disminución de 22% de la ternura.

De manera general, la carne proveniente de animales tratados con algunos promotores de crecimiento puede poseer un potencial riesgo para la salud del consumidor. Los residuos de aditivos veterinarios en carnes son

relativamente frecuentes, los cuales han reportado efecto de envenenamiento y un potencial peligro para la salud del consumidor, es por esto que se utiliza un lapso de retiro de su suplementación antes del sacrificio. Alguno de los potenciales peligros del uso de β -AA reportado por Lin *et al.* (2013) son palpitación cardíaca, nerviosismo, temblores musculares y confusión al consumir carne con residuos de β -AA. Esto concuerda con lo reportado por Herrera *et al.* (2011), quienes describieron que el consumo de carne proveniente de animales suplementados con un uso excesivo de clenbuterol puede causar alteraciones de la glándula tiroides, disfunciones metabólicas, espasmos musculares, aumento de la presión sanguínea, el cual debido a estos problemas se ha prohibido su uso. Por esta razón, la inspección y la legislación del uso de β -AA son de gran importancia en la industria cárnica, en especial aquellas exportadoras.

La legislación de promotores de crecimiento juega un papel importante en la exportación e importación de productos de la industria cárnica. Debido a esto, el uso de promotores de crecimiento será determinado por el país en el cual se consuma la carne proveniente de dicho animal suplementado. Existen diferentes organizaciones legislativas las cuales se han dedicado a inspeccionar el uso de estos compuestos y brindar una carne libre de cualquier residuo. Ejemplos de estas legislaciones son, la Food and Drug Administration, la NOM-EM-015-ZOO-2002 y la Unión Europea, siendo esta última, una de las legislaciones con una mayor restricción de uso de promotores de crecimiento (Seo *et al.*, 2005). El clenbuterol es uno de los compuestos utilizados en cerdos representativos de prohibición en un gran número de países, sin embargo clorhidrato de ractopamina ha sido aprobado su uso en producción de cerdos en México, caso contrario a la Unión Europea (Blanca *et al.*, 2005). Por consiguiente, se ha buscado alternativas para sustituir el uso de promotores sintéticos y esto puede ser mediante el uso de compuestos naturales.

2.6. Uso de Compuestos Naturales en la Producción Animal y su Efecto Benéfico sobre la Calidad de la Carne

La adición de plantas y sus extractos (estos últimos también llamados fitoquímicos) en la dieta animal se ha implementado en la industria cárnica como alternativas de compuestos sintéticos. Diversos investigadores han propuesto el uso de suplementos naturales, con el fin de promover la productividad del ganado y obtención de una carne de calidad a través de la mejora en las propiedades de alimentación. Existe una amplia variedad de plantas con compuestos bioactivos que han sido utilizadas como suplemento animal multifuncional (Kołodziej-Skalska *et al.*, 2011). La concentración de los compuestos bioactivos en la suplementación dietaria animal y el período de uso previo al sacrificio necesario para cambiar los parámetros de calidad en la carne dependerán de distintos factores, como la composición química y pureza del compuesto bioactivo (Moroney *et al.*, 2015). Así mismo, dependerá de la especie animal, la raza y otros factores fisiológicos. Los fitoquímicos pueden clasificarse en su mayoría como compuestos fenólicos, sin embargo también existen carbohidratos y lípidos, los cuales han sido suplementados y presentado resultados favorables (Moroney *et al.*, 2012; Mukumbo *et al.*, 2015)

Los efectos adversos de los antioxidantes sintéticos han incrementado en gran medida el interés por encontrar sustancias antioxidantes de origen natural. Un ejemplo de estos compuestos sintéticos son, BHT y BHA, de los cuales se ha investigado su toxicidad. Atta *et al.* (2013), reportaron la toxicidad de BHT, al suministrar vía oral a ratas durante cuatro semanas 94 mg/kg de BHT y compararlo respecto a 200 mg/kg de ácido ascórbico como un control positivo, donde se observó una disminución en su fertilidad y generación de estrés oxidativo con el uso del primero. De igual manera, Panicker *et al.* (2014) reportaron un efecto hepatotóxico del BHT al ser suplementado en ratas en una concentración de 250 mg/kg por 14 días. Por su parte, Martín *et al.* (2014)

describen al BHA como un posible carcinogénico en humanos según la Agencia Internacional para la Investigación sobre el cáncer.

La implementación de compuestos extraídos de plantas ha presentado como ventajas la aceptación por parte de los consumidores. Esto es debido que, al ser considerados naturales tienden a relacionarlos como productos seguros y saludables, lo que genera una alta demanda en la industria cárnica (Zhang *et al.*, 2015). Así mismo, estudios *in vitro* de ingredientes naturales han exhibido variedad de actividades biológicas, así como efecto anticancerígeno, actividad antiinflamatoria, disminución de la presión arterial, protección contra la degeneración muscular relacionada con la edad (Hayes *et al.*, 2011), brindándole de esta manera al consumidor un alimento seguro y de mejor calidad.

Diferentes estudios han considerado que plantas y especias, o compuestos extraídos a partir de éstas presentan actividad como agentes para la preservación de alimentos (Ranucci *et al.*, 2015). De manera más específica, el uso de antioxidantes ha sido un método eficiente en la minimización o prevención de la oxidación lipídica, ya que retarda la formación de compuestos tóxicos, mantiene la calidad nutricional, por lo tanto logra prolongar su calidad durante la vida de anaquel (Gupta y Abu-Ghannam, 2011).

Existen subproductos naturales extraídos de frutas, especias, plantas, hojas, tallos suplementados en la alimentación animal los cuales han presentado una acción promotora de crecimiento (Jacela *et al.*, 2010; Yan y Kim, 2012; Yan *et al.*, 2011). Kang *et al.* (2012), reportaron que al utilizar subproductos de plantas medicinales como aditivos alimenticios alternativos a los compuestos sintéticos (antibióticos) en cerdos, se observó una actividad promotora de crecimiento. Además, en la carne proveniente de estos animales, se observó una mayor concentración de vitamina E, una disminución de la oxidación lipídica y bases volátiles nitrogenadas, así como una mejor aceptación sensorial en comparación a la carne proveniente de animales suplementados con antibióticos.

En otros estudios realizados con fitoquímicos, no se ha observado actividad como promotor de crecimiento, sin embargo, han demostrado que mejoran la calidad de la carne durante su almacenamiento. A continuación se describen algunos de los resultados obtenidos por distintos autores.

Rossi *et al.* (2013) observaron que al suplementar en la dieta de cerdo extractos de plantas con ácido gálico, 1.75 mg/kg; ácido 3,4-dihidroxibenzoico, 0.45 mg/kg; galato de metilo, 1.91 mg/kg; isoverbascosídico, 0.43 mg/kg y verbascósido, 4.47 mg/kg de alimento, aumentó la concentración de α -tocoferol y disminuyó en un 62.5% los valores de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) en carne fresca. Esta disminución en los niveles de TBAR's concuerda con lo reportado por Zhang *et al.* (2015) que al suplementar 30 ppm de resveratrol/kg de alimento se logró reducir la oxidación lipídica, además de mejorar la estabilidad del valor a^* , y disminuir la pérdida por goteo. Así mismo, Kołodziej-Skalska *et al.* (2011) observaron que la suplementación dietaria de una mezcla de extractos de carvacrol, cinamaldehído y oleoresina capsicum, ocasionó un incremento en la capacidad de retención de agua, disminución en la pérdida por goteo y cocción y un aumento en el valor a^* de la carne fresca. Conjuntamente, en carne cocinada se obtuvo una mayor aceptación sensorial en comparación a su control, al aumentar la percepción de ternura, jugosidad y sabor.

La suplementación dietaria de compuestos con poder antioxidante tiende a presentar resultados similares a la adición de estos mismos compuestos directamente a la carne cruda. Esto se aprecia, al examinar el estudio realizado por Shan *et al.* (2009), quienes utilizaron extractos de canela, clavo, semillas de uva, orégano y cáscara de granada, similares a los suplementados en las investigaciones mencionadas anteriormente. Ellos reportaron una disminución significativa en la oxidación lipídica de la carne de cerdo, así como una mejor estabilidad en los valores de a^* de los diferentes tratamientos. De esta manera, la prevención de la oxidación lipídica y estabilidad del color rojo de la carne, puede ser realizada desde la alimentación animal.

La vitamina E ha sido uno de los compuestos de mayor estudio en cerdos con fines de probar su actividad antioxidante en la carne desde la producción animal. En un estudio enfocado a la estabilidad en la oxidación lipídica, Haak *et al.* (2008) evaluaron el efecto del α -tocoferol y el extracto de romero (diterpenos fenólicos y flavonoides) de manera independiente y combinada. Sin embargo al implementar de manera independiente α -tocoferol, disminuyó en un 42.25% la oxidación lipídica, debido a la presencia de este compuesto en grasa subcutánea. Esto es similar a lo reportado por Rossi *et al.* (2014), al utilizar vitamina E en la dieta a 20 ppm, al observar una mayor estabilidad en los valores de TBA, lo que incrementa la vida de anaquel.

Otro tipo de plantas utilizadas en la suplementación dietaria porcina ha sido el uso de extractos de algas pardas como fucoidan y lamariaria, ambos son polisacáridos con actividad antioxidante. Moroney *et al.* (2015) analizaron su efecto de la suplementación en diferente concentración y duración previo al sacrificio (400 y 900 ppm, 3 y 6 semanas respectivamente), y reportaron que a la tercer semana sin importar la concentración, se observó una deposición de los compuestos antioxidantes en el músculo *Longissimus thoracis et lumborum*, y se redujo la oxidación lipídica, además se modificó su perfil lipídico al reducir la concentración de ácidos grasos saturados.

2.7. Ácido Ferúlico y su Potencial Uso en la Producción Porcina

El ácido ferúlico (AF) (ácido 4-hidroxi-3-metoxicinámico) (Figura 4) se extrajo por primera vez de la planta *Ferula foetida*. AF es uno de los principales compuestos de ácidos fenólicos encontrados en las capas exteriores de los cereales, frutas cítricas, plátanos, jugo de naranja, berenjena, brotes de bambú, remolacha, repollo, espinacas y brócoli (Kumar y Pruthi, 2014; Van Hung *et al.*, 2013; Zhao y Moghadasian, 2008). AF es uno de los compuestos fenólicos con

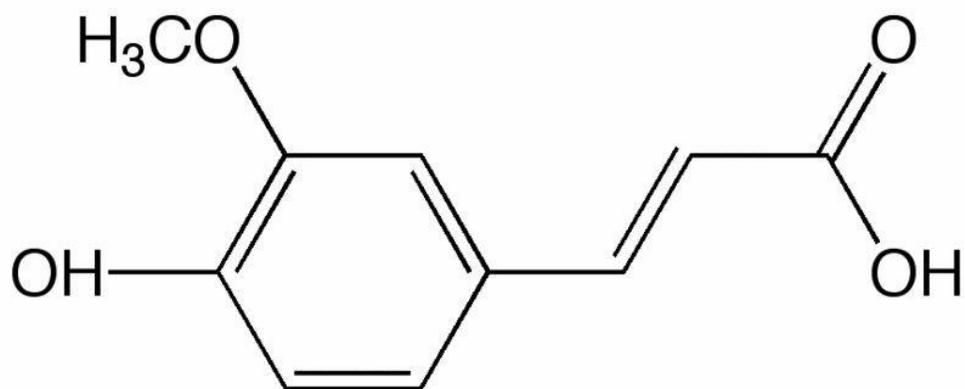


Figura 1. Estructura del ácido ferúlico (Zhao y Moghadasian, 2008).

mayor recurrencia en la composición de tejidos vegetales y por consiguiente, viable para su extracción.

Así como otros compuestos fenólicos, AF presenta actividad antioxidante. Esto es debido a la presencia del doble enlace en la cadena lateral que se somete a isomerización cis-trans, y la estabilización de la resonancia del radical fenol, tienen como efecto una actividad antioxidante. Es por esto que en algunos países el AF es utilizado en alimentos como un aditivo con el fin de prevenir de manera eficaz la neutralización de radicales de aniones superóxidos, e inhibir la peroxidación lipídica (Kumar y Pruthi, 2014). Por lo tanto, es una fuente importante como antioxidante natural para la mejora de calidad de los alimentos.

Otra de las propiedades funcionales del AF, que lo hace una fuente importante para la aplicación en los alimentos es su actividad antimicrobiana. Esto es debido a la producción de una afluencia de protones en las células bacterianas y una salida de flujo de iones potasio en la célula, de este modo la viabilidad del microorganismo (Takahashi *et al.*, 2015). Esto trae consigo, una inhibición del crecimiento de bacterias Gram negativas y Gram positivas como es el caso de *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes* respectivamente, ambos microorganismos característicos de la contaminación microbiana en carne, *E. coli* debido a malas prácticas de higiene en el alimento, y *L. monocytogenes* al ser una bacteria psicrófila y resistir temperaturas de refrigeración (Paiva *et al.*, 2013; Takahashi *et al.*, 2013).

Tanto las propiedades antioxidantes y antimicrobiana de AF han sido evaluadas en un producto cárnico. Hernández (2013) estudió el uso de la adición directa de AF y ferulato de etilo (FE) en carne molida y observó una mejor estabilidad en el cambio del color y una reducción de 40% en niveles de TBAR's en carne adicionada con AF y AF/FE en comparación a su control. Además, se observó que al adicionar AF se ejerció una disminución en el crecimiento de microorganismos mesófilos y psicrófilos en comparación a su control hasta el tercer día de almacenamiento. En base a este estudio, se

propone que la implementación de AF en carne molida proporciona un producto con mejor calidad.

Como ya se mencionó, existen diversos compuestos de origen natural con un potencial uso como promotores de crecimiento animal. Peña (2014) reportó que al suplementar 240 ppm de AF a una dieta bovina, este presentó una actividad promotora de crecimiento y se observó que la carne presentó una mejor estabilidad en su valor a^* y un retardo en la oxidación de lipídica de la carne. Esto concuerda con lo reportado por Herrera *et al.* (2011), quien al suplementar la dieta del ganado porcino con AF en una concentración de 15 ppm, observaron una mejora moderada en el rendimiento de la canal, en la eficiencia de alimentación y un incremento en la relación músculo/grasa.

Como se puede observar, la investigación respecto a la suplementación de AF relacionada a la evaluación del comportamiento productivo en cerdos es escasa, aunado a que los estudios de su efecto antioxidante sobre la carne proveniente de dichos animales suplementados son nulos. Por lo que es necesario llevar a cabo nuevas investigaciones que evidencien el efecto de la suplementación dietaria de AF en cerdo sobre su comportamiento productivo, características de calidad de la canal y de la carne.

3. HIPÓTESIS

La suplementación de ácido ferúlico a concentración de 25 ppm/kg de alimento en la dieta de ganado porcino, mejora el comportamiento productivo en etapa de finalización, la calidad de la canal y de la carne de cerdo.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la suplementación de ácido ferúlico sobre el comportamiento productivo, calidad de la canal, composición química de la carne y calidad durante su vida de anaquel.

4.1 Objetivos Específicos

Evaluar el efecto de la suplementación de AF sobre el comportamiento productivo de cerdos en finalización.

Evaluar el efecto de la suplementación de AF sobre las características de calidad en la canal de cerdo.

Estimar el efecto de la suplementación de AF en la calidad de la carne: composición química y vida de anaquel.

5. METODOLOGÍA

5.1. Prueba de Comportamiento Productivo y Calidad de la Canal

La prueba de comportamiento productivo se llevó a cabo en una granja comercial de producción porcina localizada en el municipio de Navojoa Sonora, México (altitud 47.1 m, latitud 27° 07' 15" y longitud 109° 44' 40").

Se utilizó un extracto de maíz rico en AF (Wakax Pro) con un contenido mínimo de 80% de AF (CAS # 1135-24-6), el cual fue producido y proporcionado por Laboratorios Minkab SA, de CV, Guadalajara, Jalisco, México. Este extracto fue incorporado a la dieta basal en una concentración de 25 ppm/kg de alimento.

5.1.1. Alimentación y Pruebas de Comportamiento Productivo

Se realizó una prueba de alimentación con 440 cerdos de la cruce Landrace x Yorkshire, los cuales fueron asignados en 20 corrales de 22 animales (hembras y machos), con un peso inicial de 67.61 ± 2.96 kg. Posteriormente, a cada cinco corrales se les asignó al azar uno de los cuatro tratamientos experimentales:

Control= animales alimentados únicamente con la dieta basal (DB); RAC= animales alimentados con la DB y suplementados con 10 ppm de RAC/kg de alimento + 0.30% de lisina; AF= animales alimentados con DB y suplementados con 25 ppm de AF/kg de alimento y AF-L= animales alimentados con la DB y suplementados con 25 ppm de AF/kg de alimento + 0.30% de lisina. Las dietas experimentales (Tabla 1) fueron formuladas con el fin cubrir los requerimientos nutricionales de cerdos en finalización (16.5% de PC y 3.3 Mcal de energía metabolizable/kg de alimento) establecidos por la NRC (1998). Todos los animales tuvieron libre acceso a agua y alimento durante los 27 días del periodo de suplementación. Se recolectaron muestras representativas de cada una de las dietas experimentales, a las cuales se les realizó un análisis de composición proximal (humedad, grasa y proteína) según las técnicas establecidas por la AOAC (1990)

La evaluación del comportamiento productivo consistió en:

- 1) El registro individual del peso inicial y final de todos los animales en cada tratamiento, utilizando una báscula electrónica portátil. Con los datos de peso inicial y final, se calculó la ganancia diaria de peso (GDP) mediante la siguiente formula.

$$GDP = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{días de alimentación}} \quad (1)$$

- 2) El registro del consumo diario de alimento por corraleta, para lo cual se pesó el alimento ofrecido y rechazado. Además, se calculó la conversión alimenticia (CA) por corral/tratamiento mediante la siguiente formula.

$$CA = \frac{\text{Consumo de alimento}}{GDP} \quad (2)$$

Tabla 1. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales

Ingrediente (kg)	Tratamiento ^a			
	C	RAC	AF	AF-L
Sorgo	900	795.5	899.5	795.5
Pasta de soya (47% PC)	75	177	75	177
Enerfeed [®]	5	7	5	7
Mic engorda [®]	20		20	
Mic final [®]		20		20
Ácido ferúlico			0.5	0.5
Análisis calculado				
EM (MCal/kg)	3.341	3.341	3.341	3.341
Proteína (%)	13.75	17.16	13.95	16.74
Grasa (%)	2.19	2.34	1.57	2.60
Lisina (%)	0.65	0.947	0.65	0.947
Fibra (%)	2.336	2.336	2.336	2.336
Fósforo total (%)	0.442	0.442	0.442	0.442
Calcio (%)	0.474	0.474	0.474	0.474

^a Tratamiento: C, grupo Control; RAC, suplementación de 10 ppm de clorhidrato de ractopamina/kg de alimento + 0.3% de lisina; AF, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico/kg de alimento; AF-L, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico/kg de alimento + 0.3% de lisina.

5.1.2. Sacrificio y Evaluación de la Calidad de la Canal

Una vez concluida la prueba de comportamiento productivo, aquellos animales con un peso vivo igual o mayor a 113 kg, fueron trasladados a la planta de sacrificio Tipo Inspección Federal No. 47 de Navjoa Sonora, siguiendo los protocolos establecidos por la NOM-051-ZOO-1995 (1995). Los animales fueron sacrificados atendiendo las especificaciones dadas en la NOM-033-ZOO-1995 (1995).

Una vez sacrificados los animales, fueron seleccionadas al azar 10 canales por tratamiento, para realizar a la altura de la 12vo espacio intercostal del músculo *Longissimus thoracis* (LT) las siguientes mediciones de características de calidad de la canal:

Se midió el pH a las 24 h *postmortem* por medio de un potenciómetro digital portátil con electrodo de penetración marca HANNA HI 99163 (Mettler–Toledo Process Analytic Inc., Wilmington, MA, USA). Se hicieron tres repeticiones por muestra. El área del ojo de la costilla (AOC) se determinó mediante una hoja de acetato transparente, donde se dibujó el contorno del área del ojo de la costilla. Posteriormente se midió su área con una plantilla cuadrículada con cuadrantes de 1 cm². El espesor de la grasa dorsal se midió específicamente en el segundo tercio del corte transversal del LT mediante un vernier, y se tomó una sola repetición por muestra. Por último, se determinó el grado de marmoleo (grasa intramuscular) del músculo LT en base a las escalas establecidas por Jones *et al.* (1992): nulo, trazas, ligero, poco, modesto, moderado, abundante.

5.1.3. Obtención y Selección de Muestras para Análisis de Carne

Entre las 24 y 36 h *postmortem*, las canales fueron deshuesadas y se obtuvo el músculo *Longissimus thoracis* (n= 8 por tratamiento) entre el cuarto y doceavo

espacio intercostal de la canal izquierda. Posteriormente, las muestras de carne fueron identificadas y empacadas al vacío y se transportaron en condiciones de refrigeración para sus respectivos análisis en las instalaciones de CIAD A. C. de Hermosillo Sonora, México.

5.2. Análisis de la Calidad de la Carne

Las muestras de carne permanecieron en una cámara de congelación a -18 °C por un lapso de 15 días. Veinticuatro horas previas a los análisis de calidad, las muestras fueron descongeladas y almacenadas en una cámara de refrigeración a 4 °C. Posteriormente las muestras fueron cortadas en filetes de distintos grosores tal como se indica a continuación: un filete de 1 cm de grosor para composición proximal, uno de 1 cm para ácidos grasos, tres filetes de 2.5 cm para evaluación sensorial, otro de 2.5 cm para evaluación de textura, un filete de 1 cm para evaluación fisicoquímica, un filete de 1 cm para metamioglobina y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico y por último un filete de 1 cm para la cuantificación de ácido ferúlico. La unidad experimental fue la pieza completa de carne.

5.2.1. Composición Química

Se determinó el contenido de humedad, grasa intramuscular y proteína de la carne de cerdo, mediante un triplicado de las muestras, mediante los métodos establecidos por la AOAC (1990). La determinación de humedad se realizó mediante una estufa de secado a una temperatura de 100 °C durante 16 h (Método 950.46). El contenido de proteína fue determinado mediante el método de Micro Kjeldahl (Método 955.04) a partir de muestras deshidratadas. Por

último, la grasa intramuscular se cuantificó por el método de extracción de Goldfish a partir de muestras deshidratadas (Método 920.39). Los resultados fueron reportados en porcentajes.

5.2.2. Determinación del Perfil de Ácidos Grasos

La determinación del perfil lipídico fue llevada a cabo de acuerdo a lo reportado por Bligh y Dyer (1959). Se tomaron aproximadamente 40 g de cada tejido (grasa y LT), los cuales fueron triturados hasta ser homogenizados. Para el tejido muscular se tomó 20 g y 5 g para el tejido adiposo. Posteriormente, se añadió 10 mL de metanol grado reactivo (Sigma-Aldrich, Missouri, USA) y homogenizó durante 1 min a 11000 rpm (Ultraturrax IKA modelo T25). Se agregó 20 mL de cloroformo grado espectrofotométrico, con una pureza del 98.5% (Sigma-Aldrich, Missouri, USA) y homogenizó durante 2 min a 13,520 g. Una vez homogenizado, las muestras fueron filtradas a través de un papel Whatman #1, realizándose un lavado de la muestra con 3 mL de cloroformo/metanol (en una proporción 2:1).

Posteriormente, se vertió la muestra filtrada en embudo de separación y se agregó cloruro de potasio al 0.88% en agua (3 mL aproximadamente de KCl) hasta obtener una fase superior de 1 cm. Se colectó en un segundo embudo de separación la fase inferior (cloroformo y lípidos), donde se realizó un lavado con 2 mL de agua destilada y 2 mL de metanol, tomándose la fase inferior (cloroformo y lípidos) en un vial previamente identificado el cual contenía 13 μ L del antioxidante butil hidroxitolueno 1g/10 mL de etanol (Sigma-Aldrich, Missouri, USA). Por último, mediante un flujo de nitrógeno (Grado industrial, PRAXAIR, México) se removió el aire presente en los viales.

La derivatización de los ácidos grasos se realizó según lo reportado por Park y Goins (1994). Se identificaron y pesaron tubos con tapón de baquelita a los cuales se les vertieron el extracto lipídico obtenido. Se introdujeron a un

baño maría a 40 °C y se evaporó el solvente de los extractos por medio de un flujo de nitrógeno. Se obtuvo aproximadamente 150 mg de grasa libre de solventes, se les agregó 4 mL de NaOH (Merck-México) 0.5 N en metanol. La mezcla fue agitada ligeramente hasta lograr una solución homogénea. El aire fue evacuado mediante una inyección de flujo de nitrógeno y se cerró el tubo con el tapón de baquelita. Posteriormente se calentó a 90 °C por 10 min en un baño maría. Transcurrido el tiempo, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente y se le adicionó 5 mL de trifluoruro de boro al 14% en metanol (Sigma-Aldrich, Missouri, USA). Se desplazó el aire con un flujo de nitrógeno y se cerró el vial.

Las muestras fueron calentadas nuevamente en un baño maría a 90 °C durante 7 min. Dejándose las muestras enfriar a temperatura ambiente, se les agregó 4 mL de heptano y las muestras fueron calentadas durante 2 min bajo las condiciones anteriormente mencionadas. Posteriormente, se dejó enfriar las muestras a temperatura ambiente y se les agregó 1 mL de cloruro de sodio saturado (37 g de NaCl/100 mL de agua destilada) y sulfato de sodio anhidrido. Por último, se tomó exclusivamente la fase cristalina superior por medio de una pipeta de transferencia y realizó una filtración a través de fibra de vidrio, colectándose en un vial para almacenar. Al momento de realizar la inyección de la muestra, se vertió 100 µL de la muestra más 100 µL de heptano en un microinserto contenido en un vial de 2 mL para cromatógrafo.

El análisis de perfil de ácidos grasos se llevó a cabo por cromatografía de gases mediante un equipo Hewlett Packard Serie 6890 equipado con un detector de ionización de flama (FID) y un automuestreador 6890. Con una columna capilar de sílica fundida Supelco 2560 (0.25 mm de diámetro interno x 100 m de longitud, con un grosor de película de 0.2 µm). El programa de temperatura del horno fue: 120 °C de inicio, una rampa de 5 °C/min hasta alcanzar los 175 °C, sostenido por 1 min y una segunda rampa de 4 °C/min hasta alcanzar los 230 °C, mantenida por 10 min. Conservándose la temperatura del puerto de inyección y el detector a 250 y 260 °C

respectivamente. Las muestras fueron inyectadas (1 μ L) en un puerto split, a una relación de división de 50:1. Se utilizó helio como gas transportador con una velocidad de 14 cm/s. Se registraron y almacenaron los cromatogramas en la computadora utilizando el software ChemStation.

Los ácidos grasos fueron identificados de acuerdo al tiempo de retención y al patrón de elución de la mezcla de estándares Supelco F.A.M.E. Mix C4-C24 (Sigma-Aldrich, Missouri, USA). Por último se determinó los perfiles tomando el área bajo la curva de los diferentes picos como porcentaje de la suma del total de picos identificados. Los valores fueron reportados como g de FAME/100 g de FAME detectados. Se calcularon las sumas parciales de ácidos grasos saturados (Σ AGS), monoinsaturados (Σ AGM), poliinsaturados (Σ AGP), omega-3 (Σ w3), omega 6 (Σ w6). Así mismo, se calcularon las relaciones nutricionales Σ AGM/ Σ AGS, Σ AGP/ Σ AGS y Σ w6/ Σ w3.

5.3. Estudio de Vida de Anaquel en Carne Fresca

Con el objetivo de evaluar el efecto antioxidante del ácido ferúlico sobre la carne de cerdo, las muestras seleccionadas para la evaluación de la vida de anaquel fueron empaquetadas bajo condiciones de empaquetado tradicional y almacenadas a 4 °C en una cámara de refrigeración, durante los días 0, 3, 7 y 10 en presencia de luz, con el fin de simular las condiciones comerciales de venta.

Durante los días de muestreo, se realizó la determinación de pH, color instrumental (CIE L*, a* b*), esfuerzo al corte, capacidad de retención de agua y pérdida de peso por cocción. Además se evaluó el estado oxidativo de la carne mediante la cuantificación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico y porcentaje de metamioglobina. Por último, se realizó una evaluación sensorial

con un panel de jueces entrenados. A continuación se describen cada una de las variables evaluadas:

5.3.1. Valor de pH

La determinación de los valores de pH fue realizada en muestras de carne con una temperatura de 4 – 6 °C, mediante un potenciómetro digital HANNA portátil con un electrodo de penetración con termómetro HANNA HI 99163, (Mettler-Toledo Process Analytical Inc., Wilmington, MA, USA). Determinándose un triplicado por unidad experimental.

5.3.2. Parámetros de Color

Para la determinación de color en la carne se utilizó un colorímetro Minolta (Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan). Los parámetros que se evaluaron fueron L* (luminosidad), a* (matiz rojo-verde) y b* (matiz amarillo-azul) (Cassens *et al.*, 1995). Además, se calculó el ángulo de matiz mediante la fórmula $\tan^{-1}(b/a)$ (Jiménez *et al.*, 2009). Las determinaciones del color de las diferentes muestras se llevó a cabo sobre la superficie de las muestras frías (4 – 6 °C), tomándose cinco repeticiones en diferentes ubicaciones sobre la carne.

5.3.3. Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La determinación de CRA se realizó mediante lo establecido por Sutton *et al.* (1997). Se realizó una modificación en el tamaño de muestra. Tres gramos de

muestra fueron colocados en una tela micro-nylon, la cual se introdujo en un tubo de polipropileno de 50 mL. Posteriormente la muestra fue centrifugada a 2,800 g por un lapso 5 min a 4 °C (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). El porcentaje de CRA se calculó de acuerdo a la diferencia de peso que hubo entre la muestra antes y después de la centrifugación.

5.3.4. Pérdida de Peso por Cocción

La pérdida de peso por cocción se determinó al calcular la diferencia de peso entre los filetes de carne antes y después de ser cocinados a una temperatura interna de 71 °C en un sartén eléctrico (Cook Master Ester, modelo 3222-3) (AMSA, 1995).

5.3.5. Esfuerzo al Corte

Se cuantificó el esfuerzo al corte (EC) de un trozo de carne mediante un texturómetro (Texture Analyzer T. A. X .T. Plus, American United State). Se cocinó una chuleta de carne de 2.5 cm de grosor en un sartén eléctrico hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C (monitoreándose por medio de un termopar tipo T conectado a un lector) (AMSA, 1995). Posteriormente, la muestra fue enfriada a temperatura ambiente (25 °C a 30 °C) y refrigerada a 4 °C por 24 h. Para la medición del EC, se prepararon muestras de carne en forma de rectángulos con una dimensión de 3 cm de largo y 1.3 de ancho cortados de forma paralela a las fibras musculares. El EC se midió de forma perpendicular a las fibras musculares, por medio del accesorio cortador Warner-Bratzler montado en el texturómetro. El valor del EC se expresó en kilogramos/fuerza (kg/f). Se hicieron diez repeticiones por unidad experimental.

5.3.6. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

Se cuantificó las sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbiturico en carne fresca. Para ello, se homogenizó 5 g de muestra con 15 mL de ácido tricloroacético a 11,000 rpm durante 1 min (Ultra Turrax IKA modelo T25), se mantuvieron los tubos sumergidos en baño de hielo con el fin de evitar la oxidación lipídica debido a un aumento de temperatura. Posteriormente la muestra homogenizada fue centrifugada a 592 g durante 30 s a 5 °C (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). Concluida la centrifugación, el sobrenadante fue filtrado a través de un papel Whatman #1, se tomó 2 mL del producto filtrado y se le adicionó 2 mL de ácido tiobarbitúrico 20mM. Posteriormente la muestra fue homogenizada durante 30 s y se llevó a un calentamiento en un baño maría a 97 °C durante 20 min. Transcurrido el tiempo, los tubos fueron enfriados y se midió la absorbancia de las muestras a 532 nm en un espectrofotómetro de UV visible (Agilent Technologies, Cary 60 UV-vis). La oxidación lipídica, se calculó en base al contenido de TBARS mediante una curva patrón de 1,1,3,3-tetrametoxipropano y se expresó como mg de malonaldehído (MDA)/kg de muestra (Pfalzgraf *et al.*, 1995)

5.3.7. Porcentaje de Metamioglobina

A 5 g de carne fresca se le adicionó 20 mL de buffer de fosfato frío (pH= 6.8; 40 mM) y homogenizó a 11,300 rpm durante 30 s (Ultra Turrax IKA modelo T25). Posteriormente, la muestra se almacenó a 4 °C durante 1 h y transcurrido el tiempo, se centrifugó 2800 g por 30 min a 4 °C (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). El sobrenadante se filtró a través de un papel Whatman #1 y al producto filtrado se leyó su absorbancia a diferentes longitudes de onda

(700, 572 y 525 nm) en un espectrofotómetro de UV visible (Agilent Technologies, Cary 60 UV-vis) (Stewart *et al.*, 1965). El contenido de metamioglobina se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{MetMb} = 1.395 \frac{\text{abs } 572 - \text{abs } 700}{\text{abs } 525 - \text{abs } 700} \times 100 \quad (3)$$

Dónde: % MetMb= Porcentaje de metamioglobina; 1.395 = Constante, A572= Absorbancia a 572 nm; A700= Absorbancia a 700 nm y A525= Absorbancia a 525 nm

5.3.8. Evaluación Sensorial

Para cada una de las muestras se llevó a cabo una evaluación sensorial realizada por un panel de 8 jueces previamente entrenados. Se utilizó un análisis cuantitativo-descriptivo para los atributos de pérdida de olor y sabor a fresco (Hernández 2005) en las muestras cocinadas a una temperatura interna final de 71 °C (AMSA, 1995). El análisis también incluyó la evaluación del color y decoloración en la superficie de la carne fresca (cruda) a través de una escala de cinco puntos (Pollorena, 2012).

La evaluación de la pérdida de olor y sabor se realizó en una sala bajo luz roja, donde se evaluó la intensidad de los olores y sabores asociados con el deterioro de la carne cocinada, mediante la siguiente escala: 0= nada, 2.5= ligero, 5.0= poco, 7.5= moderado y 10= extremo.

La evaluación de color y decoloración en carne fresca, se realizó en una sala bajo condiciones de luz blanca, donde se calificaron las tonalidades de color: rojo rosado, rojo rosado pálido, rosa pálido, rosa pálido grisáceo y café pálido grisáceo; y rangos de decoloración de: 1) nada, 2) de 1 – 10%, 3) de 11 – 20%, 4) de 21 – 60% y 5) de 61 – 100%.

5.4. Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, donde el factor principal fueron los tratamientos experimentales. Antes de iniciar la prueba, los animales fueron aleatorizados en cada corral por género, peso vivo y línea genética. Los datos de comportamiento productivo fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) GLM, donde el modelo incluyó como unidad experimental al corral y como covariable el peso vivo inicial. Las variables correspondientes a composición química de la carne fueron analizadas mediante un ANOVA de una vía, donde la unidad experimental fue el corte de carne. Los datos de las variables de características de la canal fueron analizados mediante un ANOVA GLM, donde el modelo incluyó como efecto fijo a los tratamientos, y como covariable el peso vivo final del animal y como unidad experimental la canal. La comparación de medias se realizó por contrastes ortogonales. Siendo estos los siguientes: contraste 1 (C1), efecto de la inclusión de aditivos promotores del crecimiento (C vs RAC + AF + AF-L); contraste 2 (C2), efecto del tipo de promotor de crecimiento (RAC vs AF + AF-L); y contraste 3 (C3), efecto del incremento de niveles dietarios de lisina en los tratamientos con AF (FA vs FA-L). Los datos de vida de anaquel fueron analizados mediante un ANOVA GLM para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4 x 4, donde el factor A fue el tratamiento (dietas experimentales) y el factor B, el tiempo de muestreo. En caso de existir diferencias significativas, se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey-Kramer. Se estimaron significancias a una probabilidad menor o igual a 0.05 en el error Tipo I. Todos los datos fueron procesados en el paquete estadístico NCSS® (2007).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Comportamiento Productivo

Los resultados de las variables de comportamiento productivo se muestran en la Tabla 2. El peso vivo inicial de los animales fue similar entre tratamientos ($P>0.05$), con un promedio de 67.6 kg, lo cual indica una correcta aleatorización entre los corrales evaluados. Al término de la prueba de comportamiento, se observó un efecto de los tratamientos ($P<0.05$) sobre el peso vivo final y ganancia diaria de peso (GDP). En el peso final, se observó un incremento ($P<0.05$) de 4% (99.8 kg vs 96.04 kg, efecto de contraste C1) en los animales suplementados con RAC, AF o AF-L en comparación al Control. Este incremento representó un aumento ($P<0.05$) de 14.1% en la GDP de los animales suplementados respecto al Control (1.18 vs 1.04 kg).

Los resultados del presente estudio concuerdan con los observados en estudios donde se evaluó el efecto como promotor de crecimiento de RAC. Barbosa *et al.* (2012) suplementaron 10 ppm de RAC durante 28 días a una dieta de cerdos y reportaron un incremento en la GDP del 7% en los animales suplementados respecto al control. En otro estudio, Rikard *et al.* (2009) al suplementar 10 ppm de RAC en la dieta de cerdos durante 31 días observaron un incremento del 10% de la GDP ($P<0.05$). Cabe resaltar, que en el presente estudio, la GDP de los animales suplementados con AF fue similar a la observada en los animales suplementados con RAC ($P>0.05$). A su vez, el

Tabla 2. Comportamiento productivo de cerdos en finalización suplementados con ácido ferúlico.

	Tratamiento ^a				EEM ^c	Contrastes ^b		
	C	RAC	AF	AF-L		C1	C2	C3
Peso inicial, kg	64.39	67.94	70.11	68.01	2.96	ns	ns	ns
Peso final, kg	96.04	99.80	99.62	100.22	0.99	0.004	ns	ns
Ganancia diaria, kg	1.04	1.17	1.19	1.20	0.03	0.004	ns	ns
Consumo de alimento, kg	2.60	2.75	2.69	2.63	0.06	ns	ns	ns
Conversión alimenticia	2.49	2.35	2.26	2.21	0.07	ns	ns	ns

^a Tratamientos: C, grupo Control; RAC, suplementación de 10 ppm de clorhidrato de ractopamina + 0.3% de lisina; AF, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico; AF-L, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico + 0.3% de lisina.

^b Contrastes: C1: C vs RAC + AF + AF-L; C2: RAC vs AF + AF-L; C3: AF vs AF-L.

^c EEM: error estándar de la media.

* Significancia $P < 0.05$; ns: no significativo.

incrementar los niveles de lisina en la dieta con AF no ocasionó una mejora en la GDP, lo que genera una ventaja económica para el productor al reducir sus costos en alimentación, ya que se puede obtener un desempeño productivo eficiente y similar a RAC, sin la necesidad de aumentar los valores de lisina en la dieta, como es el caso de β -AA en producción de cerdo.

Los resultados favorables obtenidos en el presente estudio con la suplementación de AF, concuerdan con lo reportado por Herrera *et al.* (2011) quienes al suplementar 15 ppm de AF a cerdos en finalización, obtuvieron una GDP y conversión alimenticia similar a los cerdos suplementados con 5 ppm de RAC. De igual manera, los resultados concuerdan con los observados en una investigación con vaquillas que fueron suplementadas con 5 o 10 ppm de AF, donde se observó un incremento de 24% ($P < 0.05$) en la GDP en las suplementadas, respecto al grupo control (Peña, 2014). Sin embargo, contrasta con los resultados obtenidos en un estudio con ovinos de pelo, en el cual no se observó un cambio ($P > 0.05$) en el comportamiento productivo al adicionar 300 mg de AF/kg de peso del animal (Macías *et al.*, 2014).

Los resultados obtenidos en el presente estudio, evidencian un posible efecto de AF como promotor de crecimiento, con base a posiblemente un mecanismo similar a los compuestos β -AA. En un estudio *in vitro* realizado por Platt *et al.* (2012), donde se observó que el AF tuvo reconocimiento por los receptores β_2 , y ocasionó incremento de la abundancia relativa de mRNA en las células satélite de bovino, dicho estudio aun siendo *in vitro* puede ser reflejado como un efecto anabolizante en músculo, ya que se ha reportado que puede existir un incremento proporcional en la síntesis de ARN e incremento del contenido de proteína y ganancia de peso al suplementar 10 ppm de cimaterol en dietas de corderas (Beermann, 2002).

Existen estudios donde se ha suplementado extractos de plantas en la dieta de cerdos y se ha observado una GDP similar a los promotores del crecimiento sintético de acción antibiótica (Kang *et al.*, 2012; Yan *et al.*, 2011). Esto se ha atribuido a un efecto fitogénico por parte de los extractos de plantas,

lo cual se hipotetiza que pueda estar actuando a nivel de la microbiota animal, mejorando su carga bacteriana y de esta manera ayudar a que el animal tenga un metabolismo más eficiente en la absorción de los nutrientes dietarios.

Durante el estudio de comportamiento animal no se encontró efecto de los tratamientos sobre el consumo de alimento y conversión alimenticia ($P>0.05$). Sin embargo, aun cuando las dietas experimentales no modificaron la conversión alimenticia de los animales, se observó una tendencia ($P=0.07$) a una mejora en la conversión alimenticia en los animales suplementados al requerirse 8.8% menos de alimento para aumentar un kilogramo de peso en los animales de estos tratamientos. Esto concuerda con estudios donde al suplementar RAC en una concentración de 10 a 20 ppm en dietas de cerdos, se ha observado una mejora en la conversión alimenticia del 8 al 12% (Barbosa *et al.*, 2012; Watkins *et al.*, 1990; Xiao *et al.*, 1999). Lo anterior es importante desde un punto de vista económico, ya que tanto el incremento en la GDP así como una mejora en la eficiencia alimenticia son aspectos fundamentales, debido a que se logra disminuir el tiempo de engorda así como los insumos de alimentación, lo cual genera ganancias monetarias para la producción porcina al disminuir el costo de producción.

6.2. Características de Calidad de la Canal

En la tabla 3 se muestran los resultados observados para las características de las canales de los cerdos de cada tratamiento. Se encontró un efecto ($P<0.05$) de los tratamientos experimentales sobre las variables de AOC y EGD, mientras que el pH a las 24 h y el grado de marmoleo fueron similares entre los tratamientos ($P>0.05$). Las canales provenientes de animales suplementados con RAC o AF, presentaron un incremento de 9,03 cm² ($P<0.05$) (efecto de

Tabla 3. Efecto de la suplementación de ácido ferúlico en la calidad de la canal de cerdo.

	Tratamiento ^a					Contrastes ^b		
	C	RAC	AF	AF-L	EEM ^c	C1	C2	C3
pH 24 h	5.63	5.64	5.63	5.65	0.005	ns	ns	ns
AOC ^d , cm ²	44.97	54.64	52.45	54.90	1.55	0.001	ns	ns
Grasa dorsal, cm	1.411	0.80	0.644	0.662	0.09	0.001	ns	ns
Marmoleo	3.11	2.66	3.0	2.87	0.25	ns	ns	ns

^a Tratamientos: C, grupo Control; RAC, suplementación de 10 ppm de clorhidrato de ractopamina + 0.3% de lisina; AF, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico; AF-L, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico + 0.3% de lisina.

^b Contrastes: C1: C vs RAC + AF + AF-L; C2: RAC vs AF + AF-L; C3: AF vs AF-L

^c EEM: error estándar de la media.

^d AOC: área del ojo de la costilla

* Significancia P<0.05; ns: no significativo.

contraste C1, $P < 0.05$) en el área del ojo de costilla en comparación al grupo Control, lo que representa 20% más área del músculo LT, dando como resultado un aumento en el porcentaje de tejido magro de la canal.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, evidencian que se presentó un efecto anabolizante al suplementar AF similar al uso de β -AA, lo cual ocurre al incrementarse el contenido de proteínas miofibrilares por ejemplo miosina, produciendo un aumento en el grosor de las fibras musculares, lo cual se ve reflejado en un aumento en el volumen del músculo (conocido como hipertrofia muscular) (Bridge *et al.*, 1998; Joassard *et al.*, 2013; Shi *et al.*, 2007).

Es importante destacar, que no se observó significancia del contraste C2, es decir, el área del ojo de la costilla de las canales con RAC fue similar ($P > 0.05$) a la de las canales de los animales suplementados con AF, lo que indica que la suplementación de AF a 25 ppm puede actuar de manera equiparable al compuesto β -AA. Sin embargo, esto contrasta con lo reportado por Li *et al.* (2015), donde no observaron cambios en las características de la canal de cerdos, al ser suplementados en la dieta con 100 ppm de AF. Esto indica que a concentraciones elevadas de AF, su acción como un compuesto β -AA se ve inhibida posiblemente por una pérdida de sensibilidad de los receptores β -AA de la célula hacia AF, similar respuesta fue reportada en cerdos alimentados con dietas que incluían RAC en dosis mayores a 10 ppm en un lapso prolongado mayor a 30 días (Herr *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 1994).

Con relación al espesor de la grasa dorsal, se observó que fue 0.7 cm menor (efecto de contraste C1, $P < 0.05$) en las canales de animales suplementados con AF y RAC respecto al grupo Control, por lo que se logró reducir en un 49% el EGD. Al igual que en AOC, se observó un efecto equiparable entre los tratamientos suplementados con AF y RAC. Este resultado es similar a lo reportado por Herrera *et al.* (2011), quienes encontraron un efecto en la reducción del espesor de la grasa al suplementar 15 ppm de AF similar a la suplementación de 5 ppm de RAC en la dieta de cerdos en finalización.

El efecto lipolítico observado en el presente estudio se puede hipotetizar mediante el mecanismo de acción ejercido por los compuestos β -AA, donde se ha reportado que ejercen una reducción del tejido adiposo, mediante la inhibición en la síntesis de ácidos grasos (lipogénesis) y/o la hidrólisis de triacilgliceridos (TAG) ya depositados en el animal (lipolisis) (Domínguez *et al.*, 2009). Al ser activados los receptores β -AA generan un incremento de AMPc, que genera una activación de la proteína kinasa A, la cual a su vez, fosforila residuos de serina de hormonas sensibles a lipasas. Una vez fosforiladas estas hormonas, son activadas e inician una hidrólisis parcial de TGA a la vez que produce la fosforilación de acetil Co-A carboxilasa que inhibe la formación de nuevos ácidos grasos (Johnson *et al.*, 2014).

Lo anterior hace suponer un posible efecto lipolítico, ya sea mediante un incremento de la lipolisis o una inhibición de la lipogénesis durante la fase final de engorda, la cual se caracteriza por una marcada tendencia a la reducción de deposición de grasa subcutánea por parte del animal. Dicho efecto lipolítico ya se ha observado mediante la suplementación de AF, donde Jin *et al.* (2010) observaron una reducción en el contenido de triglicéridos en ratones a los que se suplementó AF a una dieta alta en grasas en comparación a los no suplementados.

Los resultados del presente estudio, contrastan con otras investigaciones donde se han suplementado extractos vegetales ya sea de manera purificada o en mezcla. Zhang *et al.* (2015) al suplementar 300 o 600 ppm de resveratrol en la dieta de cerdos durante 49 días, no observaron un efecto ($P>0.05$) por parte del tratamiento sobre el AOC y EGD en comparación al grupo control (canales de animales sin suplementar). Por su parte Rossi *et al.* (2013) al suplementar a la dieta de cerdos con 5 ppm de un extracto de *Lippia* spp. el cual contenía mayormente ácido gálico, ácido dihidroxibenzoico, galato de metilo, isoverbascosido y verbascosido, no reportaron un efecto del extracto suplementado sobre el incremento del AOC o en la reducción del EGD. Así mismo, Hanczakowska *et al.* (2015) al suplementar extractos de plantas a una

concentración de 500 ppm o aceites al 4% (colza o soya) no presentaron un efecto ($P>0.05$) en las variables anteriormente mencionadas.

En relación a la deposición de grasa intramuscular o marmoleo, éste no fue afectado ($P>0.05$) por los tratamientos suplementados. Es importante mencionar que el hecho de que se incremente el AOC sin reducir el marmoleo de las canales, es un factor a favor tanto de la suplementación de AF y RAC, pues se ha evidenciado en otros estudios que los β -AA pueden reducir el contenido de grasa intramuscular tanto en bovinos como cerdos (Elam *et al.*, 2009; González *et al.*, 2010; Strydom *et al.*, 2009).

Los efectos similares ($P>0.05$) al suplementar RAC y AF en las características de la canal, hacen hipotetizar que AF ejerce una acción metabólica semejante a un compuesto β -AA comercial en cerdos como lo es RAC, al tener como respuesta un incremento de tejido magro y una reducción en la grasa de cobertura en la canal, es decir un incremento en su rendimiento. Estos resultados son similares a los reportados en la literatura al suplementar RAC, donde se observó un aumento en el AOC del 10% al 13% al suplementar 10 ppm de RAC (Armstrong *et al.*, 2004; Watkins *et al.*, 1990). Por otro lado, la reducción del EGD obtenida en el presente estudio por la suplementación de AF o RAC, fue mayor en comparación a otros estudios. Por ejemplo Watkins *et al.* (1990) al suplementar 10 ppm de RAC observaron una reducción del 7.7%, así como cuando se suplementó 20 ppm de RAC, se observó una reducción del 20-25% del EGD (Carr *et al.*, 2009; Xiao *et al.*, 1999), la cual está muy por abajo del casi 50% de reducción observado en el actual estudio.

El pH es uno de los principales indicadores de calidad en la canal, ya que por medio de este se puede inferir si la carne presentará las características de pálida, suave y exudativas, lo cual se presenta en la carne de cerdo, cuando ocurre una caída del pH menor a 5.5 en la canal a las 24h *postmortem*. Lo anterior sucede, debido a una desnaturalización de las proteínas miofibrilares al alcanzar su punto isoeléctrico a pH ácidos, como efecto de una alta producción de ácido láctico (Bendall y Swatland, 1988; Wismer, 1959). En el presente

estudio, el pH de las canales a las 24 h *postmortem* no fue modificado por los tratamientos ($P>0.05$), observándose un promedio de 5.64 para todas las canales. Este valor se encuentra dentro de los márgenes de calidad de las canales de cerdo después de la refrigeración *postmortem*.

Con respecto al uso de extractos y compuestos como suplementos en la dieta animal para mejorar la calidad de la canal y la carne, algunas investigaciones no han reportado efectos benéficos al suplementar ajo y romero (Cullen *et al.*, 2005) en la dieta de cerdo.

Zhao y Moghadasian (2008), indican que AF puede tener una absorción en el tracto digestivo superior al 70% en las primeras horas post-alimentación, lo cual hace que este compuesto se encuentre presente tanto en la mucosa gástrica como la sangre, y esto supone, que AF podrá estar disponible para ser reconocido y unirse a los receptores β -adrenérgicos presentes en la membrana celular de tejidos blanco.

Cabe mencionar, que no se presentó diferencias ($P>0.05$) en el efecto del AF en calidad de la canal al ser suplementado solo o en combinación con una dosis adicional de lisina. Lo anterior, contrasta a lo reportado en estudios donde se aumentó la concentración de lisina en dietas de cerdo cuando se suplementó RAC y se observó que ocurrió un incremento significativo del AOC y una reducción del EGD (Apple *et al.*, 2004; Pérez *et al.*, 2005). Lo anterior hace al AF, una potencial alternativa natural a los compuestos β -AA en comparación a otros compuestos sintéticos y naturales suplementados en la dieta de cerdos, ya que los resultados sugieren poseer una actividad fitogénica, lo cual puede ser aún más benéfico si se suma que puede presentar también actividad antioxidante, como se ha reportado en estudios de suplementación en bovinos (Peña, 2014).

6.3. Análisis de Calidad de la Carne

6.3.1. Composición Química

En base al análisis de la composición química de la carne (Tabla 4) se observó un efecto por parte de las dietas experimentales en cada una de las variables evaluadas. La carne proveniente de animales suplementados con RAC presentó un menor ($P<0.05$) porcentaje de humedad en comparación a los de AF. Por su parte, la suplementación de RAC, AF y AF-L incrementó ($P<0.05$) el contenido de proteína en 1.37 g de proteína/100 g de carne, en comparación al grupo Control (contraste C1), lo cual representó un incremento del 6%. Además, mediante la suplementación de RAC se obtuvo un contenido de proteína mayor ($P<0.05$) a los tratamientos de AF y AF-L.

Este efecto de incremento de proteína, concuerda con lo reportado por Carr *et al.* (2009), que al suplementar 20 ppm de RAC en dieta de cerdos, observaron un incremento del 6% en el contenido de proteína en la carne. Por otra parte, en el presente estudio se observó una disminución en el contenido de grasa intramuscular en la carne de animales suplementados en comparación al Control (contraste C1, $P<0.05$). Lo anterior, puede ser relacionado con el efecto ejercido sobre la disminución del espesor de la grasa dorsal de la canal (efecto lipolítico similar a compuestos β -AA), pero no concuerda con los registros de la evaluación subjetiva de la deposición de grasa intramuscular de las canales (marmoleo).

En un estudio realizado por Xiao *et al.* (1999), se observó una disminución del contenido de grasa en la carne de cerdos suplementados con RAC. En otro estudio, se reportó que al suplementar compuestos fenólicos, por ejemplo resveratrol (300 ppm) en dietas para cerdos, se presentó un incremento ($P<0.05$) en el contenido de proteína de la carne proveniente de estos animales

Tabla 4. Efecto de la suplementación de ácido ferúlico en la composición química de la carne de cerdo

	Tratamiento ^a					Contrastes ^b		
	C	RAC	AF	AF-L	EEM ^c	C1	C2	C3
Humedad (%)	72.72	71.65	72.75	72.26	0.65	ns	0.02	ns
Proteína (%)	21.84	24.40	22.42	22.81	0.34	0.001	0.001	ns
Grasa (%)	3.19	2.87	2.10	2.23	0.32	0.03	ns	ns

^a Tratamientos: C, grupo Control; RAC, suplementación de 10 ppm de clorhidrato de ractopamina + 0.3% de lisina; AF, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico; AF-L, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico + 0.3% de lisina.

^b Contrastes: C1: C vs RAC + AF + AF-L; C2: RAC vs AF + AF-L; C3: AF vs AF-L.

^c EEM: error estándar de la media.

* Significancia $P < 0.05$; ns: no significativo.

(Zhang *et al.*, 2015). Esto último, indica que también a través de la suplementación de productos de origen vegetal es posible modificar el contenido de grasa y proteína de la carne.

6.3.2. Perfil de Ácidos Grasos de Tejido Intramuscular y Grasa Dorsal

El perfil lipídico o tipo de grasa presente en los alimentos es uno de los parámetros de calidad con mayor apreciación por parte del consumidor en la actualidad debido a que existe ya una mayor tendencia hacia el consumo de alimentos saludables, como puede ser que tengan un mayor contenido de ácidos grasos insaturados y menor contenido de grasas saturadas, ya que estos cambios han sido relacionados con efectos benéficos a la salud del consumidor.

En base al perfil lipídico intramuscular de LT (Tabla 5), se puede observar de manera general un efecto por la dieta experimental, donde se logró una disminución ($P < 0.05$) del contenido de C16:0, C18:0 y C20:1; así como un incremento ($P < 0.05$) de C15:1 y C18:3n3. De manera específica se describe el comportamiento de los ácidos grasos (AG) C16:0 y C18:0 ya que son los AG mayoritarios en el perfil lipídico. Se observó que C16:0 y C18:0 disminuyeron 4.84% y 10.73% respectivamente en la carne proveniente de animales suplementados (RAC, AF y AF-L) en comparación al grupo Control (efecto de contraste C1). Además, se observó que la suplementación de AF logró una disminución de 5.84% en el contenido de C18:0, respecto a la carne de RAC (efecto de contraste C2, $P < 0.05$). El contenido de C18:3n3 fue 21% mayor en la grasa intramuscular de AF, respecto al contenido observado en AF-L (contraste C3, $P < 0.05$).

Tabla 5. Perfil de ácidos grasos (g/100g FAME) de grasa intramuscular de *Longissimus thoracis* de cerdos suplementados con RAC, AF y AF-L.

	Tratamiento ^a				EEM ^c	Contrastes ^b		
	C	RAC	AF	AF-L		C1	C2	C3
C14	1.16	1.07	1.03	1.05	0.003	ns	ns	ns
C15:1	1.03	1.02	1.51	1.37	0.12	ns	0.01	ns
C16:0	25.12	24.21	23.71	23.79	0.21	0.001	ns	ns
C16:1	2.82	2.83	3.10	3.05	0.009	ns	ns	ns
C17:0	0.27	0.25	0.26	0.25	0.001	ns	ns	ns
C17:1	0.21	0.21	0.23	0.23	0.001	ns	ns	ns
C18:0	13.67	12.68	11.84	12.09	0.25	0.001	0.03	ns
C18:1n9c	41.05	42.31	40.59	42.32	0.53	ns	ns	ns
C18:2n6t	3.88	4.06	4.08	4.16	0.09	ns	ns	ns
C18:2n6c	7.04	7.07	8.04	7.13	0.52	ns	ns	ns
C18:3n3	0.20	0.19	0.23	0.19	0.009	ns	ns	0.008
C:20	0.18	0.16	0.17	0.18	0.008	ns	ns	ns
C20:1	0.83	0.75	0.76	0.77	0.02	0.006	ns	ns
C20:2	0.31	0.33	0.36	0.33	0.01	ns	ns	ns
C20:3n6	0.24	0.27	0.31	0.25	0.02	ns	ns	ns
C20:4n6	1.32	1.38	1.68	1.46	0.13	ns	ns	ns

^a Tratamientos: C, grupo Control; RAC, suplementación de 10 ppm de clorhidrato de ractopamina + 0.3% de lisina; AF, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico; AF-L, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico + 0.3% de lisina

^b Contrastes: C1: C vs RAC + AF + AF-L; C2: RAC vs AF + AF-L; C3: AF vs AF-L

^c EEM: error estándar de la media

* Significancia P<0.05; ns: no significativo

De manera general, el perfil de AG observado en el presente estudio concuerda con la literatura para grasa intramuscular de LT de cerdo (Wood *et al.*, 2008). Los resultados obtenidos son similares a investigaciones donde se ha reportado una modificación del perfil lipídico de la grasa intramuscular por efecto de la suplementación de fitoquímicos y se ha observado una tendencia en la disminución del contenido de AG saturados e incremento de AG insaturados.

Moroney *et al.* (2015) al suplementar extractos de *Laminarina digitata* en la dieta de cerdos, observaron una disminución del contenido de AG C16:0 y C18:0 propiciado principalmente por efecto de la suplementación de extractos de carbohidratos, los cuales al ser fermentados por la microbiota intestinal del cerdo generan AG de cadena corta y disminuyen el contenido de los AG de cadena larga. Por otra parte, la suplementación de oleaginosas en la dieta de cerdos es una estrategia implementada con el fin de incrementar el contenido de AGI, tal es el caso de la suplementación de harina de las de *Moringa oleifera* (Mukumbo *et al.*, 2015).

En la Tabla 6, se observa una disminución del 5.66% ($P < 0.05$) de la sumatoria parcial de AG saturados ($\sum\text{AGS}$), y un incremento de 2.45% en el contenido de AG monoinsaturados ($\sum\text{AGM}$) en los tratamientos suplementados, respecto al grupo Control (efecto de contraste C1, $P < 0.05$). En cuanto a los AG poliinsaturados ($\sum\text{AGP}$), estos no fueron modificados ($P > 0.05$) por efecto de la suplementación dietaria, no obstante, cabe resaltar que la suplementación de AF con o sin la adición de lisina mostró una tendencia ($P = 0.09$) al incremento del 11.68% y 7.56% de $\sum\text{AGP}$ en comparación al grupo C y RAC respectivamente. Con respecto a las relaciones nutricionales $\sum\text{AGM}/\sum\text{AGS}$ y $\sum\text{AGP}/\sum\text{AGS}$ se aprecia que existe un incremento del 19.88% y 16.13% en los tratamientos suplementados en comparación al Control (efecto de contraste C1, $P < 0.05$).

La disminución de $\sum\text{AGS}$ e incremento de $\sum\text{AGM}$, $\sum\text{AGM}/\sum\text{AGS}$ y $\sum\text{AGP}/\sum\text{AGS}$ como efecto de la suplementación de RAC, AF y AF-L concuerda

Tabla 6. Sumatoria parcial de ácidos grasos y valor nutricional de grasa intramuscular de *Longissimus thoracis* de cerdo suplementados con RAC, AF y AF-L.

	Tratamiento ^a				EEM ^c	Contraste ^b		
	C	RAC	AF	AF-L		C1	C2	C3
\sum AGS ^d	41.25	39.43	38.65	38.66	0.42	0.001	ns	ns
\sum AGM ^e	45.95	47.28	46.21	47.75	0.53	0.001	ns	ns
\sum AGP ^f	12.80	13.29	15.07	13.52	0.62	ns	ns	ns
\sum AGM/ \sum AGS ^g	1.12	1.20	1.19	1.24	0.02	0.001	ns	ns
\sum AGP/ \sum AGS ^h	0.31	0.34	0.39	0.35	0.02	0.02	ns	ns
\sum w3 ⁱ	0.20	0.19	0.23	0.19	0.009	ns	ns	0.01
\sum w6 ^j	12.29	12.76	14.47	13.00	0.60	ns	ns	ns
\sum w6/ \sum w3 ^k	62.00	67.17	62.94	67.86	3.03	ns	ns	ns

^a Tratamientos: C, grupo Control; RAC, suplementación de 10 ppm de clorhidrato de ractopamina + 0.3% de lisina; AF, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico; AF-L, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico + 0.3% de lisina.

^b Contrastes: C1: C vs RAC + AF + AF-L; C2: RAC vs AF + AF-L; C3: AF vs AF-L.

^c EEM: error estándar de la media.

* Significancia P<0.05; ns: no significativo.

^d Total de ácidos grasos saturados: C4, C10, C12, C14, C16, C17, C18 y C:20.

^e Total de ácidos grasos monoinsaturados: C15:1, C16:1, C17:1, C18:1 9c y C20:1.

^f Total de ácidos grasos poliinsaturados: C18:2n6t, C18:2n6c, C18:3n3, C20:2, C20:3n6 y C20:4n6.

^g \sum AGM/ \sum AGS: ácidos grasos monoinsaturados / ácidos grasos saturados.

^h \sum AGP/ \sum AGS: ácidos grasos poliinsaturados / ácidos grasos saturados.

ⁱ Total de ácidos grasos omega-3: C18:3n3.

^j Total de ácidos grasos omega-6: C18:2n6t, C18:2n6c, C20:3n6 y C20:4n6.

^k \sum w6/ \sum w3: ácidos grasos omega-6 / ácidos grasos omega-3.

con los resultados obtenidos al suplementar mezcla de flavonoides y polifenoles o extracto de hierbas (González y Tejeda, 2007; Hanczakowska *et al.*, 2015)

No obstante, contrastan con otras investigaciones con suplementación de fitoquímicos, ya que aun cuando se ha logrado disminuir o incrementar cierto AG, estos no repercuten en un modificación ($P>0.05$) en la sumatoria grupal de AG, por ejemplo extractos de *Saururus chinensis* y *Moringa oleifera* (Ao *et al.*, 2011; Mukumbo *et al.*, 2015).

La disminución en el contenido de \sum AGS así como el incremento de \sum AGM y una mayor relación entre \sum AGP/ \sum AGS obtenidos en el presente estudio en los tratamientos suplementados en comparación a la dieta Control (C1), otorga un perfil más saludable nutricionalmente al consumidor, esto debido a que se ha relacionado la incidencia de enfermedades crónico degenerativas con un alto consumo de AGS (Kennedy *et al.*, 2009; Oliveira Junior *et al.*, 2013). Por lo que instituciones de salud han recomendado un consumo de AGP/AGS en una relación entre 0.45 a 0.65 (Department of Health, 1994).

En el presente estudio, se observó en los tratamientos RAC y AF una relación de AGP/AGS presente en la grasa intramuscular, cercana a las recomendaciones dietarias. Sin embargo, esto puede ocasionar un efecto contradictorio desde el punto de vista oxidativo, ya que al existir una mayor proporción de AGI, su oxidación es más vulnerable durante el tiempo de almacenamiento, lo cual puede verse relacionado con los resultados obtenidos al evaluar los niveles de TBARS.

Al igual que la relación nutricional del contenido de AG insaturados y saturados, es importante el contenido de AG w3 y w6, así como su relación AG w6/w3, donde se ha reportado una ingesta dietaria en una relación w6/w3 no mayor a 4.0 (Department of Health, 1994). Sin embargo, aun cuando esta relación no fue modificada significativamente por efecto de los tratamientos experimentales, los valores obtenidos se encuentran por encima de lo

recomendado, debido alto contenido de w6 en comparación a w3 presentes en la grasa intramuscular.

El perfil lipídico de grasa dorsal (Tabla 7) presentó un mayor número de AG modificados en comparación a la grasa intramuscular por efecto de la suplementación de las dietas experimentales, esto posiblemente puede deberse a la etapa en que se realizó la suplementación, ya que durante la fase de finalización el incremento en la deposición de grasa dorsal del animal no un efecto en el incremento de grasa la intramuscular (Weatherup *et al.*, 2010). De manera general, se observó una disminución ($P<0.05$) del contenido de C16:0, C18:0, C18:1n9c, C20 y C20:1, así como un incremento ($P<0.05$) de C17:1, C18:2n6t, C18:2n6c, C18:3n3 (efecto de contraste C1).

De manera más específica se describe el comportamiento de los AGS C16:0 y C18:0, ya que son los AGS mayoritarios en el perfil lipídico. Se observó que C16:0 y C18:0 disminuyeron 2.82% y 9.5% respectivamente, en carne provenientes de animales suplementados ya sea con RAC, AF o AF-L en comparación al Control (efecto contraste C1, $P<0.05$). Por otra parte, se observó que C16:0 disminuyó 5.79% en la carne del tratamiento AF-L en comparación a AF, por efecto del enriquecimiento de lisina (efecto de contraste C3, $P<0.05$).

En relación al contenido de AGI, se describe de manera específica los AG C18:1n9c, C18:2n6t, C18:2n6c y C18:3n3, al ser de los principales AGI. Donde se observó un aumento de los AGP de un 8.87% de C18:2n6t, 13.24% de C18:2n6c y 16.67% de C18:3n3 en grasa dorsal de animales suplementados en comparación al grupo Control (efecto del contraste C1, $P<0.05$). Con lo que respecta a C18:1n9c se observó que disminuyó 3.35% en grasa dorsal proveniente de los grupos AF y AF-L en comparación a RAC (efecto del contraste C2, $P<0.05$).

Al hacer una comparación entre la Tabla 5 y 7, es posible apreciar un mayor número de AG modificados en grasa dorsal como efecto de las dietas

Tabla 7. Perfil de ácidos grasos (g/100g FAME) de grasa dorsal de *Longissimus thoracis* de cerdos suplementados con RAC, AF y AF-L.

	Tratamientos ^a				EEM ^c	Contrastes ^b		
	C	RAC	AF	AF-L		C1	C2	C3
C14	1.34	1.30	1.42	1.32	0.03	ns	ns	ns
C16:0	25.76	24.78	25.91	24.41	0.30	0.04	ns	0.001
C16:1	1.95	2.16	2.20	2.23	0.08	ns	ns	ns
C17:0	0.49	0.44	0.49	0.57	0.03	ns	ns	ns
C17:1	0.37	0.36	0.39	0.46	0.02	ns	0.03	0.02
C18:0	15.55	13.97	14.55	13.70	0.29	0.001	ns	ns
C18:1n9c	40.30	42.01	39.72	40.64	0.39	ns	0.001	ns
C18:2n6t	2.48	2.75	2.63	2.72	0.05	0.001	ns	ns
C18:2n6c	8.56	9.48	9.54	10.06	0.36	0.01	ns	ns
C18:3n3	0.44	0.49	0.51	0.54	0.02	0.004	ns	ns
C:20	0.26	0.22	0.24	0.23	0.01	0.01	ns	ns
C20:1	0.89	0.82	0.81	0.75	0.03	0.008	ns	ns
C20:2	0.44	0.47	0.45	0.45	0.01	ns	ns	ns
C20:4n6	0.18	0.19	0.16	0.21	0.01	ns	ns	ns

^a Tratamientos: C, grupo Control; RAC, suplementación de 10 ppm de clorhidrato de ractopamina + 0.3% de lisina; AF, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico; AF-L, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico + 0.3% de lisina

^b Contrastes: C1: C vs RAC + AF + AF-L; C2: RAC vs AF + AF-L; C3: AF vs AF-L

^c EEM: error estándar de la media

* Significancia P<0.05; ns: no significativo

suplementadas con AF, AF-L y RAC; esto puede ser debido al tiempo de suplementación, ya que durante la fase final de engorda la deposición de grasa generada por el animal es dirigida en mayor medida hacia la grasa de cobertura en comparación a la grasa intramuscular.

El perfil lipídico de la grasa dorsal concuerda con lo reportado en la literatura para grasa de cerdo (Wood *et al.*, 2008). El efecto observado por parte de los tratamientos suplementados en el actual estudio es similar a lo reportado por Engeseth *et al.* (1992) quienes al suplementar 20 ppm de RAC en la dieta de cerdo, observaron una reducción ($P < 0.05$) de C18:0; así como un incremento ($P < 0.05$) de C18:3.

Con base a la suma parcial de AG de la grasa dorsal del músculo LT (Tabla 8) se presentó un efecto de las dietas experimentales. Se encontró una disminución del 4.96% de la \sum AGS y un incremento del 11.91% de AGP en la grasa dorsal proveniente de animales suplementados respecto al grupo Control (efecto del contraste C1, $P < 0.05$). Por otra parte se observó una reducción del 3.37% en el contenido de \sum AGS y un aumento del 3.88% en el contenido de \sum AGM como efecto de la suplementación de RAC con respecto a AF y AF-L (efecto de contraste C2, $P < 0.05$). Por último, el contenido de lisina en las dietas suplementadas con AF ejerció un efecto en el contenido de \sum AGS, donde se observó una disminución del 3.59% en grasa proveniente de AF-L en comparación a AF (efecto de contraste C3, $P < 0.05$).

Los resultados obtenidos en base a la reducción de \sum AGS y aumento de \sum AGM concuerdan con lo reportado por Wiegand *et al.* (2011) quienes al suplementar 7.4 ppm de RAC en la dieta de cerdos, se observaron una reducción del 8% ($P < 0.05$) de \sum AGS y un aumento del 5% ($P < 0.05$) de \sum AGM.

Con base a la relación que existe entre AG insaturados y saturados, se observó un aumento del 6.80% en la proporción \sum AGM/ \sum AGS y 19.75% en la relación de \sum AGP/ \sum AGS en grasa dorsal proveniente de los tratamientos suplementados en comparación al tratamiento Control (efecto de contraste C1,

Tabla 8. Sumatoria parcial de ácidos grasos y valor nutricional de grasa dorsal de *Longissimus thoracis* de cerdo suplementados con RAC, AF y AF-L.

	Tratamiento ^a				EEM ^c	Contrastes ^b		
	C	RAC	AF	AF-L		C1	C2	C3
\sum AGS ^d	44.39	41.26	43.43	41.87	0.50	0.001	0.03	0.03
\sum AGM ^e	43.52	45.36	43.12	44.08	0.43	ns	0.002	ns
\sum AGP ^f	12.09	13.37	13.17	14.05	0.38	0.002	ns	ns
\sum AGM/ \sum AGS ^g	0.98	1.10	0.99	1.05	0.02	0.006	0.004	0.04
\sum AGP/ \sum AGS ^h	0.27	0.32	0.31	0.34	0.01	0.001	ns	ns
\sum w3 ⁱ	0.44	0.50	0.59	0.53	0.02	0.001	0.01	ns
\sum w6 ^j	11.21	12.41	12.40	13.05	0.35	0.001	ns	ns
\sum w6/ \sum w3 ^k	25.36	25.02	21.00	24.10	0.47	0.001	0.001	ns

^a Tratamientos: C, grupo Control; RAC, suplementación de 10 ppm de clorhidrato de ractopamina + 0.3% de lisina; AF, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico; AF-L, suplementación de 25 ppm de ácido ferúlico + 0.3% de lisina.

^b Contrastes: C1: C vs RAC + AF + AF-L; C2: RAC vs AF + AF-L; C3: AF vs AF-L.

^c EEM: error estándar de la media.

* Significancia P<0.05; ns: no significativo.

^d Total de ácidos grasos saturados: C4, C10, C12, C14, C15, C16, C17, C18 y C:20.

^e Total de ácidos grasos monoinsaturados: C16:1, C17:1, C18:1 9c y C20:1.

^f Total de ácidos grasos poliinsaturados: C18:2n6t, C18:2n6c, C18:3n3, C20:2, C20:3n6, C20:4n6 y C20:3n3.

^g \sum AGM/ \sum AGS: ácidos grasos monoinsaturados / ácidos grasos saturados.

^h \sum AGP/ \sum AGS: ácidos grasos poliinsaturados / ácidos grasos saturados.

ⁱ Total de ácidos grasos omega-3: C18:3n3 y C20:3n3.

^j Total de ácidos grasos omega-6: C18:2n6t, C18:2n6c, C20:3n6 y C20:4n6.

^k \sum w6/ \sum w3: ácidos grasos omega-6 / ácidos grasos omega-3.

P<0.05). Por otra parte, se observó un incremento del 7.27% de $\Sigma\text{AGM}/\Sigma\text{AGS}$ al suplementar RAC en comparación a AF y AF-L (efecto de contraste C2, P<0.05). Por último, la dieta suplementada con AF-L ejerció un incremento del 6.06% respecto a AF (efecto de contraste C3, P<0.05).

En el presente estudio, se observó que los tratamientos suplementados ejercieron un 22.72% y 12.58% de AG w3 y w6 respectivamente, así como una reducción del 7.83% en la relación w6/w3 en grasa dorsal en comparación al grupo Control (efecto de contraste C1, P<0.05). Además, se observó que los tratamientos de AF y AF-L incrementaron un 12% el contenido AG w3 y una reducción del 10% en la relación w6/w3, respecto a la grasa proveniente de los animales suplementados con RAC (efecto de contraste C2, P<0.05). Dicha relación en el contenido de AG w6/w3 obtenidos en el presente estudio son similares a los reportados por Wiegand *et al.* (2011)

6.4. Vida de Anaquel

Como se ha mencionado, la carne es susceptible a deterioros de oxidación durante su almacenamiento, sin embargo en la actualidad no existen estudios donde se haya reportado el efecto antioxidante de AF suplementado en la dieta sobre la carne de cerdo. Por tal motivo en el presente estudio se llevó a cabo una comparación del efecto de AF respecto a otros fitoquímicos en características de calidad físico-química y sensorial de la carne durante una vida de anaquel.

6.4.1 Calidad Físico-química.

El pH de la carne no presentó cambios debidos a los tratamientos ($P>0.05$) (Figura 5); sin embargo, el tiempo de almacenamiento si fue significativo, ya que al transcurrir los días en refrigeración, al día cero de almacenamiento se observó un pH de 5.64, el cual se encuentra dentro de los rangos de pH de calidad en carne de puerco después del sacrificio establecido por el Consejo Nacional de Productores de Carne de Puerco (NPPC, 1998) y se redujo ($P<0.05$) hasta llegar a un valor de pH 5.5 al día diez, lo cual puede deberse a una posible reacción de oxidación de la grasa intramuscular. Sin embargo, cabe destacar que los valores de pH observados en la carne a lo largo de su almacenamiento, se encuentran dentro de los rangos aceptados de calidad, ya que se descarta como una posible causa del descenso del pH por contaminación bacteriana ácido láctica, ya que estas generan un pH menor a 5.3 en la carne (López *et al.*, 2013).

Durante la vida de anaquel, el parámetro de color L^* de la carne, presentó un efecto por parte de los tratamientos y el tiempo de almacenamiento ($P<0.05$), pero no de su interacción ($P>0.05$). Los valores de L^* (Figura 6) fueron menores en el tratamiento Control (54.47) en comparación a AF-L (57.06), mientras RAC y AF presentaron valores intermedios y similares a los demás tratamientos durante el período de refrigeración. Sin embargo, los valores de L^* de la carne para todos los tratamientos estuvieron dentro de los rangos reportados para carne de cerdo fresca (Brewer, 2001; Škrlep y Čandek-Potokar, 2007).

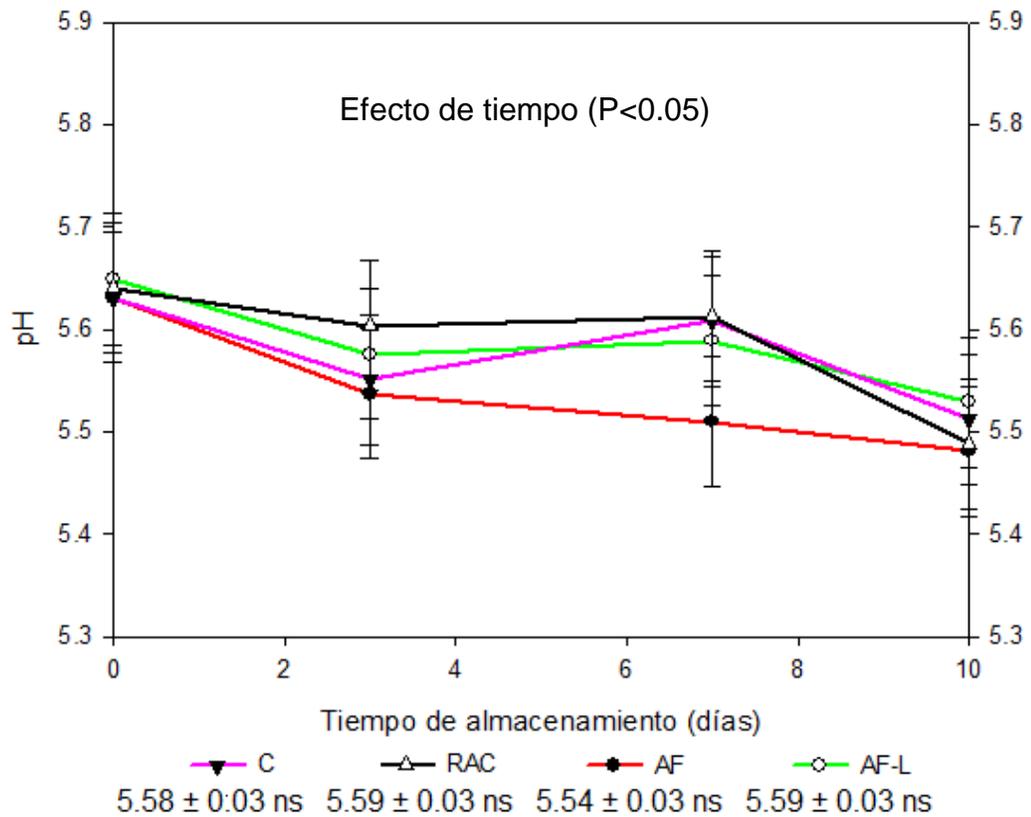


Figura 5. Valor de pH en carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. ns= No significativo ($P > 0.05$).

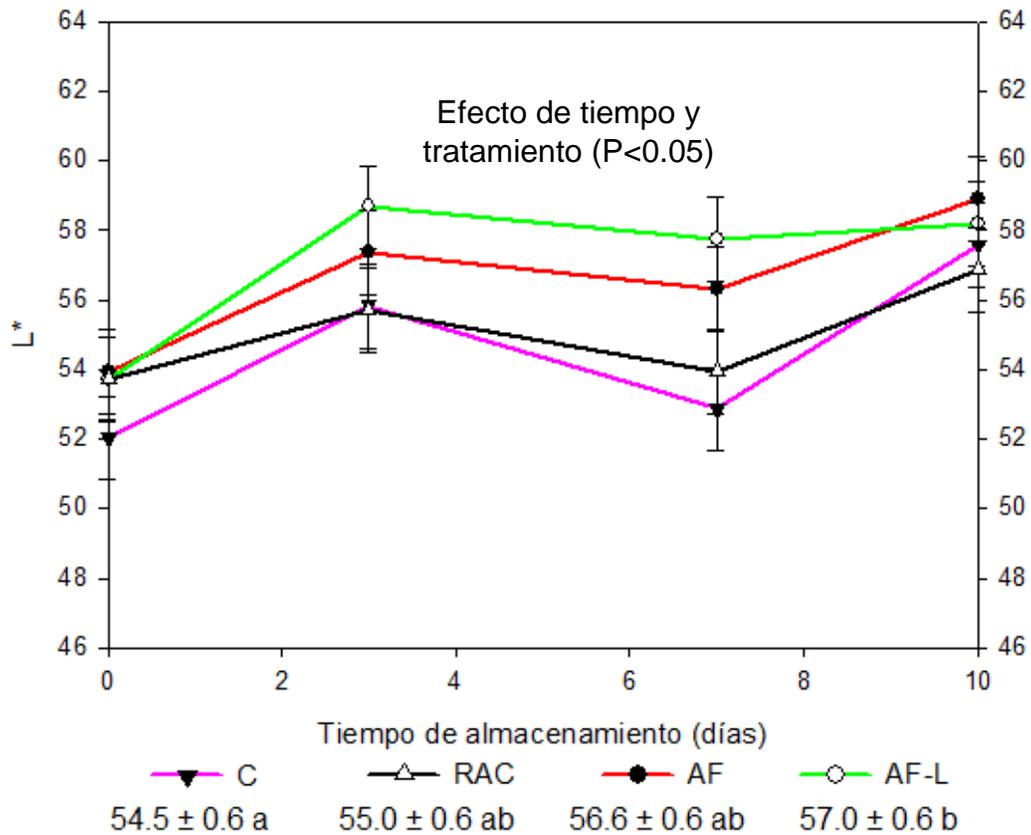


Figura 6. Valor de L* en carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. Medias de tratamientos con distintas literales presentan diferencia ($P < 0.05$).

Por otra parte, para la variable a^* (Figura 7), se observó un cambio ($P < 0.05$) por efecto de la interacción tiempo x tratamiento. Al día 0 no hubo diferencias entre los tratamientos y los valores de a^* se mantuvieron similares ($P > 0.05$) hasta el día tres de refrigeración. El comportamiento del parámetro a^* mostró una reducción de dicho valor desde el inicio del almacenamiento hasta el día 7 ($P < 0.05$). Así mismo, a partir de este día y hasta el día 10, se muestran diferencias entre tratamientos, donde los tratamientos Control y RAC presentaron valores más estables y fueron diferentes a los observados en AF y AF-L, que mostraron los valores más bajos de a^* ($P < 0.05$).

Con base a los resultados obtenidos en el presente estudio, se observó que AF no ejerció un efecto antioxidante en la estabilidad del valor a^* de la carne al ser suplementado en la dietas de cerdos, esto contrasta Lahucky *et al.* (2010) quienes al suplementar extractos de *Melissa officinalis*, *M. officinalis*, *Origanum vulgare* y *Salvia officinalis* en dietas de cerdos, observaron al quinto día de almacenamiento una mayor estabilidad de a^* en carne proveniente de animales suplementados con extractos en comparación al grupo control.

Cabe mencionar que dentro de los parámetros de calidad, el valor a^* es de gran importancia el mantener su estabilidad para la industria cárnica, ya que éste es indicador del color rojo de la carne. Siendo la formación de metamioglobina la principal causa de la disminución de dicho valor a través del tiempo en el presente estudio (Faustman *et al.*, 2010; Karamucki *et al.*, 2013).

Con lo que respecta al valor b^* (Figura 8), éste no se vio afectado ($P > 0.05$) por los tratamientos suplementados; sin embargo, hubo un efecto ($P < 0.05$) a través de los días de almacenamiento, en los cuales se incrementó de un valor de 7.01 en el día 0 a 7.93 al día 10. Este comportamiento fue similar al reportado por Moroney *et al.* (2015) al suplementar 450 o 900 ppm de laminarina y fucoídano sin encontrar un efecto ($P > 0.05$) por parte de los tratamientos en comparación al Control.

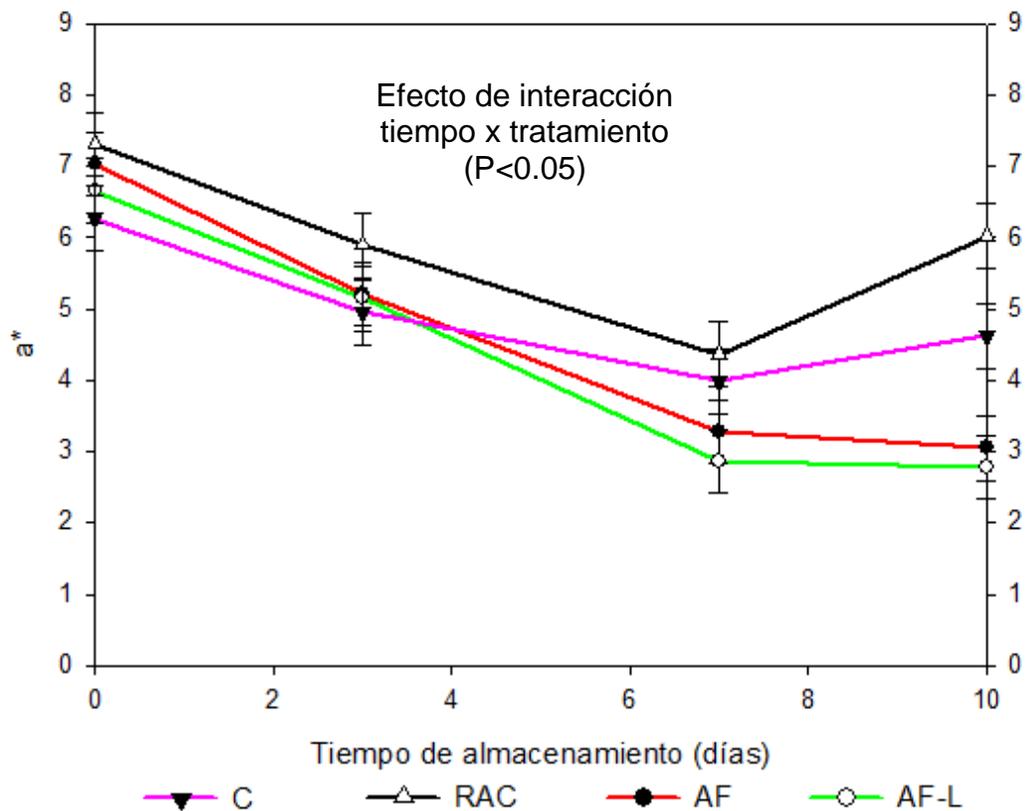


Figura 7. Valor de a* de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina.

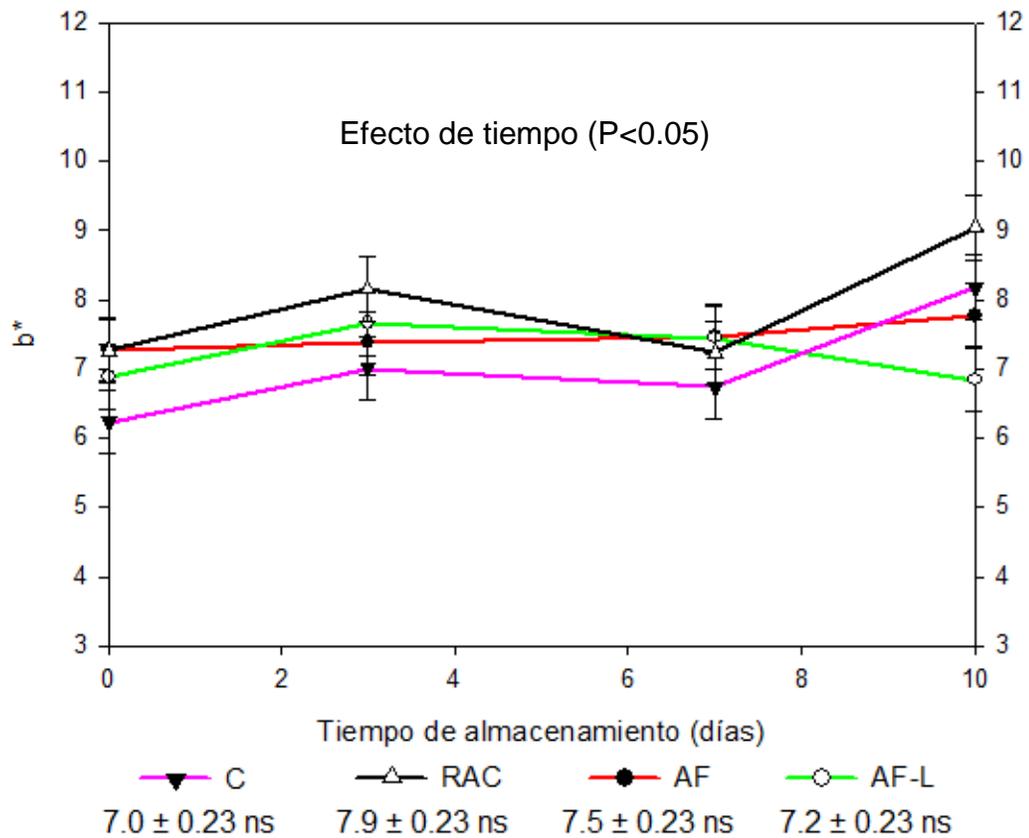


Figura 8. Valor de b^* en carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. ns= No significativo ($P > 0.05$).

Por último, los tratamientos experimentales ejercieron un efecto sobre el valor de ángulo de matiz de la carne (Figura 9), al igual que un incremento del mismo en el transcurso de su almacenamiento ($P < 0.05$). Tal como sucedió con la variable a^* , a partir del día siete los valores de ángulo de matiz de la carne fueron más estables en los tratamientos Control y RAC en comparación a los observados en AF y AF-L, en los que se incrementó hasta el día diez ($P < 0.05$). Dicha inestabilidad en valor de ángulo de matiz de la carne de cada uno de los tratamientos se vio reflejado en la variación sensorial de color y decoloración percibida por parte del panel evaluador

El efecto del tiempo de almacenamiento concuerda con los resultados obtenidos por Mukumbo *et al.* (2015) que al suplementar una dosis de 0 a 7.5% de harina de hojas de *Moringa oleífera*, el valor de b^* y ángulo de matiz se incrementaron a través del tiempo aun cuando no se presentó un efecto por parte de los tratamientos.

La capacidad de retención de agua (CRA) no se vio afectada ($P > 0.05$) por los tratamientos experimentales, pero si se observó una variación a través del tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$) (Figura 10). La media general para todos los tratamientos fue de 80.85%. En el caso del efecto del tiempo de almacenamiento, la CRA varió de 82.64 a 81.98% del día cero al día diez, respectivamente.

Estos resultados son similares a los reportados por Hanczakowska *et al.* (2015), que suministraron 500 ppm de una mezcla de extractos vegetales en dietas de cerdos, y observaron que no existió un efecto ($P > 0.05$) en la CRA por acción de los tratamientos. Por otra parte, la reducción de aproximadamente 1% en la CRA a través del tiempo de almacenamiento, puede considerarse normal, pues bajo condiciones de refrigeración y empaque tradicional (employado), comúnmente sucede que la carne pierda su capacidad para retener el agua y se observe la liberación de ésta en forma de jugos dentro del empaque.

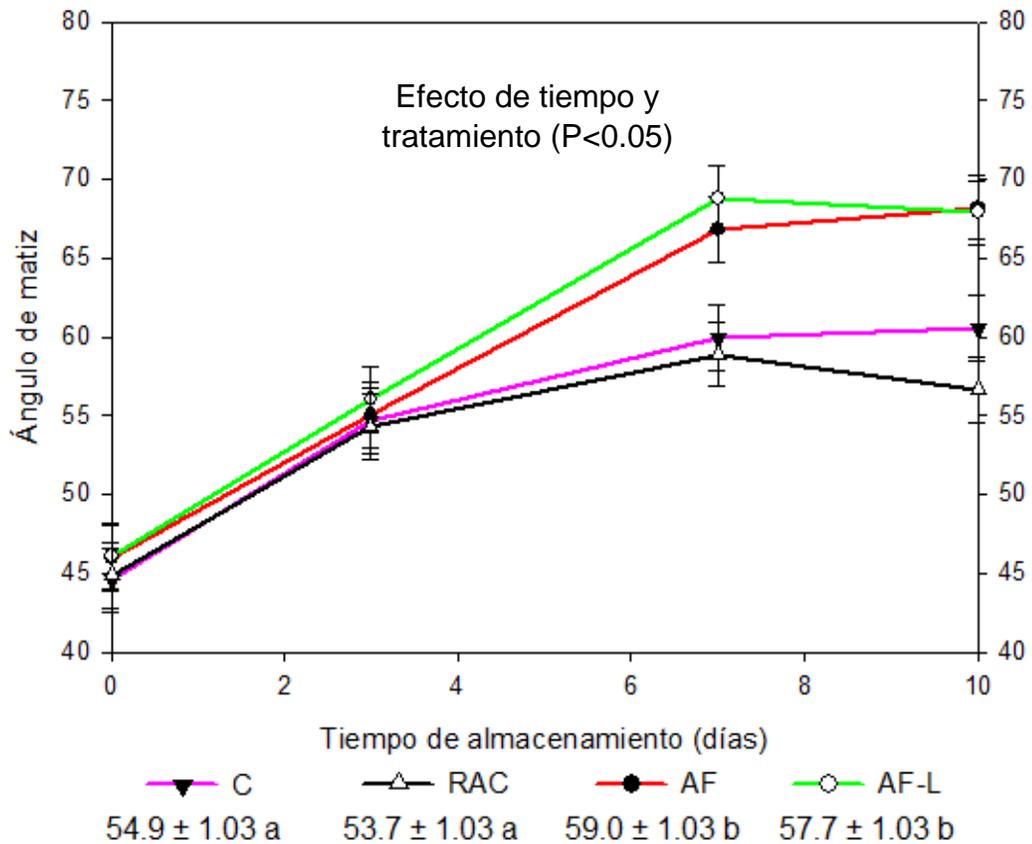


Figura 9. Valor de ángulo de matiz de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. Medias de tratamientos con distinta literal presentan diferencia ($P < 0.05$).

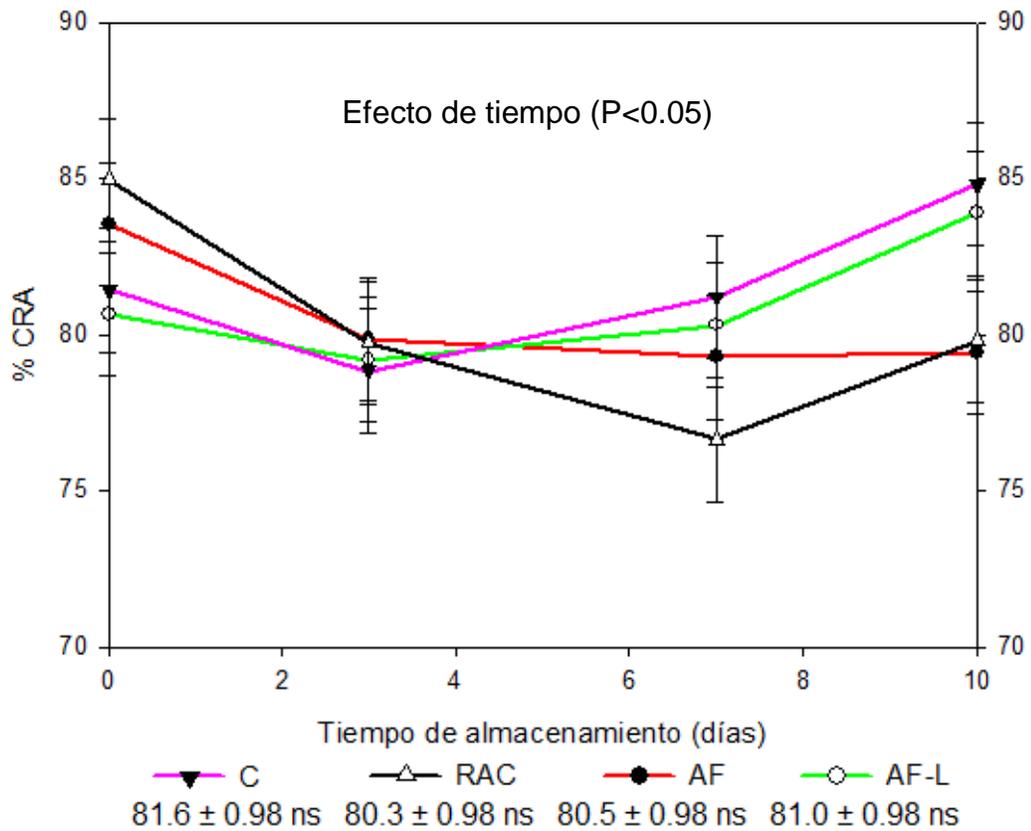


Figura 10. Capacidad de retención de agua de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. ns= No significativo ($P>0.05$).

El porcentaje de pérdida de peso por cocción (PPC) de carne de cerdo no fue modificado ($P>0.05$) por parte de las dietas suplementadas ni por el tiempo de almacenamiento. De manera general se reportó un rango de 14.60% a 15.20% de PPC por parte de los tratamientos (Figura 11). Estos resultados concuerdan con lo reportado en la literatura; Zhang *et al.* (2015), no observaron un efecto por parte de la suplementación de 300 y 600 ppm de resveratrol sobre la PPC en comparación al grupo Control; así como Rossi *et al.* (2013) al suplementar extractos de *Lippia spp.* y Kang *et al.* (2012) al suplementar subproductos de plantas medicinales en dieta de cerdos. Haciendo una comparación entre las variables CRA y PCC obtenidas en el presente estudio, se puede observar que al no verse afectada la CRA por parte de las dietas ésta se ve reflejada para la PCC, la cual es similar entre cada uno de los tratamientos.

Los registros de esfuerzo al corte o dureza de la carne fueron afectados por los tratamientos y el tiempo de almacenamiento ($P<0.05$). El tratamiento que presentó la carne con menor dureza fue AF, la cual fue 12% menos dura que la carne del tratamiento Control (6.01 vs 6.80 kg/f, respectivamente), mientras que los valores de EC en RAC y AF-L permanecieron intermedios (Figura 12). Respecto al efecto del tiempo de almacenamiento, se observó una disminución significativa de EC de la carne a través del tiempo en cada uno de los tratamientos, ya que los valores iniciales de EC fueron de alrededor de 8 kg/f y culminaron cercanos a los 6 kg/f. Los resultados del presente trabajo concuerdan con aquellos reportados por Zhang *et al.* (2015), quienes suplementaron resveratrol a 300 o 600 ppm en el alimento para cerdos, observaron una disminución de alrededor de 11% en la dureza de la carne en los tratamientos suplementados respecto al control.

La disminución del EC de la carne proveniente de los tratamientos suplementados con AF puede ser efecto de un pH menor en comparación a los tratamientos Control y RAC, ya que se ha reportado que bajos pH provocan

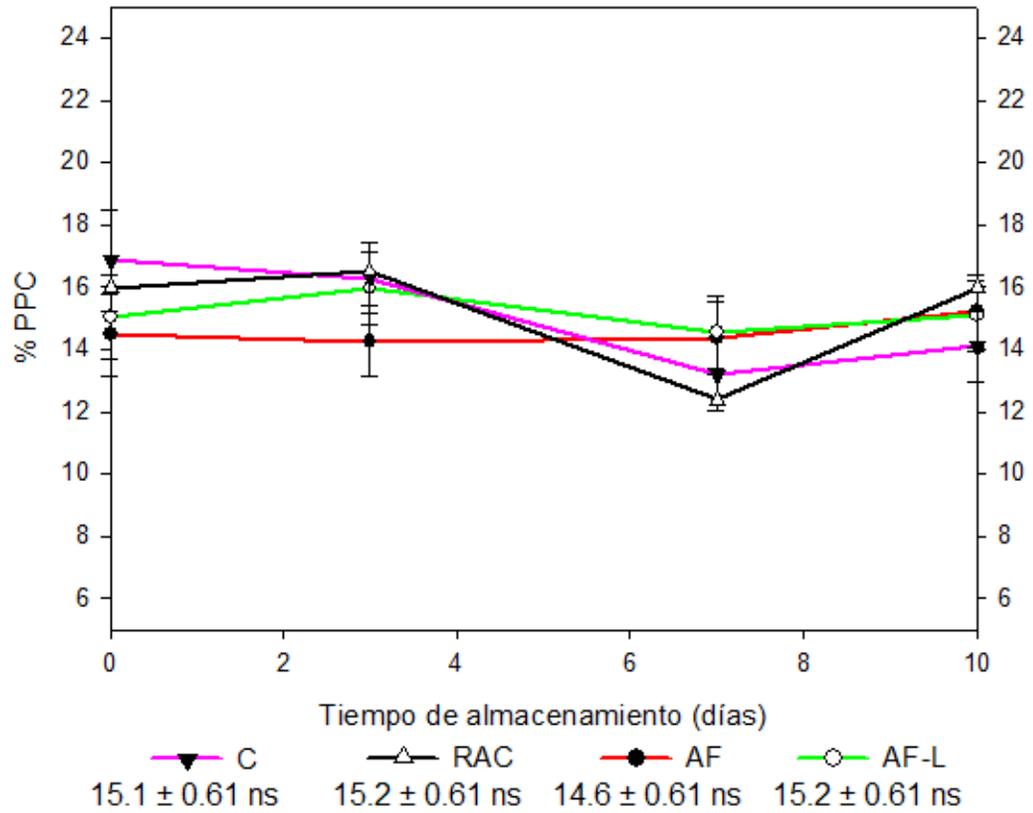


Figura 11. Pérdida de peso por cocción de carne de cerdo

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. ns= No significativo ($P > 0.05$).

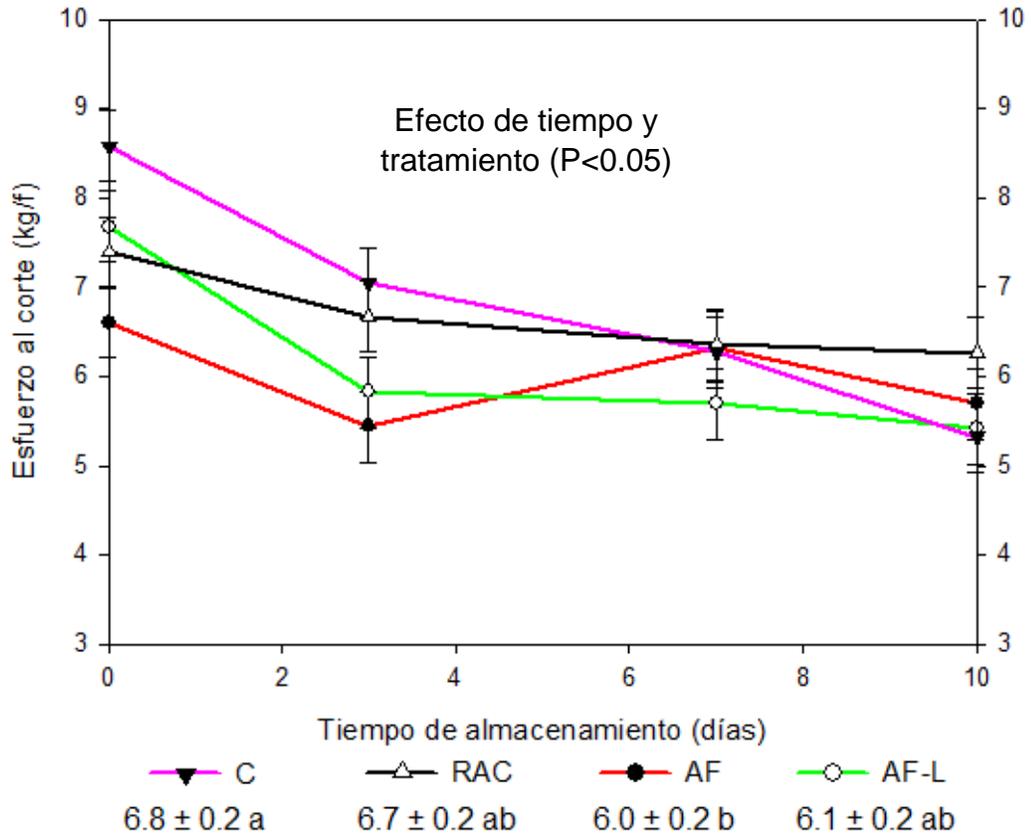


Figura 12. Valor de esfuerzo al corte de carne de cerdo cocinada.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. Medias de tratamientos con distinta literal, indican diferencia (P<0.05).

desnaturalización en las proteínas miofibrilares, facilitando así su ruptura al momento de realizar el corte.

Esta disminución en el pH se puede elucidar debido a un cambio en la proporción de fibras musculares, efecto característico de los compuestos β -AA (Beermann, 2002). Dicho efecto ha sido reportado mediante la suplementación de resveratrol en dietas con un alto contenido de grasa, induciendo un cambio proporcional en las fibra muscular tipo intermedias (IIa y IIx) en el músculo *gastrocnemius* (Price *et al.*, 2012), por lo tanto al ser AF un compuesto fenólico con características similares a resveratrol, podría ejercer un efecto similar, haciendo que exista una transición de fibras musculares en comparación al tratamiento Control.

Por lo tanto, se propone realizar en futuras investigaciones, un estudio histológico del músculo de animales suplementados con AF, con el fin de investigar si este compuesto es capaz de ejercer un efecto sobre la proporción y tipo de fibras presentes en el tejido muscular.

Con relación a la disminución del EC a través del tiempo de almacenamiento, es sabido que normalmente ocurre un ablandamiento importante de la carne fresca durante su refrigeración, lo anterior como resultado a la acción de los sistemas enzimáticos propios de la carne, los cuales son los responsables de la proteólisis *postmortem* conocida como añejamiento o maduración (Koochmaraie y Geesink, 2006; Lametsch *et al.*, 2002).

Durante la vida de anaquel, la oxidación lipídica de la carne es uno de los principales parámetros de calidad, ya que de este dependerá la presencia de olores y sabores desagradables para el consumidor relacionados con la rancidez del alimento.

En el presente estudio, se observó que la dieta suplementada y el tiempo de almacenamiento ejercieron un efecto ($P < 0.05$) individual sobre la oxidación lipídica (Figura 13), incrementando durante el transcurso de los días de

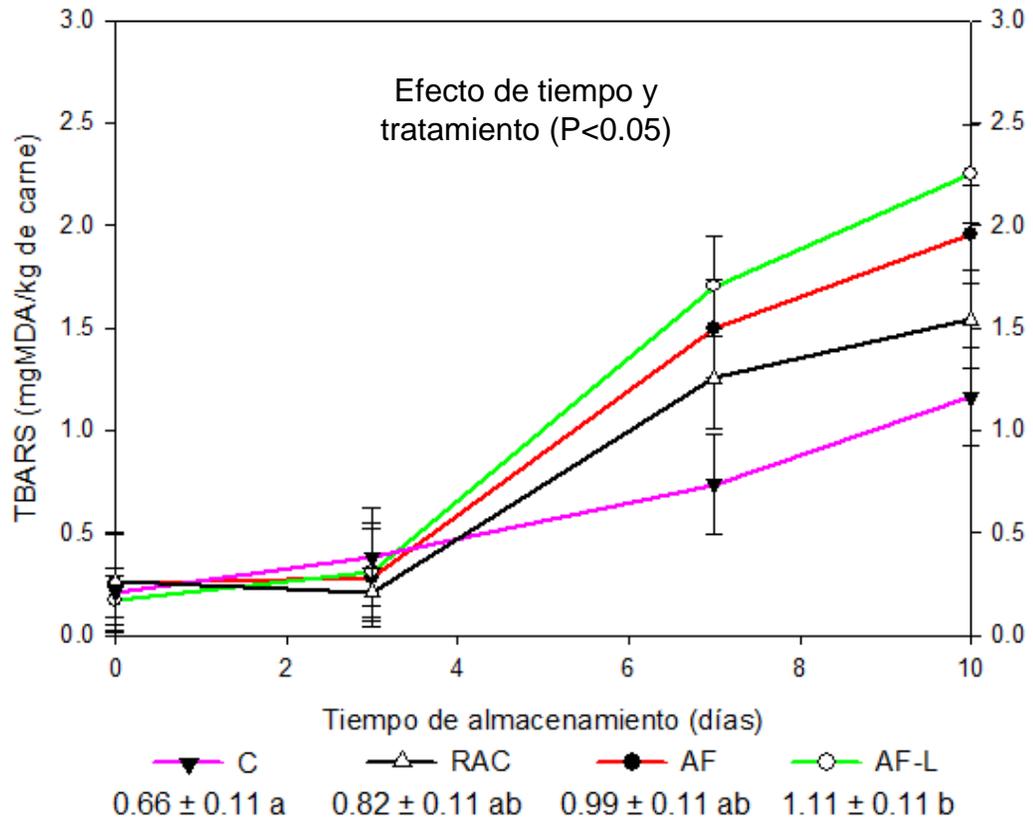


Figura 13. Valor de TBARS en carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. Medias de tratamientos con distinta literal indican diferencia (P<0.05).

almacenamiento, siendo un comportamiento natural de la carne. De manera general al día cero la carne presentó un contenido de 0.22 mg MDA/kg de carne, no obstante durante la vida de anaquel se observó que la carne proveniente del tratamiento Control fue la que presentó una menor ($P < 0.05$) oxidación mientras que la carne de AF-L fue la de mayor oxidación, culminando al día diez con un contenido de 1.17 y 2.25 mg MDA/kg de carne respectivamente. Cabe destacar, que al día 7 de almacenamiento, las concentraciones de MDA en carne de los tratamientos AF y AF-L fueron mayores de 1.4 MDA/kg de carne, concentración a la cual se ha considerado que una carne presenta características de oxidación (Sánchez-Escalante *et al.*, 2011).

Los resultados de oxidación lipídica obtenidos en el presente estudio contrastan con lo reportado en otros estudios con suplementación de fitoquímicos en la dieta de cerdos, por ejemplo romero y ácido cítrico; ácido gálico, verbascosido; y resveratrol, en los que se ha manifestado una reducción ($P < 0.05$) en los niveles de MDA/kg de carne, al igual que un incremento en enzimas antioxidantes como glutatión reductasa (GR), superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GSH-Px), glutatión (GSH) (Ranucci *et al.*, 2015; Rossi *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2015).

La falta de capacidad del AF para proteger la oxidación lipídica de la carne, contrasta con los resultados reportados por Li *et al.* (2015), quienes observaron un incremento en la producción hepática de las enzimas GSH-Px y GSH y una disminución en los niveles de MDA en el músculo LD de manera puntal al suplementar 100 ppm de AF en la dieta de cerdos. Esta falta de habilidad antioxidante de AF en el presente trabajo, puede ser resultado de un mayor contenido (no significativo) de ácidos grasos insaturados en la carne de los tratamientos AF y AF-L en comparación a los grupos Control y RAC, por lo tanto, existiría una mayor susceptibilidad a la oxidación lipídica, a la cual dichas enzimas no son suficientes para mantener un nivel oxidativo adecuado.

Al ser la mioglobina el factor principal de otorgar el color característico a la carne, su contenido se verá reflejado también directamente en la apariencia de la carne. Durante el tiempo de vida de anaquel se observó un incremento ($P < 0.05$) en la formación de metamioglobina en la carne, la cual incrementó a partir del día tres de 61.37% a 69.52% al diez. Sin embargo, no se observó un efecto ($P > 0.05$) por parte de los tratamientos suplementados (Figura 14).

Los resultados obtenidos en el porcentaje de formación de metamioglobina son contrastantes a los hipotetizados, ya que no se observó una actividad antioxidante por parte de ácido ferúlico. Dichos resultados concuerdan con lo obtenido por Haak *et al.* (2008), quienes al suplementar en la dieta de cerdos 40 ppm de un extracto de romero el cual contenía 7.2% de diterpenos polifenólicos y flavonoides, no observaron un efecto significativo en la formación de metamioglobina en la carne comparado respecto al grupo control.

Por otra parte, observando tanto en la Figura 13 y 14, se aprecia una similitud entre sus comportamientos de oxidación a través del tiempo de almacenamiento, en los cuales los tratamientos de AF y AF-L fueron los de mayor oxidación lipídica y la formación de metamioglobina. Esto es debido a que existe una relación entre estos dos estados de oxidación, ya que originan la formación de compuestos químicos que promueven la oxidación entre sí (Faustman *et al.*, 2010).

6.4.2. Análisis Sensorial

La calidad sensorial es un atributo importante para el consumidor, ya que influirá en gran manera en su aceptación o rechazo hacia la carne. Dichos parámetros sensoriales son influidos por propiedades tanto físicas como químicas del alimento, que harán que el consumidor perciba ciertas características a través de sus sentidos.

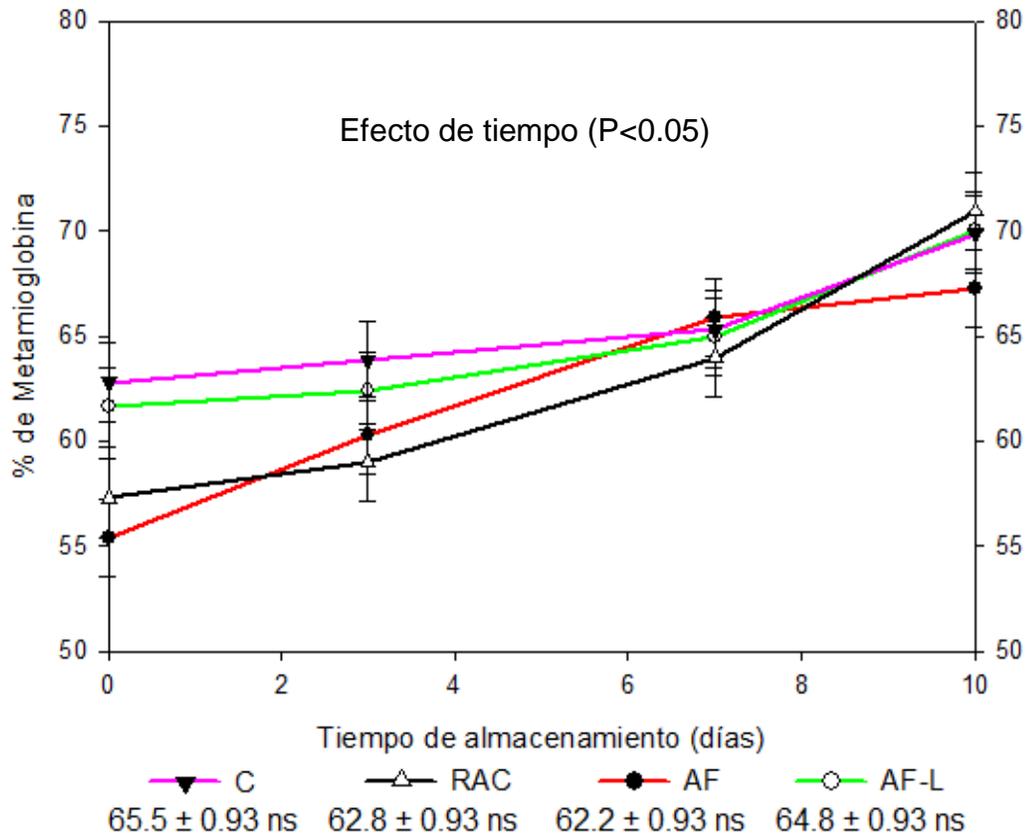


Figura 14. Valor de metamioglobina en carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. ns= No significativo ($P > 0.05$).

Las variables sensoriales pérdida de sabor y olor a fresco se vieron relacionados en gran medida con la oxidación lipídica que presentó la carne. Para la evaluación de la pérdida de sabor, se observó un efecto ($P < 0.05$) de los tratamientos y tiempo de almacenamiento, pero no de su interacción (Figura 15). A través del transcurso de los días se observó una pérdida mayor para los tratamientos de AF con o sin lisina en comparación al grupo Control y RAC, terminando al día diez con una percepción entre ligera y poca pérdida de sabor a carne fresca en cada uno de los tratamientos. Este comportamiento coincide a lo que se observó en la evaluación de TBARS (Figura 13), lo cual indica que el contenido de TBAR fue percibido por parte del panelista.

La pérdida de olor a fresco solamente fue afectada por parte del tiempo de almacenamiento, en cada uno de los tratamientos experimentales se observó una mayor pérdida de olor a fresco en la carne ($P < 0.05$) a través de cada día de muestreo (Figura 16). Al día cero para cada uno de los tratamientos no se observó pérdida de olor a carne fresca, sin embargo al día diez la carne de todos los tratamientos fue percibida con una pérdida de olor entre ligera y poca. Estos cambios percibidos por el panel para la pérdida de sabor y olor a fresco son debido a la presencia de compuestos producidos por la oxidación lipídica tales como acetonas, aldehídos, peróxidos, entre otros.

Se ha reportado que carne fresca con valores de 1.4 mg MDA/kg de carne, ésta presenta rechazos por parte del consumidor al detectar olores y sabores característicos de rancidez (Sánchez-Escalante *et al.*, 2011). En el presente estudio aún cuando a partir del día siete de almacenamiento el contenido de MDA en la carne de los tratamientos RAC, AF y AF-L fue igual o superior a 1.4 mg MDA/kg de carne, éste no se vio reflejado en gran medida sobre la percepción de pérdida de olor y sabor a fresco por parte del panelista. Es importante señalar que al día cero de la prueba de vida de anaquel, el panel evaluador percibió un ligero sabor de acidez en la carne proveniente de los tratamientos AF y AF-L sin ser necesariamente producto de la oxidación sino una característica propiciada por AF.

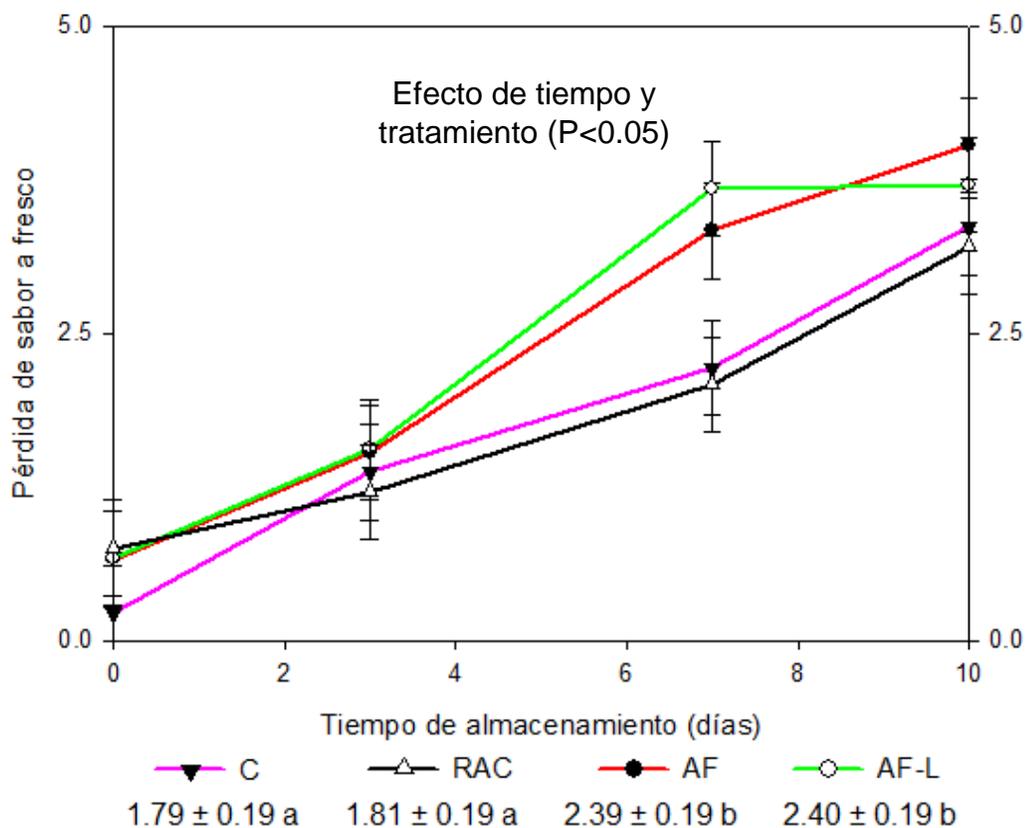


Figura 15. Pérdida de sabor a carne fresca de cerdo cocinada almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

0) Nada; 2.5) Ligero; 5) Poco; 7.5) Moderado; 10) Extremo. C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. Medias de tratamientos con distinta literal indican diferencia ($P < 0.05$).

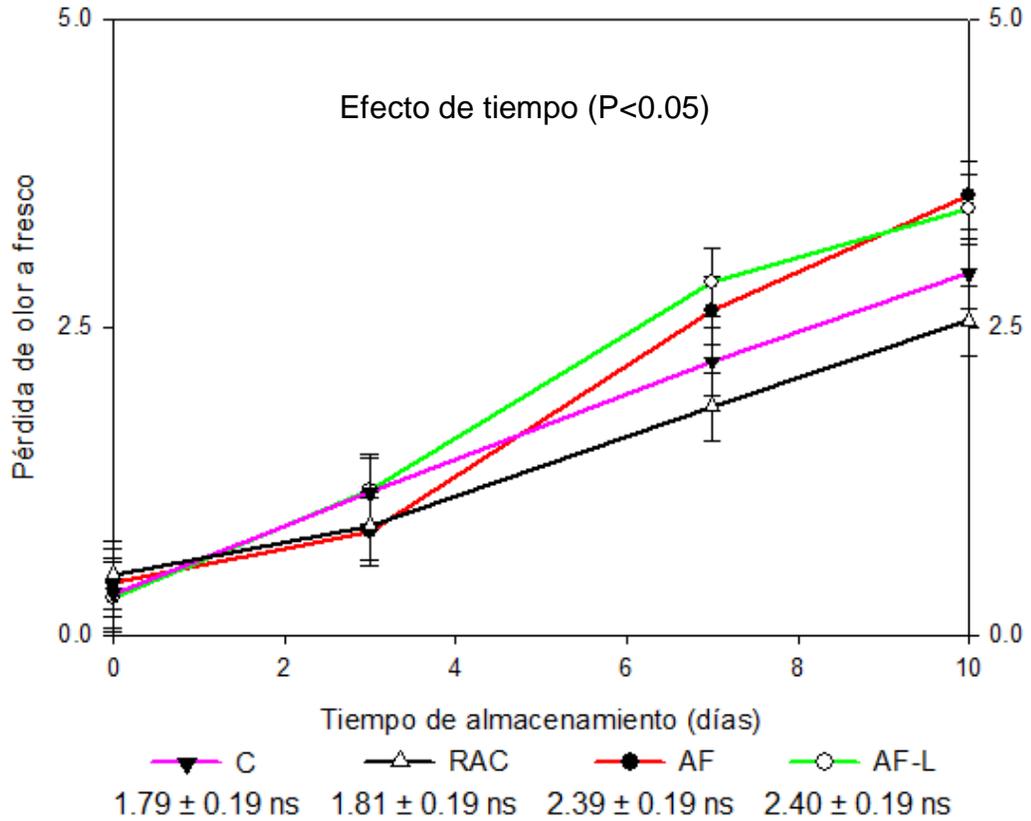


Figura 16. Pérdida de olor a carne fresca de cerdo cocinada almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

0) Nada; 2.5) Ligero; 5) Poco; 7.5) Moderado; 10) Extremo. C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. ns: No significativo (P>0.05).

Los resultados de pérdida de sabor y olor a fresco obtenidos en el presente estudio contrastan con lo reportado en la literatura, donde se ha observado que la suplementación de compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante mejoran estas propiedades observándose una mayor ($P < 0.05$) aceptación por parte del panelista (Kang *et al.*, 2012; Rossi *et al.*, 2013).

El color es uno de los atributos sensoriales más importantes en el alimento, ya que es lo primero en ser apreciado por parte del consumidor y el cual proporcionara una perspectiva de carne fresca. En el presente estudio se observó un efecto ($P < 0.05$) en la variación de color tanto por el tratamiento suplementado en la dieta como por tiempo de almacenamiento (Figura 17), pero no su interacción ($P > 0.05$). Se observó una carne de color inicial cercano al rojo rosado pálido (1.78) en cada uno de los tratamientos, lo cual es explicado por el bajo contenido de oximioglobina en este tipo de carne, el cual fue oscureciendo a través del tiempo, presentándose al día diez una coloración rosa pálido para los tratamientos Control y RAC (con un promedio de 3.42) y rosa pálido grisáceo en los tratamientos AF y AF-L (con un promedio de 4.12).

Al evaluar la decoloración de la carne durante su almacenamiento, los panelistas observaron un incremento de ésta ($P < 0.05$) en el transcurso de la vida de anaquel, sin embargo, la carne se decoloró de manera similar ($P > 0.05$) entre cada uno de los tratamientos. Al día cero no se observó decoloración de la carne, sin embargo ésta incrementó ($P < 0.05$) al día diez al 21 – 60% (Figura 18). Estos resultados presentan un comportamiento similar a lo reportado en la formación de metamioglobina, la cual incrementó al paso de los días, lo que ejerció una pérdida del color rojo rosado, donde dicha decoloración puede ser percibida por la vista del consumidor.

Los resultados obtenidos en el presente estudio contrastan con lo reportado en otras investigaciones, en las cuales se ha observado una disminución en la decoloración de la carne proveniente de animales suplementados con antioxidantes (Kang *et al.*, 2012; Kołodziej-Skalska *et al.*, 2011; Ranucci *et al.*, 2015) y una mejor coloración respecto al Control

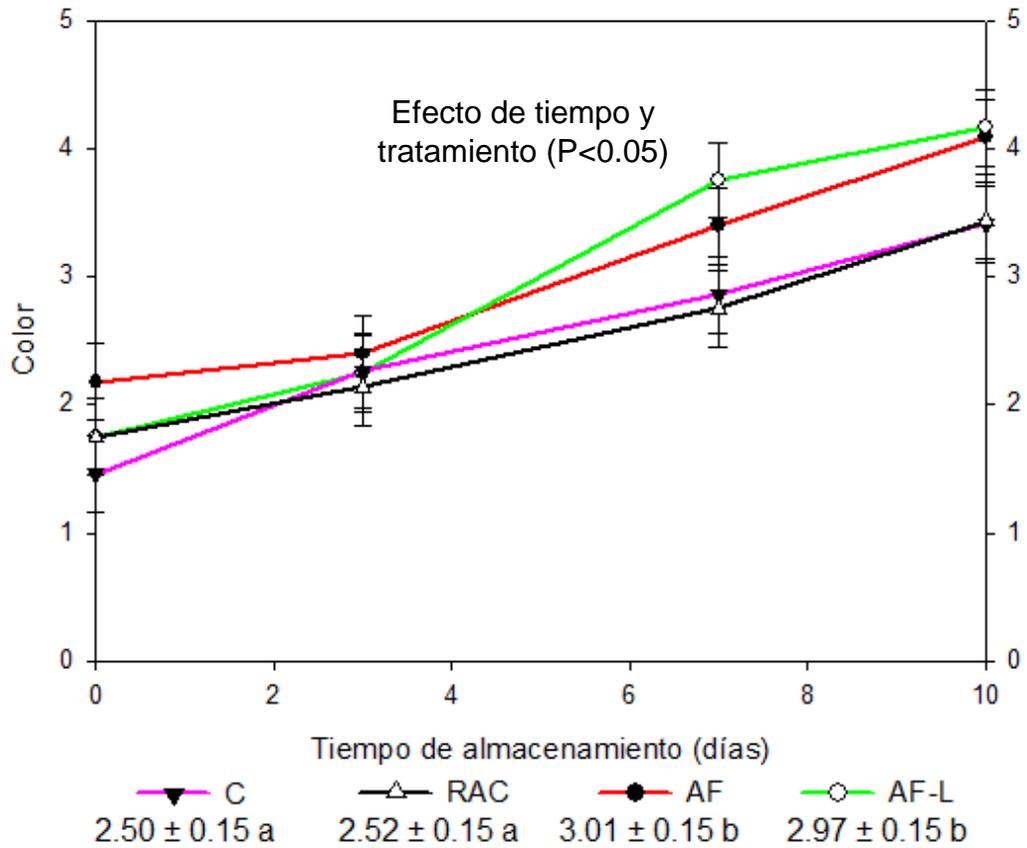


Figura 17. Valor de color sensorial de la carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

1) Rojo rosado; 2) rojo rosado pálido; 3) rosa pálido; 4) rosa pálido grisáceo; 5) Café pálido grisáceo. C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. Medias de tratamientos con distinta literal indican diferencia (P<0.05).

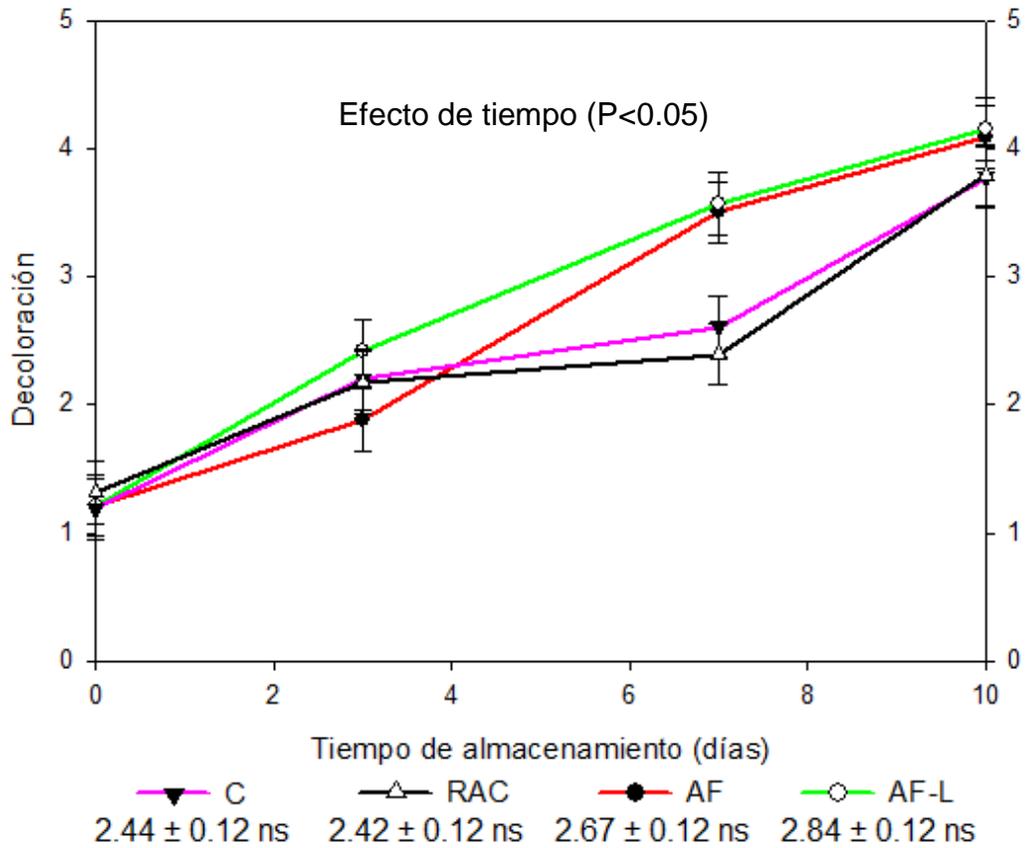


Figura 18. Evaluación sensorial de la decoloración de carne fresca de cerdo almacenada a 4 °C y en presencia de luz.

1) Nada; 2) 1 – 10%; 3) 11 – 20%; 4) 21 – 60%; 5) 61 – 100%. C= Dieta basal (DB); RAC= DB + 10 ppm de RAC + 0.30% de lisina; AF= DB + 10 ppm de ácido ferúlico; AF-L= DB + 10 ppm de AF + 0.30% de lisina. ns= No significativo ($P > 0.05$).

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base a los resultados obtenidos se concluye que la suplementación de 25 ppm de AF/ kg de alimento con o sin una dosis elevada de lisina es capaz de actuar de manera equiparable a un promotor de crecimiento β -AA como lo es RAC. Lo anterior sustentado en que se observó en el comportamiento productivo un incremento ($P>0.05$) en la ganancia diaria de peso del 14.1% y una tendencia a la mejora de la conversión alimenticia de 8.7%; así como el aumentó de 20% del área del ojo de la costilla y una reducción del 49% el espesor de la grasa dorsal de las canales.

Por lo tanto, se propone AF como una posible alternativa natural al uso de RAC, aunado al hecho de no requerirse de una suplementación extra de lisina en la dieta, originando una disminución importante en los costos de alimentación durante la fase final de engorda

Respecto a la capacidad antioxidante, AF no presentó dicha actividad sobre la carne al ser suplementado a través de la dieta de cerdos, lo cual es contrario a lo hipotetizado, ya que AF y AF-L presentaron una menor estabilidad hacia la oxidación respecto al tratamiento Control y RAC durante el almacenamiento.

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que AF presenta una actividad promotora de crecimiento, lo cual conlleva a futuras investigaciones para conocer sobre sus propiedades farmacocinéticas en cerdos, así como sus efectos histológicos en el tejido muscular. Por otra parte, debido al efecto prooxidante observado durante la vida de anaquel, se

recomienda realizar pruebas de alimentación a diferentes concentraciones de AF y una cuantificación de enzimas antioxidantes *in vivo* y en carne.

8. REFERENCIAS

- Acosta, S. D. C. (2006). Respuesta productiva y características de la canal de cerdos alimentados con raciones adicionadas con un micromineral o un promotor de crecimiento. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- AMSA. (1995). Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat American Meat Science Association
- Ao, X., Yan, L., Meng, Q. W., Zhou, T. X., Wang, J. P., Kim, H. J., Cho, J. H. y Kim, I. H. (2011). Effects of Saururus chinensis extract supplementation on growth performance, meat quality and slurry noxious gas emission in finishing pigs. *Livestock Science*, 138(1–3), 187-192.
- AOAC. (1990). Official methods analysis, 15th ed. Washington: B.
- Apple, J. K., Maxwell, C. V., Brown, D. C., Friesen, K. G., Musser, R. E., Johnson, Z. B. y Armstrong, T. A. (2004). Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine. *Journal of Animal Science*, 82(11), 3277-3287.
- Armstrong, T., Ivers, D., Wagner, J., Anderson, D., Weldon, W. y Berg, E. (2004). The effect of dietary ractopamine concentration and duration of feeding on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 82(11), 3245-3253.
- Assan, N. (2014). The significance of genotype and some non genetic factors in influencing productive traits, carcass and meat quality properties in pig production. *Scientific Journal of Animal Science*, 3(7), 184-197.

- Atta, A. H., Shalaby , M. A., Assad , G. F. y Mouneir , S. M. (2013). Effect of butylated hydroxytoluene and ascorbic acid on sodium valproate-induced male reproductive toxicity in rats. *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, 5(2).
- Barbosa, C. E., Silva, C. T. C., Cantarelli, V. S., Zangeronimo, M. G., Sousa, R. V., Garbossa, C. A. P., Amaral, N. O. y Zeviani, W. M. (2012). Ractopamine in diets for finishing pigs of different sexual categories. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(5), 1173-1179.
- Bautista, J. H., López, J. L. A. y Rincón, F. G. R. (2013). Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *Nacameh*, 7(2), 41-64.
- Beermann, D. H. (2002). Beta-Adrenergic receptor agonist modulation of skeletal muscle growth. *Journal of Animal Science*, 80.
- Bendall, J. R. y Swatland, H. J. (1988). A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. *Meat Science*, 24(2), 85-126.
- Blanca, J., Munoz, P., Morgado, M., Méndez, N., Aranda, A., Reuvers, T. y Hooghuis, H. (2005). Determination of clenbuterol, ractopamine and zilpaterol in liver and urine by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 529(1), 199-205.
- Bligh, E. G. y Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917.
- Boles, J. y Pegg , R. (2011). *Meat Color*. University of Saskatchewan, USA.
- Brewer, M. S. (2001). Consumer attitudes towards color and marbling of fresh pork. *Facts: Pork Quality*. National Pork Board, 4520.
- Bridge, K. Y., Smith, C. K. y Young, R. B. (1998). Beta-adrenergic receptor gene expression in bovine skeletal muscle cells in culture. *Journal of Animal Science*, 76(9), 2382-2391.

- Bryhni, E., Ofstad, R. y Hunt, M. C. (2002). Consumer discrimination of rancidity in pork loin chops and pork sausages. *Journal of Food Science*, 67, 3469-3475.
- Carr, S. N., Hamilton, D. N., Miller, K. D., Schroeder, A. L., Fernández-Dueñas, D., Killefer, J., Ellis, M. y McKeith, F. K. (2009). The effect of ractopamine hydrochloride (Paylean®) on lean carcass yields and pork quality characteristics of heavy pigs fed normal and amino acid fortified diets. *Meat Science*, 81(3), 533-539.
- Cassens, R., Demeyer, D., Eikelenboom, G., Honikel, K., Johansson, G., Nielsen, T., Rennerre, M., Richardson, I. y Sakata, R. (1995). Recommendation of reference methods for meat color (Vol. 41). San Antonio, USA.
- Cullen, S., Monahan, F. J., Callan, J. y O'doherty, J. (2005). The effect of dietary garlic and rosemary on grower-finisher pig performance and sensory characteristics of pork. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 57-67.
- D'Agata, M., Preziuso, G., Russo, C. y Gatta, D. (2009). Oxidation and antioxidant status: effects on shelf-life of meat from Limousine cattle fed with supplements of α -tocopherol. *Italian Journal of Animal Science*, 8(3), 405-415.
- Dávila-Ramírez, J. L., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Torrentera-Olivera, N. G., Zamorano-García, L., Peña-Ramos, A. y González-Ríos, H. (2013). Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on physicochemical and sensory characteristics of meat from hair lambs. *Small Ruminant Research*, 114(2), 253-257.
- Department of Health. (1994). Report on Health Social Subjects No.46 Nutritional aspects of cardiovascular disease. (HMSO: London).
- Dikeman, M. E. (2007). Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Science*, 77(1), 121-135.
- Domínguez, V. I. A., Mondragón, A. J., Ronquillo, M. G., Salazar, G. F., Bórquez, G. J. L. y Aragón, M. A. (2009). Los β -agonistas adrenérgicos como modificadores

metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una revisión. *CIENCIA ergo-sum*, 16(3), 278-284.

Dunshea, F. R., D'Souza, D. N., Pethick, D. W., Harper, G. S. y Warner, R. D. (2005). Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science*, 71(1), 8-38.

Elam, N. A., Vasconcelos, J. T., Hilton, G., VanOverbeke, D. L., Lawrence, T. E., Montgomery, T. H., Nichols, W. T., Streeter, M. N., Hutcheson, J. P., Yates, D. A. y Galyean, M. L. (2009). Effect of zilpaterol hydrochloride duration of feeding on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 87(6), 2133-2141.

Engeseth, N. J., Lee, K. O., Bergen, W. G., Helferich, W. G., Knudson, B. K. y Merkel, R. A. (1992). Fatty acid profiles of lipid depots and cholesterol concentration in muscle tissue of finishing pigs fed ractopamine. *Journal of Food Science*, 57(5), 1060-1062.

Fajardo, Z. Á. L., Méndez, C., Francy J y Molina, L. H. (2011). Residuos de fármacos anabolizantes en carnes destinadas al consumo humano. *Universitas Scientiarum*, 16(1), 77-91.

FAO. (2014). Consumo de Carne Retrieved 06 de mayo, 2015, from <http://www.fao.org/Ag/againfo/themes/es/meat/background.html>

Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R. y Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86(1), 86-94.

García, C. R. F., Malacara, Á. O. E., Salinas, C. J., Torres, H. M., Fuentes, R. J. M. y Kawas, G. J. R. (2010). Efecto de la suplementación de lisina sobre la ganancia de peso y características cárnicas y de la canal en cerdos en iniciación. *Revista Científica*, 20(001).

- González, E. y Tejeda, J. F. (2007). Effects of dietary incorporation of different antioxidant extracts and free-range rearing on fatty acid composition and lipid oxidation of Iberian pig meat. *Animal*, 1(07), 1060-1067.
- González, J. M., Johnson, S. E., Stelzleni, A. M., Thrift, T. A., Savell, J. D., Warnock, T. M. y Johnson, D. D. (2010). Effect of ractopamine–HCl supplementation for 28 days on carcass characteristics, muscle fiber morphometrics, and whole muscle yields of six distinct muscles of the loin and round. *Meat Science*, 85(3), 379-384.
- Gupta, S. y Abu-Ghannam, N. (2011). Recent developments in the application of seaweeds or seaweed extracts as a means for enhancing the safety and quality attributes of foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(4), 600-609.
- Haak, L., Raes, K., Van Dyck, S. y De Smet, S. (2008). Effect of dietary rosemary and α -tocopheryl acetate on the oxidative stability of raw and cooked pork following oxidized linseed oil administration. *Meat Science*, 78(3), 239-247.
- Hanczakowska, E., Świątkiewicz, M. y Grela, E. R. (2015). Effect of dietary inclusion of a herbal extract mixture and different oils on pig performance and meat quality. *Meat Science*, 108, 61-66.
- Hayes, J., Stepanyan, V., Allen, P., O'Grady, M. y Kerry, J. (2011). Evaluation of the effects of selected plant-derived nutraceuticals on the quality and shelf-life stability of raw and cooked pork sausages. *LWT-Food Science and Technology*, 44(1), 164-172.
- Hernández, A. E. (2005). Evaluación sensorial (Vol. 1ra). Bogota, Colombia.
- Hernández, A. R. (2013). Evaluación de la capacidad antioxidante y antibacteriana de ácido ferúlico y ferulato de etilo en carne fresca de res. Maestría en Ciencia, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora.

- Herr, C., Schinckel, A., Watkins, L., Weldon, B. y Richert, B. (2001). Optimal Paylean sequence (step-up/step-down) when fed to late-finishing swine. *Purdue Swine Research Reports* 2001, 35-48.
- Herrera, R. H., Castillo, M. L. A. y Torres, A. J. A. (2011). Methods to accelerate muscle development, decrease fat deposits, and enhance feeding efficiency in pigs: Google Patents.
- Hinson, R., Wiegand, B., Ritter, M., Allee, G. y Carr, S. (2011). Impact of dietary energy level and ractopamine on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 89(11), 3572-3579.
- Jacela, J. Y., DeRouchey, J. M. y Tokach, M. D. (2010). Feed additives for swine: Fact sheets – prebiotics and probiotics, and phytogenics. *Journal of Swine Health and Production*, 18(3), 132-136.
- Jiménez, C. I. E., Martínez, E. Y. C. y Fonseca, J. G. (2009). Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Rev Fac Med UNAM*, 52(2).
- Jin, S. M., W. Rico, C., Hyun Nam, S. y Young Kang, M. (2010). Influence of Oryzanol and Ferulic Acid on the Lipid Metabolism and Antioxidative Status in High Fat-Fed Mice. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 46(2), 150-156.
- Joassard, O. R., Durieux, A.-C. y Freyssenet, D. G. (2013). β 2-Adrenergic agonists and the treatment of skeletal muscle wasting disorders. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 45(10), 2309-2321.
- Johnson, B. J., Smith, S. B. y Chung, K. Y. (2014). Historical overview of the effect of beta-adrenergic agonists on beef cattle production. *Asian-Australas Journal Animal Science*, 27(5), 757-766.
- Jones, S., Robertson, W. y Talbot, S. (1992). Marbling standards for beef and pork. Agriculture and Agri-Food Canada Pub.
- Kang, S. N., Chu, G. M., Song, Y. M., Jin, S. K., Hwang, I. H. y Kim, I. S. (2012). The effects of replacement of antibiotics with by-products of oriental medicinal plants

- on growth performance and meat qualities in fattening pigs. *Journal Animal Science* 83(3), 245-251.
- Karamucki, T., Jakubowska, M., Rybarczyk, A. y Gardzielewska, J. (2013). The influence of myoglobin on the colour of minced pork loin. *Meat Science*, 94(2), 234-238.
- Kennedy, A., Martinez, K., Chuang, C.-C., LaPoint, K. y McIntosh, M. (2009). Saturated fatty acid-mediated inflammation and insulin resistance in adipose tissue: mechanisms of action and implications. *The Journal of nutrition*, 139(1), 1-4.
- Kerry, J. P. y Ledward, D. (2009). *Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat*: Woodhead Publishing.
- Kołodziej-Skalska, A., Rybarczyk, A., Matysiak, B., Jacyno, E., Pietruszka, A. y Kawęcka, M. (2011). Effect of dietary plant extracts mixture on pork meat quality. *Animal Science*, 61(2), 80-85.
- Koohmaraie, M. y Geesink, G. H. (2006). Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, 74(1), 34-43.
- Kumar, N. y Pruthi, V. (2014). Potential applications of ferulic acid from natural sources. *Biotechnology Reports*, 4, 86-93.
- Lahucky, R., Nuernberg, K., Kovac, L., Bucko, O. y Nuernberg, G. (2010). Assessment of the antioxidant potential of selected plant extracts – In vitro and in vivo experiments on pork. *Meat Science*, 85(4), 779-784.
- Lametsch, R., Roepstorff, P. y Bendixen, E. (2002). Identification of Protein Degradation during Post-mortem Storage of Pig Meat. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(20), 5508-5512.
- Lebret, B. (2007). Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass traits and meat quality in pigs. Paper presented at the 6th International Symposium on the Mediterranean Pig.

- Leick, C., Puls, C., Ellis, M., Killefer, J., Carr, T., Scramlin, S., England, M., Gaines, A., Wolter, B. y Carr, S. (2010). Effect of distillers dried grains with solubles and ractopamine (Paylean) on quality and shelf-life of fresh pork and bacon. *Journal of Animal Science*, 88(8), 2751-2766.
- Li , H., Gariépy, C., Jin, Y., Font, I. F. M., Fortin, J., Rocha, L. M. y Faucitano, L. (2015). Effects of ractopamine administration and castration method on muscle fiber characteristics and sensory quality of the longissimus muscle in two Pietrain pig genotypes. *Meat Science*, 102, 27-34.
- Li, Y., Li, L., Li, J., Zhang, L., Gao, F. y Zhou, G. (2015). Effects of dietary supplementation with ferulic acid or vitamin E individually or in combination on meat quality and antioxidant capacity of finishing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(3), 374.
- Lin, K.-C., Hong, C.-P. y Chen, S.-M. (2013). Simultaneous determination for toxic ractopamine and salbutamol in pork sample using hybrid carbon nanotubes. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 177, 428-436.
- López, H. L. H., Braña, V. D. y Hernández, H. I. (2013). Estimación de la vida de anaquel de la carne. Queretaro, México
- Macías, C. U., Perard , S., Vicente , R., Álvarez , F., Torrentera, O. N. G., González, R. H., Soto, N. S. A., Rojo , R., Meza, H. C. A. y Avendaño, R. L. (2014). Effects of free ferulic acid on productive performance, blood metabolites, and carcass characteristics of feedlot finishing ewe lambs. *Journal of Animal Science*, 92(12), 5762-5768.
- Martín, J. M. P., Freire, P. F., Daimiel, L., Martínez-Botas, J., Sánchez, C. M., Lasunción, M. Á., Peropadre, A. y Hazen, M. J. (2014). The antioxidant butylated hydroxyanisole potentiates the toxic effects of propylparaben in cultured mammalian cells. *Food and Chemical Toxicology*, 72, 195-203.
- Morales, A., García, H., Arce, N., Cota, M., Zijlstra, R. T., Araiza, B. A. y Cervantes, M. (2015). Effect of L-lysine on expression of selected genes, serum concentration

- of amino acids, muscle growth and performance of growing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(4), 701-709. doi: 10.1111/jpn.12267
- Moroney, N., O'Grady, M., O'Doherty, J. y Kerry, J. (2012). Addition of seaweed (*Laminaria digitata*) extracts containing laminarin and fucoidan to porcine diets: Influence on the quality and shelf-life of fresh pork. *Meat Science*, 92(4), 423-429.
- Moroney , N. C., O'Grady, M. N., Robertson, R. C., Stanton, C., O'Doherty, J. V. y Kerry, J. P. (2015). Influence of level and duration of feeding polysaccharide (laminarin and fucoidan) extracts from brown seaweed (*Laminaria digitata*) on quality indices of fresh pork. *Meat Science*, 99, 132-141.
- Mukumbo, F., Maphosa, V., Hugo, A., Nkukwana, T., Mabusela, T. y Muchenje, V. (2015). Effect of *Moringa oleifera* leaf meal on finisher pig growth performance, meat quality, shelf life and fatty acid composition of pork. *South African Journal of Animal Science*, 44(4), 388-400.
- Navarrete, P. J. R. (2012). Panorama Agroalimentario Carne de Porcino 2012. FIRA, 1-22.
- NOM-033-ZOO-1995. (1995). Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestre.
- NOM-051-ZOO-1995. (1995). Trato humanitario en la movilización de animales. México.
- NPPC. (1998). Pork quality targets. Des Moines, IA.
- NRC. (1998). Nutrient requirements of swine: National Academy of Sciences-National Research Council Washington, DC.
- Oliveira Junior, S. A., Padovani, C. R., Rodrigues, S. A., Silva, N. R., Martinez, P. F., Campos, D. H. S., Okoshi, M. P., Okoshi, K., Dal-Pai, M. y Cicogna, A. C. (2013). Extensive impact of saturated fatty acids on metabolic and cardiovascular profile in rats with diet-induced obesity: a canonical analysis. *Cardiovascular Diabetology*, 12, 65-65.

- Paiva, L. B. d., Goldbeck, R., Santos, W. D. d. y Squina, F. M. (2013). Ferulic acid and derivatives: molecules with potential application in the pharmaceutical field. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), 395-411.
- Panicker, V. P., George, S. y Krishna, D. (2014). Toxicity study of butylated hydroxy toluene (BHT) in rats.
- Park, P. y Goins, R. (1994). In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. *Journal of Food Science*, 59(6), 1262-1266.
- Peña, T. E. F. (2014). Efecto de la suplementación de ácido ferúlico y ferulato de etilo en el comportamiento productivo y la calidad de la carne de bovinos. Maestría en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México.
- Pérez, A., Obispo, N. E., Palma, J. y Chicco, C. F. (2005). Efectos de la ractopamina y el nivel de lisina sobre la respuesta productiva de cerdos magros en la fase de engorde. *Zootecnia Trop*, 23(4), 429-445.
- Pfalzgraf, A., Frigg, M. y Steinhart, H. (1995). Alpha-tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(5), 1339-1342.
- Platt, J. P., Anderson, M. J. y Johnson, B. J. (2012). The effect of ferulic acid on myogenic regulator or growth in bovine satellite cells. Texas Tech University.
- Pollorena, G. (2012). Capacidad antioxidante y antimicrobiana de extractos de hojas de *Agave agustifolia* Haw y su efecto sobre la calidad de hamburguesas de res. Maestría en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo México.
- Price, Nathan L., Gomes, Ana P., Ling, Alvin J. Y., Duarte, Filipe V., Martin-Montalvo, A., North, Brian J., Agarwal, B., Ye, L., Ramadori, G., Teodoro, Joao S., Hubbard, Basil P., Varela, Ana T., Davis, James G., Varamini, B., Hafner, A., Moaddel, R., Rolo, Anabela P., Coppari, R., Palmeira, Carlos M., de Cabo, R., Baur, Joseph A. y Sinclair, David A. (2012). SIRT1 is required for AMPK

activation and the beneficial effects of resveratrol on mitochondrial function. *Cell Metabolism*, 15(5), 675-690.

Ranucci , D., Beghelli, D., Trabalza-Marinucci, M., Branciarri, R., Forte, C., Olivieri, O., Badillo Pazmay, G. V., Cavallucci, C. y Acuti, G. (2015). Dietary effects of a mix derived from oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil and sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood extract on pig performance, oxidative status and pork quality traits. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Meat Science*, 100, 319-326.

Rikard, B. C., Curtis , M. A., van, B., R. J., Mullan , B. P., Edwards , A. C., Gannon , N. J., Henman , D. J., Hughes , P. E. y Dunshea , F. R. (2009). Ractopamine hydrochloride improves growth performance and carcass composition in immunocastrated boars, intact boars, and gilts. *Journal of Animal Science*, 87(11), 3536-3543.

Rivera, F. M., Aguilera , J. y Nieto , R. (2005). Muscle fractional protein synthesis is higher in Iberian than in Landrace growing pigs fed adequate or lysine-deficient diets. *The Journal of nutrition*, 135(3), 469-478.

Rosenvold, K. y Andersen, H. J. (2003). Factors of significance for pork quality—a review. *Meat science*, 64(3), 219-237.

Rossi, R., Pastorelli, G., Cannata, S., Tavaniello, S., Maiorano, G. y Corino, C. (2013). Effect of long term dietary supplementation with plant extract on carcass characteristics meat quality and oxidative stability in pork. *Meat Science*, 95(3), 542-548.

Rossi, R., Ratti, S., Pastorelli, G., Crotti, A. y Corino, C. (2014). The effect of dietary vitamin E and verbascoside on meat quality and oxidative stability of Longissimus Dorsi muscle in medium-heavy pigs. *Food Research International*, 65, Part A, 88-94.

SAGARPA. (2014). Crece consumo per cápita de carne de cerdo: Confederación de Porcicultores Mexicanos Retrieved 06 de mayo, 2015, from <http://sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B942.aspx>

- Saintilan, R., Mérour, I., Schwob, S., Sellier, P., Bidanel, J. y Gilbert, H. (2011). Genetic parameters and halothane genotype effect for residual feed intake in Piétrain growing pigs. *Livestock Science*, 142(1), 203-209.
- Sánchez-Escalante, A., Torrescano, G., Djenane, D., Beltrán, J. A., Giménez, B. y Roncalés, P. (2011). Effect of antioxidants and lighting conditions on color and lipid stability of beef patties packaged in high-oxygen modified atmosphere. Efecto de los antioxidantes y las condiciones de iluminación sobre el color y la estabilidad de los lípidos de hamburguesas de res envasadas en atmósfera modificada alta en oxígeno. *CyTA-Journal of Food*, 9(1), 49-57.
- Seo, J., Kim, H.-Y., Chung, B. C. y Hong, J. (2005). Simultaneous determination of anabolic steroids and synthetic hormones in meat by freezing-lipid filtration, solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1067(1–2), 303-309.
- Shan, B., Cai, Y. Z., Brooks, J. D. y Corke, H. (2009). Antibacterial and antioxidant effects of five spice and herb extracts as natural preservatives of raw pork. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(11), 1879-1885.
- Shi, H., Zeng, C., Ricome, A., Hannon, K., Grant, A. y Gerrard, D. (2007). Extracellular signal-regulated kinase pathway is differentially involved in β -agonist-induced hypertrophy in slow and fast muscles. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 292(5), C1681-C1689.
- Škrlep, M. y Čandek-Potokar, M. (2007). Pork color measurement as affected by bloom time and measurement location. *Journal of Muscle Foods*, 18(1), 78-87.
- Stewart, M. R., Zipser, M. W. y Watts, B. M. (1965). The use of reflectance spectrophotometry for the assay of raw meat pigments. *Journal of Food Science*, 30(3), 464-469.
- Strydom, P. E., Frylinck, L., Montgomery, J. L. y Smith, M. F. (2009). The comparison of three β -agonists for growth performance, carcass characteristics and meat quality of feedlot cattle. *Meat Science*, 81(3), 557-564.

- Sutton, D., Ellis, M., Lan, Y., McKeith, F. y Wilson, E. (1997). Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *Meat Science*, 46(2), 173-180.
- Takahashi, H., Kashimura, M., Koiso, H., Kuda, T. y Kimura, B. (2013). Use of ferulic acid as a novel candidate of growth inhibiting agent against *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat food. *Food Control*, 33(1), 244-248.
- Takahashi, H., Takada, K., Tsuchiya, T., Miya, S., Kuda, T. y Kimura, B. (2015). *Listeria monocytogenes* develops no resistance to ferulic acid after exposure to low concentrations. *Food Control*, 47, 560-563.
- Talbot, G. (2011). *Reducing Saturated Fats in Foods*: Woodhead Publishing.
- Tikk, K. (2007). The influence of feeding and aging on pork quality. Doctoral, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sueciae.
- Van Hung, P., Phat, N. H. y Phi, N. T. L. (2013). Physicochemical properties and antioxidant capacity of debranched starch–ferulic acid complexes. *Starch-Stärke*, 65(5-6), 382-389.
- Watkins, L., Jones, D., Mowrey, D., Anderson, D. y Veenhuizen, E. (1990). The effect of various levels of ractopamine hydrochloride on the performance and carcass characteristics of finishing swine. *Journal of Animal Science*, 68(11), 3588-3595.
- Wiegand, B. R., Hinson, R. B., Ritter, M. J., Carr, S. N. y Allee, G. L. (2011). Fatty acid profiles and iodine value correlations between 4 carcass fat depots from pigs fed varied combinations of ractopamine and energy. *Journal of animal science*, 89(11), 3580-3586. doi: 10.2527/jas.2010-3303
- Williams, N., Cline, T., Schinckel, A. y Jones, D. (1994). The impact of ractopamine, energy intake, and dietary fat on finisher pig growth performance and carcass merit. *Journal of Animal Science*, 72(12), 3152-3162.
- Wisner, P. J. (1959). QUALITY OF PORK IN RELATION TO RATE OF pH CHANGE POST MORTEM. *Journal of Food Science*, 24(6), 711-727. doi: 10.1111/j.1365-2621.1959.tb17325.x

- Wood, J., Enser, M., Fisher, A., Nute, G., Sheard, P., Richardson, R., Hughes, S. y Whittington, F. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), 343-358.
- Xiao, R.-J., Xu, Z.-R. y Chen, H.-L. (1999). Effects of ractopamine at different dietary protein levels on growth performance and carcass characteristics in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 79(1–2), 119-127.
- Yan, L. y Kim, I. H. (2012). Effect of Eugenol and Cinnamaldehyde on the Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Characteristics, Fecal Microbial Shedding and Fecal Noxious Gas Content in Growing Pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(8), 1178-1183. doi: 10.5713/ajas.2012.12111
- Yan, L., Meng, Q. W. y Kim, I. H. (2011). The effect of an herb extract mixture on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics and fecal noxious gas content in growing pigs. *Livestock Science*, 141(2–3), 143-147.
- Zhang, C., Luo, J., Yu, B., Zheng, P., Huang, Z., Mao, X., He, J., Yu, J., Chen, J. y Chen, D. (2015). Dietary resveratrol supplementation improves meat quality of finishing pigs through changing muscle fiber characteristics and antioxidative status. *Meat science*, 102, 15-21.
- Zhao, Z. y Moghadasian, M. H. (2008). Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: A review. *Food Chemistry*, 109(4), 691-702.

9. Anexos

ANALISIS SENSORIAL DE CARNE DE PUERCO

Nombre: _____ Fecha: _____ **I 41**

INSTRUCCIONES: Marque con una X la escala que le asigne en cada una de las muestras de acuerdo a la intensidad de percepción. Pruebe galleta y consuma agua antes de probar cada una de ellas.

Pérdida de Olor a fresco

0 2.5 5 7.5 10
 Nada Ligero Poco Moderado Extremo

Pérdida de Sabor a fresco

0 2.5 5 7.5 10
 Nada Ligero Poco Moderado Extremo

Observaciones y/o Comentarios _____

Gracias Por Su Participación

ANALISIS SENSORIAL DE CARNE DE PUERCO

Nombre: _____ Fecha: _____ **R37**

INSTRUCCIONES: Marque con una X la de acuerdo a la calificación que le otorgue

Color	Decoloración
Rojo rosado _____	1: Nada _____
Rojo rosado pálido _____	2: 1-10% _____
Rosa pálido _____	3: 11-20% _____
Rosa pálido grisáceo _____	4: 21-60% _____
Café pálido grisáceo _____	5: 61-100% _____

Observaciones y/o Comentarios _____

Gracias Por Su Participación

1