

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



**EFFECTO DEL ÁCIDO FERÚLICO SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO
Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN CORDERAS DE PELO**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA

SAMANTHA PÉRARD

DIRECTOR DE TESIS

DR. ULISES MACÍAS CRUZ

MEXICALI, B.C. MÉXICO

FEBRERO DE 2016

La presente tesis **“EFECTO DEL ÁCIDO FERÚLICO SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN CORDERAS DE PELO”** realizada por **C. Samantha Pérard**, y dirigida por el **Dr. Ulises Macías Cruz**, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Sistemas de Producción Animal

CONSEJO PARTICULAR

Dr. Ulises Macías Cruz
Director de Tesis

Dr. Leonel Avendaño Reyes
Secretario

Dr. Abelardo Correa Calderón
Sinodal

M.C. Francisco Daniel Álvarez Valenzuela
Sinodal

Dra. Noemí Torrentera Olivera
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios en especial por darme la sabiduría y la inteligencia para poder lograr esta meta, gracias le doy a Él por la compañía y por derramar su bendición sobre mi vida durante todo este proceso.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California, al Instituto de Ciencias Agrícolas por haberme permitido formar parte de esta gran comunidad estudiantil. A CONACYT por brindarme el apoyo financiero necesario para mis estudios.

A Dr. Ulises Macías Cruz, quien ha decidido confiar en mí para ofrecerme la oportunidad de trabajar con él. Muchas gracias Dr. por estos dos años de formación, experiencias y conocimientos. Gracias por ser el asesor principal de mi tesis.

A mis asesores secundarios, Dr. Avendaño, Dr. Correa, Profesor Daniel y Dra. Noemí. Gracias a cada uno y una de ustedes por formar parte de este gran logro. También agradezco a cada profesor del ICA quien ha sido parte de mi formación académica.

A la familia Atwell y Molina, le agradezco mucho por apoyar parte de mis estudios.

A mis compañeras y compañeros, Yolanda, Miguel Ángel, Ángel, Ricardo, Arnulfo, Keyla, Fabiola. Gracias cada uno y cada una por sus apoyos y por ser parte de mi logro.

DEDICATORIAS

A Dios, quien en todo momento ha estado allí para escuchar mis oraciones.

A mi madre Magalie Facile, quien por sus oraciones y sus consejos me ha ayudado madurar y ser fuerte, valiente y capaz de enfrentar y vencer cualquier obstáculo que se han presentado en mi camino.

A mi querido esposo Bill Henry Gutiérrez N., quien ha estado conmigo todo el tiempo para apoyarme con sus oraciones, amor y sus consejos. A mi hijo Bradley quien ha puesto en mí el motivo de aprender a luchar para lograr mis objetivos. Los amo mucho.

A Luther Atwell y su esposa Lolita, por apoyar parte de esta meta.

ÍNDICE TEMÁTICO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIOS	iv
ÍNDICE TEMÁTICO	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	viii
ÍNDICE DE FIGURA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Producción de ovinos en México.....	3
2.2. Uso de promotores de crecimiento en la engorda.....	5
2.3. Uso de antioxidantes como promotores de crecimiento.....	7
2.4. Ácido ferúlico.....	11
2.4.1. Origen y obtención.....	11
2.4.2. Composición química.....	14
2.4.3. Mecanismos de acción.....	15
2.4.4. Efecto sobre metabolismo animal.....	16
2.4.5. Efecto sobre cinética ruminal.....	18
2.4.6. Ácido ferúlico en la alimentación de ovinos.....	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Localización del estudio.....	22

3.2. Animales, manejo y tratamientos.....	22
3.3. Prueba de comportamiento en corral.....	24
3.4. Características de la canal.....	25
3.5. Medición de metabolitos sanguíneo.....	27
3.6. Análisis estadístico.....	27
4. RESULTADOS.....	28
4.1. Prueba de comportamiento.....	28
4.2. Características de la canal.....	29
4.3. Metabolitos sanguíneos.....	32
5. DISCUSIÓN.....	35
5.1. Prueba de comportamiento.....	35
5.2. Características de la canal.....	37
5.3. Metabolitos sanguíneos.....	38
6. CONCLUSIONES.....	41
7. LITERATURA CITADA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de la dieta proporcionada a las corderas suplementadas o no con ácido ferúlico.....	24
Cuadro 2. Prueba de comportamiento productivo de corderas suplementadas y no con el ácido ferúlico.....	29
Cuadro 3. Características de la canal de corderas suplementadas y no con el ácido ferúlico.....	30
Cuadro 4. Componentes no cárnicos de la canal en corderas suplementadas y no con el ácido ferúlico.....	31
Cuadro 5. Rendimiento de cortes mayores de corderas suplementadas y no suplementadas con ácido ferúlico.....	32

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Efecto de suplementación del ácido ferúlico y días de alimentación sobre los niveles de proteína total y urea en suero sanguíneo de corderas.....	33
Gráfica 2. Efecto de suplementación del ácido ferúlico y días de alimentación sobre los niveles de glucosa, colesterol y triglicéridos en suero sanguíneo de corderas.....	34

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Estructura química del ácido ferúlico.....	15
---	----

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación del ácido ferúlico (AF) sobre el comportamiento productivo, concentraciones de metabolitos sanguíneos y características de la canal en corderas finalizadas en corral. Veinte corderas Dorper × Pelibuey (PV= 28.5 ± 0.5 kg; edad \bar{x} 5 meses) fueron distribuidas en corraletas individuales bajo un diseño de bloques completos al azar a los tratamientos (n= 10), (peso inicial = factor de bloqueo). Los tratamientos consistieron en suplementar una dieta basal con 0 (testigo) ó 300 mg de AF/d. La alimentación en corral de las corderas duró 34 d y posteriormente se sacrificaron. El AF no afectó ($P \geq 0.16$) la ganancia de peso total (GPT), la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo de materia seca (CMS) y la eficiencia alimenticia (EA) durante los primeros 17 d; pero la GPT y la GDP tendieron ($P = 0.10$) a disminuir por efecto del AF entre el d 18 y 34 sin afectar ($P \geq 0.16$) el CMS y la EA. Las características de la canal, los componentes no cárnicos, el rendimiento de cortes mayores, concentraciones séricas de glucosa, colesterol, triglicéridos, proteínas totales y urea no fueron afectados ($P > 0.05$) por el AF en los días 1, 17 y 34 del período de prueba. El peso del estómago tuvo una tendencia a disminuir ($P = 0.08$) y el rendimiento de piernas a incrementar ($P = 0.02$). Bajo las condiciones de este experimento, se concluye que la suplementación con AF no mejora el comportamiento productivo, el estado metabólico y las características de la canal de corderas.

Palabras claves: Tasa de crecimiento, ovinos de pelo, compuesto fenólicos, cortes primarios.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate effects of free ferulic acid (FA) supplementation on productive performance, some blood metabolite concentrations, and carcass characteristics of ewe lambs finished in feedlot. Dorper × Pelibuey ewe lambs ($n = 20$; body weight [BW] = 28.5 ± 0.5 kg; age = 5 mo) were individually housed in pens and assigned under a randomized complete block design to the following dietary treatments ($n = 10$): daily feeding without (control) or with 300 mg of FA/ animal. The feedlot feeding period lasted 34 d and then all ewe lambs were slaughtered. Free FA did not affect ($P \geq 0.16$) BW gain, weight daily gain (ADG), dry matter intake (DMI) neither feed efficiency (G:F) during the first 17 d, but BW gain and ADG tended ($P = 0.10$) to decrease by FA effect from d 17 to 34 and from d 1 to 34 without affecting ($P \geq 0.16$) DMI and G:F in ewe lambs. Serum concentrations of glucose, cholesterol, triglyceride, total protein, and urea were not affected ($P > 0.05$) by FA at d 1, 17, and 34 of the feeding period. Carcass characteristics were not affected ($P > 0.05$) by FA. Stomach percentage tended ($P = 0.08$) to decrease and leg yield to increase ($P = 0.02$) for FA effect. Other noncarcass components and wholesale cut yields were not affected ($P > 0.10$) by FA effect. In conclusion, FA supplementation in the feedlot finishing diet did not improved productive performance, metabolic status, not carcass characteristics of ewe lambs.

Keywords: Growth rate, sheep hair, phenolic compounds, wholesale cut

1. INTRODUCCIÓN

El ácido ferúlico (AF) es un ácido hidroxicinámico clasificado como un componente fenólico, el cual se encuentra principalmente en las paredes celulares de plantas, granos de cereales y frutas (Hernanz et al., 2001). El AF se caracteriza por ser un compuesto bioactivo que tiene propiedades antioxidantes para animales (Gladine et al., 2007; Roy et al., 2014) y humanos (Manach et al., 2004; Ou and Kwok, 2004). Adicionalmente, estudios recientes reportaron que también actúa como promotor del crecimiento en cerdos (Herrera et al., 2011) y novillos de engorda (González-Ríos et al., 2013). Aunque cabe mencionar que, comparado con otro antioxidante natural, este metabolito ha demostrado ser más eficaz para evitar la oxidación de lípidos y proteínas (Rose et al., 2010). Basado en lo anterior, algunos estudios han sugerido su uso como aditivo en la alimentación de los animales domésticos para mejorar el comportamiento productivo (Kroon and Williamson, 1999; Karami et al., 2010). No obstante, la mayor cantidad de información sobre el uso del AF se ha generado a partir de animales de laboratorio.

En corderas bajo engorda intensiva, el daño celular por efecto del estrés oxidativo es elevado debido a la alta tasa metabólica producida por procesos biológicos tales como el desarrollo y crecimiento, lo cual conlleva a que estos animales presenten un incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno (Nussey et al., 2009). De esta manera, la condición de estrés oxidativo podría comprometer negativamente el estado de salud de los corderos de engorda, situación que pudiera reflejarse en una baja ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia y calidad de la canal. En consecuencia, la hipótesis planteada fue que la

suplementación con AF puede representar una alternativa para disminuir el estrés oxidativo y consecuentemente, mejorar el desarrollo en corderas engordadas en corral.

Gladine et al. (2007) mencionan que los microorganismos del rumen no inhiben la biodisponibilidad ni las propiedades antioxidantes de los polifenoles, encontrando un aumento en el estatus antioxidante total de ovinos alimentados con fenoles. Del mismo modo, en ratones sometidos a una alimentación forzada por 12 d con AF, You et al. (2010) reportaron una mayor protección contra la inactivación de enzimas antioxidantes en hígado y músculo, llegando a la conclusión que el AF ofrece una alta capacidad antioxidante enzimática para los animales. Aunque el AF ha demostrado estimular la capacidad antioxidante en ovinos, su acción como promotor de crecimiento no ha sido evaluada. En general, existe muy poca información disponible sobre comportamiento productivo de corderas suplementadas con AF. Más aún, no se encontró ningún antecedente en relación al efecto del AF sobre características de la canal, rendimiento de cortes primarios y los niveles séricos de metabolitos en ovinos de engorda. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con AF sobre el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de metabolitos sanguíneos en corderas alimentadas en corral durante la etapa de finalización.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de ovinos en México

Durante el periodo de la conquista española en México, la población humana incrementó considerablemente, y con ello, la necesidad de búsqueda de alternativas para aumentar la producción de alimentos. Una medida tomada en esa época para hacer más eficientes los sistemas de producción animal fue la introducción de nuevas tecnologías procedentes de la Nueva España, así mismo, la sustitución de recursos genéticos nativos del territorio mexicano por otros mejorados, también procedentes de España. Entre los animales introducidos por los españoles se encuentran los pequeños rumiantes, específicamente los ovinos, los cuales desde sus inicios mostraron una alta capacidad para adaptarse a las diferentes condiciones climáticas que prevalecían en los nichos ecológicos del territorio nacional (Ulloa-Arvizu et al., 2009; SAGARPA, 2001).

En la actualidad todavía existen algunos ejemplares de ovinos que llegaron durante la época de la conquista española. Estos ovinos se ubican en las sierras de los estados de Chihuahua, Puebla, Veracruz, Hidalgo, Guerrero y Chiapas. Los nombres que han adquirido esta raza de ovinos, aun cuando tienen la misma procedencia, se basa en el nombre de las sierras o estados donde se ubican. Así, se conocen a estos ovinos con los siguientes nombres: ovino tarahumara, ovino obispo, ovino de la sierra de Zongolica y ovino Chiapas (Ulloa-Arvizu et al., 2009). Cabe mencionar que la población de ovinos Criollo en el país se encuentra en franca desaparición, con lo cual se está perdiendo parte de la historia de la ovinocultura en México, así como un recurso genético invaluable. Algunos esfuerzos se están

realizando por rescatar dichos recursos genético ovinos, sin embargo, se requiriere mayor cantidad de esfuerzo tanto por investigadores como por gobiernos estatales y federales (Medrano, 2000).

En general, desde la introducción de los ovinos al territorio mexicano y hasta la actualidad, el inventario nacional y distribución de esta especie ha ido creciendo paulatinamente. En las últimas décadas, la importancia de los ovinos como actividad económica pecuaria ha crecido, lo cual es producto del precio alto que tiene el kilogramo de ovino tanto en pie como en canal, principalmente en la zona centro del país (De Lucas y Arbiza, 2000). Otro factor determinante en el desarrollo de la ovinocultura mexicana en las últimas dos décadas, es la incapacidad de los ovinocultores para abastecer la demanda de carne ovina nacional (Arteaga, 2006; Cuéllar, 2010).

De acuerdo a las últimas estadísticas reportadas en el portal de SAGARPA a través del SIAP (2013), México tiene una población ovina de 8´497,347 cabeza, las cuales se encuentran distribuidas principalmente en los estados del centro del país. En Baja California, la población ovina se cuantifica en 32,584 cabezas, siendo su aporte como estado muy bajo al inventario nacional (Martínez-Partida et al., 2011). No obstante, el interés por la ovinocultura en los últimos años ha ido creciendo en Baja California, sin embargo, la falta de organización entre los productores y la poca visión empresarial que tienen los ovinocultores locales han sido las principales causas del bajo desarrollo de esta actividad pecuaria.

En general, la producción de carne de ovino en México se ha encontrado históricamente por debajo de la demanda nacional. Aunque en los últimos 10 años, el nivel de importaciones descendió a un ritmo de 15% anual, de tal manera que en

el 2014 se produjeron 58,000 ton y solamente se importaron 11,000 ton de esta carne (SIAP, 2014). En el 2005, la producción nacional de carne ovina era de 46,229 ton/año y se importaban alrededor de 35,000 ton/año, aproximadamente el 43% del consumo por parte de la población mexicana (Partida de la Peña et al., 2013). Por otra parte, los principales estados productores de carne ovina son Hidalgo y Estado de México con 16% cada uno en relación a la producción nacional, después se encuentran Veracruz, Puebla y Zacatecas con 7.0% cada uno y Baja California con 5.0 % (FDN, 2015).

Los sistemas de producción ovina en México están enfocados principalmente a la producción de carne y en segundo lugar a la producción de lana. Los sistemas para producción de leche ovina son de reciente creación en México y solamente un grupo muy reducido de productores ubicados en la zona del altiplano mexicano han mostrado un real interés por ellos (Blanco-Ochoa, 2007). En este sentido, gran parte de la investigación en los últimos años se ha desarrollado con el propósito de buscar estrategias que favorezcan el incremento de la ganancia diaria de peso y la reducción del periodo de engorda, al mismo tiempo que se mejora el rendimiento en canal.

2.2. Uso de promotores de crecimiento en la engorda

El crecimiento de la población humana ha sido exponencial durante el último siglo. Según datos de la FAO (2014), en la actualidad se cuenta con una población mundial de alrededor de un billón de personas, y dicha cantidad seguirá creciendo en las próximas décadas. Lo anterior conlleva a que la producción de alimentos también tienda a incrementar, de tal manera que lleve un ritmo congruente con el

crecimiento poblacional. Los espacios para la producción de alimentos en el mundo cada vez son más reducidos, por lo cual hacer los sistemas de producción más eficientes es una necesidad para sostener la demanda.

La carne representa una de las principales fuentes de proteína en la alimentación humana. En este sentido, en las últimas década se ha desarrollado una serie de promotores de crecimiento que permiten hacer más eficiente al animal para convertir el alimento consumido en ganancia de peso y músculo, así como para reducir los periodos de engorda (FAO, 2004). De esta manera, el uso de promotores de crecimiento en la producción animal conlleva a la intensificación de los sistemas de producción de carne en cualquier especie animal.

Los promotores de crecimiento son sustancias naturales o sintéticas con actividad farmacológica que se administran a los animales sanos a través de los piensos para acelerar la ganancia de peso y mejorar los índices de transformación de los alimentos. Estos promotores de crecimiento pueden ser de tres tipos (Grande et al., 2000):

- a) Antibióticos y quimioterapéuticos de actuación sobre la microflora bacteriana del tubo digestivo, en concentraciones entre 30 y 100 mg/L, administrados sistemáticamente durante periodos largos.
- b) Sustancias ionóforas de actuación sobre el rumen.
- c) Anabolizantes, generalmente sustancias de tipo hormonal, los cuales actúan como promotores de crecimiento mediante una acción sobre el metabolismo.

En nutrición animal existen otros aditivos utilizados como promotores de crecimiento alternativos. Éstos presentan una mayor seguridad pero en ningún caso pueden llegar a tener los efectos que se derivan del empleo de antibióticos en

alimentación animal. Por tanto, no pueden definirse como sustitutos de los mismos. Como promotores alternativos destacan las enzimas, los acidificantes orgánicos, los microminerales, las vitaminas (principalmente las relacionadas con la prevención de procesos oxidativos y de protección tisular), los cultivos y los probióticos (mejoran los procesos digestivos, bien a nivel de rumen o del sistema digestivo general mediante microorganismos), los oligosacáridos (azúcares complejos no desdoblados por el sistema enzimático animal), los aceites esenciales y los extractos vegetales (con marcado carácter antimicrobiano) (Grande et al., 2000).

2.3. Uso de antioxidantes como promotores de crecimiento

El cuerpo del animal siempre trata de autoregular el balance oxido-reducción constante para mantener la homeostasis entre la producción de compuestos oxidantes y los sistemas de defensa antioxidante (Martínez et al., 2003). Cuando la cantidad de oxígeno es excesiva, el proceso oxidativo provoca un incremento drástico en los niveles de radicales libres y especies reactivas, siendo la síntesis natural de antioxidantes insuficientes para neutralizar en su totalidad estos productos de la oxidación. La incapacidad del cuerpo para producir suficientes antioxidantes provoca que la excesiva cantidad de radicales libre y especies reactivas afecten negativamente el metabolismo celular, e incluso puede llevar a la muerte de células y presencia de enfermedades (Venereo-Gutiérrez, 2002). En términos generales, se considera que un animal se encuentra en estrés oxidativo cuando hay un desequilibrio en las células debido a un aumento en los radicales libres y/o una disminución en la concentración de antioxidante (Huerta-Jiménez et al., 2005).

En la naturaleza, casi todo lo que nos rodea es oxidado por el oxígeno por medio de reacciones de óxido-reducción, ya que a partir de este proceso bioquímico los seres vivos obtienen la mayor parte de la energía libre (Elejalde-Guerra, 2001). Por consecuencia, la producción de radicales libres y especies reactivas al oxígeno es inevitable dentro del cuerpo del animal, ya que en cualquier proceso metabólico normal se presenta la reacción oxido-reducción. Asimismo, situaciones de estrés por efecto de manejo o factores ambientales promueven alteraciones metabólicas que conllevan a la generación de estos productos de la oxidación (Huerta-Jiménez et al., 2005). Por lo tanto, se podría decir que es habitual que los animales en producción estén propensos a desarrollar estrés oxidativo. En ovinos, algunos estudios mencionan que el nivel de daño oxidativo en corderos es más elevado en los primeros cuatro meses en comparación con las demás etapas de crecimiento, pero en ovejas adultas no se encontró evidencia si este nivel aumenta (Nussey et al., 2009; Salar-Amoli y Baghbanzadeh, 2010). Aunque cabe mencionar que muchos de los alimentos que consumen los animales, principalmente los forrajes o cualquier planta usada en la alimentación de ellos, tiene una buena cantidad de antioxidantes, los cuales en conjunto con los producidos naturalmente en el cuerpo, pueden reducir la presencia de estrés oxidativo en los animales (Avello y Suwalsky, 2003; Huerta-Jiménez et al., 2005; Córdova-Izquierdo et al., 2009).

Se ha planteado que proporcionar antioxidantes en forma exógena favorece el crecimiento y la eficiencia alimenticia en los animales, por lo cual se considera que una de las funciones de estos compuestos es ser promotor de crecimiento (Grande et al., 2000). El mecanismo a través del cual los antioxidantes mejoran el crecimiento de los animales aún no se conoce en su totalidad. Sin embargo, se conoce que entre

mayor sea el estrés oxidativo que presenta un animal, los beneficios que tienen los antioxidantes como promotor de crecimiento son mayores (Mason, 2007). La presencia de estrés oxidativo en un animal promueve una disminución en el funcionamiento del sistema inmunológico, y por consecuencia, los animales se hacen más propensos a presentar diversas enfermedades (Gladine et al., 2007). Asimismo, un animal con estrés debido a factores ambientales o de manejo tiende a alterar el metabolismo y con ello, el incremento en la producción de radicales libres que desencadena en un problema de estrés oxidativo (Manach et al., 2004). El hecho de adicionar en el alimento o por aplicación muscular directa antioxidante a dosis elevadas, promoverá la reducción de radicales libres y, por ende, la desaparición de estrés oxidativo. Esto favorecerá el sistema inmunológico y la homeostasis en el animal, de tal manera que se presentará un consumo de alimento y un crecimiento adecuado. De esta manera es como los antioxidantes pueden funcionar como promotores de crecimiento (Tavasoli et al., 2009). No obstante, varios estudios que no han encontrado beneficios de los antioxidantes sobre el crecimiento animal, tanto en rumiantes como monogástricos, y dichos resultados lo han relacionado con la ausencia de estrés oxidativo (Gladine et al., 2007; Soberon et al., 2012; Zhou et al., 2014).

Entre los antioxidante más importantes se encuentran las vitaminas A, C y E, así como algunos minerales como selenio, zinc y cobre, los cuales juegan un importante papel como cofactores de las enzimas que participan en los procesos de oxidación-reducción (Pokorny et al., 2001). Las vitaminas antioxidantes, junto con el glutatión, conforman un grupo de agentes reductores capaces de donar electrones a especies oxidadas como los radicales libres y los lipoperóxidos, neutralizando de

esta manera el potencial oxidativo destructor de éstos (Benitez-Zequeira, 2006). En bovinos de engorda, Huerta-Jiménez et al. (2005) sugieren que suplementar con vitamina E a una dosis mayor a la recomendada tiene efectos benéficos sobre la calidad de la canal, el color de la carne y vida de anaquel de los subproductos cárnicos. En ovejas gestantes, la suplementación de 400 UI/d de vitamina E mejoró el peso al nacimiento de los corderos (Daniels et al., 2000).

En una gran variedad de plantas, árboles, arbustos, frutas y vegetales también han encontrado una serie de compuestos de origen natural que tiene un efecto antioxidante, así mismo resultan benéficos para la salud humana (Ruiz et al., 2011). Estos compuestos pertenecen a la familia de los fenoles y son los ácidos hidroxibenzoícos, taninos hidrolizables, flavonoles, proantocianinas, antocianinas y ácidos hidroxicinamicos (Vasco et al., 2009). Este último ácido es el compuesto fenólico más abundante en plantas y semillas, siendo los principales ácidos hidroxicinamicos los siguientes: ácido caféico, ácido cumaríco y ácido ferulico (Wang et al., 1997; Salinas, 2000).

La ingesta de plantas con alto contenido de compuestos fenólicos resulta benéfica en los animales, ya que pueden mejorar el comportamiento productivo y algunas características de canal relacionadas con la deposición de grasa (Decker, 1995; Karami et al., 2010). Los fenoles además de actuar como antioxidante, también tienen otras funciones tales como antimicrobiano, antiinflamatorio, hepatoprotector, neuroprotector, anticancerígeno, antidiabético, protector contra rayos UV y anticolesterolémico (De Paiva et al., 2013).

2.4. Ácido ferúlico

2.4.1. Origen y obtención

El AF es un ácido hidroxicinámico clasificado como un componente fenólico, que se encuentra principalmente en las paredes celulares de plantas, granos de cereales, y frutas (Hernanz et al., 2001). Algunos estudios han reportado que el AF puede ser extraído de forma natural en numerosos alimentos como: maíz, arroz, trigo, avena, soja, sésamo, girasol, alfalfa, legumbres, nueces, col, espinacas, lechuga, tomate, remolacha azucarera (Porrás-Loaiza et al., 2009; Cartea et al., 2010; Blanco-Gómez, 2012). Sin embargo, los granos y semillas son las fuentes más ricas en éste compuesto fenólico, siendo el maíz el cereal con mayor contenido de AF (85%), el cual se encuentra principalmente en forma libre o esterificado a las heteroxilanas (Adom y Liu, 2002; De la Parra et al., 2007).

El AF es un compuesto bioactivo que en forma libre produce efectos benéficos para la salud de los humanos y animales, ya que se le atribuyen propiedades como antioxidante, antiinflamatorio, anticancerígeno y regulador de glucosa en problema de diabetes (Paiva et al., 2013; Kanagalakshmi et al., 2014; Eroğlu et al., 2015). No obstante, este bioactivo no se encuentra en forma libre en plantas, vegetales, frutos o cereales. Kumar et al. (2013) mencionan que el AF se encuentra ligado naturalmente con la lignina y los polisacáridos mediante enlaces covalentes, formando complejos lignina-fenol, lo cual dificulta su separación y aprovechamiento para obtener los beneficios descritos arriba. Basado en lo anterior, varias investigaciones se han realizado con el objetivo de encontrar técnicas o procesos físicos y químicos que ayuden a obtener el AF en forma libre y con la mayor pureza posible. En los cereales, los fenoles se agrupan en formas solubles e

insolubles o ligadas por enlaces de tipo éster que pueden ser liberados ya sea por hidrolización química o enzimática (Rosazza et al., 1995).

El primer estudio donde se identificó y aisló el compuesto AF fue realizado por Hlasiwetz y Barth (1866). En ese estudio extrajeron el AF a partir de una planta llamada ferúla foetida usando un proceso de extracción alcohólico. También caracterizaron a dicho fenol como un precipitado de color amarillo, con estructura química $C_{10}H_{10}O_4$ y fue nombrado AF o ferulasaure 3, [(4-hidroxi-3-metoxifenil) -2-propenoico] (Li y Rosazza, 1999). Posteriormente, entre 1925 y 1988, el AF fue sintetizado químicamente por la condensación de la vainilla del ácido malónico, catalizada con amina para encontrar más tarde los isómeros *cis* y *trans* que fueron separados de la estereoquímica revelada por una espectroscopia de resonancia magnética nuclear, y confirmada por cristalografía en rayos X en 1988 (Dos Santos et al., 2008).

Otras técnicas desarrolladas más recientemente para obtener el AF libre a partir de las paredes celulares de las plantas consiste en la aplicación de química alcalina mediante el uso de las enzimas esterases, la nixtamalización y biotransformación de los fenoles (Paiva et al., 2013). Algunos estudios demuestran que la extracción del AF de salvado de maíz utilizando el proceso de la química alcalina se realiza a través de una separación de 5000 Da en una membrana molecular de corte a temperatura ambiental. Posteriormente, el salvado de maíz hidrolizado es extraído utilizando 0.25 mol/L NaOH en una solución acuosa alcalino-etanol 50% a 75 °C durante 2 h y luego se recupera el 91.8% de AF concentrado. Consecuentemente, mediante una nanofiltración usando una membrana molecular

de corte de 150 Da se obtuvo cristales de AF con una cantidad de 8.47 g/kg de salvado de maíz (Mussatto et al., 2007; Buranov y Mazza, 2009; Salleh et al., 2011).

Las enzimas esterasas son clasificadas dentro de los grupos de las enzimas carboxilesterasas y ellas son producidas por una amplia gama de microorganismos que son cultivados en sustratos como xilano que induce las actividades de cafeil esterasa a través del sustrato de ácido clorogénico (Williamson et al., 1998), pectina, salvado de trigo, salvado de maíz, o pulpa de remolacha azucarera (Kumar et al., 2013). Entre estos microorganismos que producen las enzimas se incluyen tanto bacterias como hongos, siendo los principales los siguientes: *Streptomyces viridosporus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Penicillium funiculosum*, *Talaromyces stipitatus* y *Aspergillus niger* (Paiva et al., 2013). En general, este grupo de enzimas liberan al AF a través de hidrolizar los enlaces ésteres formados con los polisacáridos y lignina de la pared celular (Mathew y Abraham, 2004).

La nixtamalización, también conocida como “cocimiento alcalino de productos vegetales”, es un proceso ampliamente usado para elaborar tortillas de maíz. Este proceso se realiza a partir de la cocción de los granos de maíz en un medio alcalino (agua con óxido de calcio). Una vez que el tiempo de cocción terminó, los granos de maíz cocidos son retirados del medio y lavados para formar la masa que sirve para elaborar las tortillas. Producto de la cocción alcalina, varios compuestos del grano de maíz (incluyendo todos los fenoles) son liberados y mezclados con el medio alcalino; a dicha mezcla se le conoce comúnmente como “nejayote”. A continuación, el nejayote se somete a un proceso de filtración y acidificación para obtener el AF por medio de un material absorbente. Finalmente, el material absorbente con AF es mezclado con un solvente orgánico a base de etanol, el cual al evaporarse se

obtiene como producto el AF libre (Somsuvra et al., 2010). Durante todo el proceso, las temperaturas se fijan de acuerdo a la naturaleza del material a utilizar y varían de 20 a 70 °C. La adición del etanol o acetato de etilo es para disminuir el pH de la solución alcalina del mismo, siendo el último de este proceso (Torres et al., 2004; Acosta et al., 2013).

Hasta el momento no hay un procedimiento estándar y ajustando para la extracción de los compuestos fenólicos, incluso el AF. De todos los métodos que fueron mencionados anteriormente, se puede considerar que el método de la nixtamalización puede ser más efectivo en extraer el AF debido a que la calidad del dicho producto final se obtiene de manera natural y no se requiere mucha tecnología para ser realizado.

2.4.2. Composición química

El peso del AF oscila entre 0.8 y 2.0 g/kg es decir un 90% del total de del peso de los polifenoles (Manach et al., 2004). El AF en forma natural solo se encuentra con la configuración *trans*, pero exponiéndolo a rayor UV puede sufrir una isomerización para transformarse en *cis* (Faulds y Williams, 1999). Cabe mencionar que la estructura química y la distribución anatómica del AF en la planta varían con la etapa fenológica.

El AF, al igual que todos los ácidos hidroxicinámicos, contienen un anillo aromático y otros grupos funcionales (Figura 1) (Paiva et al., 2013). En el caso específico del AF, los grupos funcionales son dos, un grupo carboxilo (-COOH) y un grupo alcohol fenólico (OH). Como consecuencia se le considera una molécula bifuncional, y dicha característica le permite al AF unirse con la lignina tanto a través

de ligaduras covalentes éster o éter ó ambas a la vez (Sun et al., 2002). Adicionalmente, en su estructura presenta un doble enlace lo cual puede dar lugar a dos isómeros con configuración *cis* (un líquido aceitoso de color amarillo) o *trans* (líquido cristalino) (Mathew y Abraham, 2004; Acosta et al., 2013).

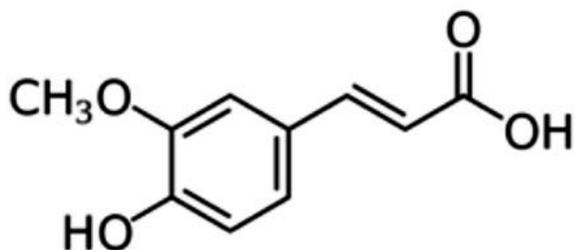


Figura 1. Estructura química del ácido ferúlico

2.4.3. Mecanismos de acción

El mecanismo a través del cual el AF ejerce efecto de antioxidante es por unirse a los radicales libres para donar moléculas de hidrógeno, además de funcionar como un inhibidor de las moléculas de superóxido. El grupo hidroxilo presente en el anillo estructural del AF es el encargado de llevar este mecanismo para la actuación del AF como antioxidante (Teixeira et al., 2005; Muñoz-Jáuregui y Ramos-Escudero, 2007).

El AF puede actuar directamente disminuyendo la cantidad de radicales libres, o bien incrementando la cantidad de enzimas responsables de la síntesis de antioxidantes en el cuerpo del animal e inhibiendo aquellas enzimas que catalizan la producción de radicales libres. Kayahara et al. (1999) demostraron que el AF inhibió las enzimas torosinasa y dimutasa superóxida. Por su parte, Kawabata et al. (2000)

observaron un aumento en las enzimas glutatión transferasa y quinonas reductasas, ambas encargadas de promover la síntesis de antioxidante corporales. También existen varios mecanismos a través de los cuales AF disminuye el daño celular por estrés oxidativo. El primero consiste en inhibir la oxidación de lipoproteínas y el segundo en el bloqueo directo a nivel celular de la toxicidad de las enzimas oxidasas de lipoproteínas de baja densidad (LDL, por su sigla en inglés). El número y la posición de los grupos hidroxilo, así como la glicosilaciones y metoxilación determinan la actividad de inhibición de los radicales libres por los compuestos fenólicos como el AF (Ou y Kwok, 2004).

El AF también ha demostrado funcionar como un conservador natural de alimentos, lo cual se debe a su acción antioxidante y antimicrobiana. En productos como aceites vegetales y la misma grasa de la carne, se ha observado que el AF reduce la oxidación de lípidos y proteínas, asimismo, la peroxidación de aceites como el linoleico (Graf, 1992; Heinonen et al., 1998). Otra ventaja es que la funcionalidad del AF no es afectada por el pH, de tal manera que en alimentos tratados por procesos alcalinos sigue manteniendo su acción como conservante (Friedman y Jurgens, 2000).

2.4.4. Efecto sobre metabolismo animal

La presencia de estrés oxidativo en un animal produce alteraciones en el metabolismo como una medida para alcanzar nuevamente la homeostasis corporal. En este sentido, es de esperarse un cambio en las concentraciones de metabolitos sanguíneos y hormonas metabólicas cuando un animal mantenido en estrés oxidativo es suplementado con antioxidantes, tales como AF (Zhao et al., 2004). En

un estudio realizado en ratas por Kim et al. (2003), encontraron que AF tiene la capacidad de reducir el nivel de lipoproteínas de baja densidad. También indicaron que el AF redujo la síntesis de colesterol por inhibir la enzima hidroximetilglutaril coenzima A reductasa. Esta enzima es uno de los reguladores más importante en la biosíntesis del colesterol, ya que cataliza la síntesis del ácido mevalónico. Por su parte, Yogeeta et al. (2006) reportaron que alimentando ratas con AF en dosis de 20 mg/kg de peso corporal, se redujeron significativamente los niveles de triglicéridos, colesterol total, ésteres de colesterol y los ácidos grasos libres tanto en suero como en tejidos del corazón. Adicionalmente, observaron una disminución en los niveles de fosfolípidos, peróxidos lípidos y lipoproteínas de baja densidad. Este estudio confirmó la acción de este antioxidante sobre el metabolismo de los lípidos.

En ratas diabéticas alimentadas con 10 mg de AF /kg por 45 días, Sri Balasubashini et al. (2004) observaron que los niveles de glucosa y ácidos grasos libres en hígado se redujeron por efecto de antioxidante. Congruentes con estos resultados, Soo et al. (2010) indicaron que el AF, así como el oryzanol (suplemento de deportista rico en AF), mejoraban el metabolismo de glucosa y grasa en ratones alimentados con dietas altas en grasa. En ese estudio explicaron que dicho beneficio del AF sobre el metabolismo energético se debía a que el antioxidante tuvo un impacto regulatorio en la secreción de insulina y funcionamiento de enzimas en hígado.

Cabe mencionar que es reducida la información disponible sobre el impacto que tiene el AF en el metabolismo de animales en producción, y la mayoría se ha limitado a su uso en especies de laboratorio. Esto se debe principalmente a que los estudios hecho; con AF van dirigidos a encontrar explicaciones sobre los

mecanismos a través de los cuales mejora el estado de salud de humanos, y el ratón o las ratas son especies usadas como modelos. Se ha dado poca importancia al beneficio que puede tener el AF en la producción animal. Suplementando becerros de engorda con la fruta mora tanto seca como ensilada, la cual es rica en compuestos fenólicos como el AF, encontraron que entre becerros tratados y testigo no hubo diferencia en las concentraciones séricas de urea, insulina, proteína total, albumina, glucosa, colesterol, triglicéridos y lipoproteínas de alta y baja densidad (Zhou et al., 2014). Los autores en ese estudio indicaron que la inclusión dietaria de estas frutas en la alimentación de becerros no mejoró el estado metabólico porque posiblemente el nivel de fruta usado fue bajo (10% de la dieta) para promover un beneficio metabólico; también mencionaron que podía deberse a que el procesado de la fruta (fermentado o secado) disminuyó la cantidad de compuesto bioactivo. En vaquillas Hereford x Angus tampoco encontraron efecto de los niveles de AF (3.5, 7.0, 10.5 y 14.5 ppm/kg) sobre la concentración de glucosa en plasma después de 17 días de consumo (Soto-Casas et al., 2015).

2.4.5. Efecto sobre cinética ruminal

El AF es un compuesto fenólico que se produce de forma natural en las plantas como un precursor de la lignina, y por lo tanto, resulta ser un constituyente de los forrajes, específicamente en la parte estructural. Existen algunos estudios que demuestran que los ácidos fenólicos inhiben la actividad de los microorganismos del rumen y tienen una influencia significativa en la utilización de la fibra (Barber et al., 2000) debido a que los ácidos fenólicos suelen conjugarse con los azúcares de las

plantas y pueden jugar un papel importante en la protección de las plantas contra patógenos (Faulds y Williamson, 1999).

El AF integrado en plantas, al igual que cualquier ácido fenólico, disminuye el ritmo de digestión de la fibra debido a que junto con la lignina crea un complejo con los carbohidratos estructurales difíciles de acceder por los microorganismos ruminales (Deetz et al., 1993). En dietas a base de forraje de baja calidad en rumiantes, es común que el consumo y la digestibilidad de los nutrientes disminuyan, situación atribuida al alto contenido de compuestos fenólicos (Chesson et al., 1982). Los compuestos fenólicos derivados del alto contenido de lignocelulosa de estos forrajes son los posibles obstáculos para la degradación de los polisacáridos estructurales en el rumen (Deetz et al., 1993).

Se ha demostrado que los ácidos fenólicos afectan una gama de bacterias en el rumen por actuar como bactericida y bacteriostático sobre las bacterias celulíticas del rumen tales como: *Ruminococcus albus*, *R. flavifaciens*, *Bacteroides succinogenes*; así también sobre las bacterias xilanolíticas (Marvin et al., 1996; Jung et al., 2011). Sin embargo, tienen menor efecto sobre los protozoos. (Chesson et al., 1982). Pero existen pruebas *in vitro* que evidencian que los microorganismos del rumen pueden adaptarse a elevadas concentraciones de AF libre (Cherney et al., 1993).

Según Besle et al. (1995), teóricamente los compuestos monoaromáticos como AF en forma libre son potencialmente degradables en el rumen, pero la degradación del AF en el rumen está limitada por su bajo potencial redox, la baja población, el lento crecimiento de los microorganismos que utilizan compuestos monoaromáticos, y su tiempo de retención limitada. Se han demostrado que el AF

libre puede ser metabolizado *in vivo* (Aboagye et al., 2015). Cuando el AF es metabolizado por enzimas microbianas se convierte en gran cantidad de metabolitos como AF-glucuronide, AF-sulfato AF diglucuronide, AF-sulfoglucuronide, ácido m-hidroxifenilpropionico, feruloliglicina, ácido dihidroferulico, ácido vanillico y vanilloilglicina (Zhao et al., 2003; Zhao et al., 2004; Somsuvra et al., 2010).

2.4.6. Ácido ferúlico en la alimentación de ovinos

Son numerosas las especies de árboles forrajeros y arbustos que existen en los sistemas de producción animal con características agronómicas y valor nutricional. Muchas de estas especies juegan un papel importante en la alimentación animal por el contenido elevado de metabolitos secundarios como los fenoles (Sosa et al., 2004; García y Urría-Carril, 2009; Ghatak y Panchal, 2010), así como por la aportación de energía y proteína (García y Urría-Carril, 2009). Además, los cereales en la dieta de los animales representan los principales ingredientes y el AF está presente en la mayoría de ellos, específicamente en el maíz, trigo, arroz y avena (Adom y Liu, 2002). Existen poca información sobre el uso de AF en la alimentación de ovinos.

En corderos de engorda alimentados con heno de alfalfa, forraje proteico rico en AF, encontraron que adicionando la enzima estearasa ferulasa en la dieta, la tasa de crecimiento, la eficiencia alimenticia y la digestibilidad mejoraba significativamente (Aboagye et al., 2015). No obstante, Soberon et al. (2012) alimentaron a corderos machos Dorsert x Finn con 0, 3, 6 y 9 g/d de AF libre durante cuatro semanas, y encontró que el peso final y la ganancia diaria de peso no fueron afectadas la dosis del AF. Aunque el consumo de materia seca tuvo un efecto

cuadrático conforme a la dosis de AF incrementó, siendo mayor cuando los corderos fueron alimentados con 3 y 6 g/d en comparación con el grupo testigo. Por su parte, Gladine et al. (2007) encontraron que el consumo de alimento no fue afectado por alimentar a corderos machos con polifenoles en donde se incluía al AF. Recientemente, Ortega-Flores et al. (2015) suplementaron a corderos Dorper x Kathandin con AF (7 ppm/kg de PV) durante 4 semanas, reportando que, en general, el comportamiento en corral no se mejoró por adición del AF en la dieta durante los 28 días, sin embargo, en los primeros 14 días si se observó 45 % mayor eficiencia alimenticia, lo cual atribuyeron a la mayor ganancia diaria de peso numérica, pero no significativa, obtenida en corderos alimentados con AF (279 vs. 375 g/d). En ese estudio tampoco encontraron que el AF mejorara las características de la canal como: peso y rendimiento de la canal caliente y fría.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del estudio

El estudio se realizó durante primavera de 2013 en la Unidad Experimental Ovina del Instituto de Ciencias Agrícola (ICA), de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). El ICA se ubica en el Valle de Mexicali, Baja California, al Noroeste de México, a 32.8° 24' de latitud norte y 115° 12' de longitud oeste. El clima de esta zona es árido, seco y caliente, con temperaturas en verano de hasta 52 °C como máximas, y en invierno hasta 0 °C. El promedio de la precipitación anual es de 86 mm y la humedad relativa tiene un rango entre 20 y 50% (García, 1985).

3.2. Animales, manejo y tratamientos

Todos los procedimientos de cuidado y manejo de animales se llevaron a cabo bajo las normas aprobadas en México (NOM-051-ZOO-1995: atención humanitaria de los animales durante la movilización, y la NOM-033-ZOO-1995: sacrificio de animales domésticos y silvestres).

Un total de 34 corderas Dorper x Pelibuey fueron recibidas en la Unidad Experimental de borregos 30 días antes de iniciar el experimento. A su llegada, todas las hembras se identificaron con collares, desparasitaron vía subcutánea con 0.5 ml/animal de Ivermectina (SanFer[®], México D.F., México) y vitaminaron vía intramuscular con 1.0 ml/ animal de Vigantol ADE (Bayer[®], México D.F., México). También, las corderas fueron adaptadas a la dieta base y alojadas en un corral (6 x 8 m) durante los 22 días posteriores a su llegada. Ocho días antes de iniciar el

experimento, todas las corderas fueron pesadas individualmente seleccionando solamente 20 de las 30 basado en sus pesos más homogéneos, y fueron colocadas en corraletas individuales equipadas con comederos, bebederos y sombra.

Al inicio del experimento, las corderas fueron nuevamente pesadas y asignadas bajo un diseño de bloques completamente al azar a uno de dos tratamientos. El peso inicial fue considerado el factor de bloque, de tal manera que se formaron parejas de corderas de similar pesos y aleatoriamente dentro de cada bloque se asignaban los animales a los tratamientos. Los tratamientos fueron los siguientes: 1) corderas alimentados solo con dieta basal (grupo testigo), y 2) corderas alimentadas con dieta basal más 300 mg de AF/animal/día (grupo suplementado). La dieta basal (Cuadro 1) se formuló para cubrir los requerimientos nutricionales de corderas engordadas en etapa de finalización según lo indicado en el NRC (2007). Para asegurar el consumo del AF (Laboratorios Minkab, SA de CV., Guadalajara Jalisco, México) en el grupo suplementado, los 300 mg de AF se mezclaron en 30 g de grano de trigo molido. La mezcla se ofreció al grupo suplementado por la mañana, justamente antes de dar la dieta base. En el grupo testigo se ofrecieron 30 g de trigo molido para garantizar que el manejo alimenticio fuera similar en ambos tratamientos. En general, la dieta base se ofreció en una proporción de 60% por la mañana (7:00 h) y 40% por la tarde (17:00 h). El AF fue retirado de la dieta basal 24 h antes de finalizar la prueba de comportamiento productivo, para producir el ayuno previo sacrificio.

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de la dieta proporcionada a las corderas suplementadas o no con ácido ferúlico.

Ingredientes	Tratamientos ¹	
	Testigo	AF
Ácido ferúlico (mg/d)	0.00	300.00
Heno de alfalfa (%)	28.00	28.00
Grano de trigo (%)	55.80	55.80
Semilla de algodón (%)	10.00	10.00
Melaza (%)	4.00	4.00
Piedra caliza (%)	1.00	1.00
Fosfato de calcio (%)	1.00	1.00
Sal (%)	0.20	0.20
Composición química ²		
Materia Seca (%)	94.61	94.61
Materia Orgánica (%)	85.60	85.60
Proteína Cruda (%)	16.78	16.78
Fibra Detergente Neutra (%)	36.89	36.89
Fibra Detergente Acida (%)	21.37	21.37
Cenizas (%)	9.01	9.01
EM (Mcal/kg MS) ³	2.80	2.80
ENm (Mcal/kg de MS) ³	1.86	1.86
ENg (Mcal/kg de MS) ³	1.23	1.23

¹Dieta basal sin (testigo) y con ácido ferúlico (AF).

² La composición química de la dieta está expresada en base a materia seca.

³ Energía metabolizable (EM), Energía neta de mantenimiento (ENm) y de ganancia (ENg).

3.3. Prueba de comportamiento en corral

La prueba de comportamiento duró 34 días. Diariamente por las mañanas, se pesó el alimento ofrecido y rechazado por cada cordera para calcular el consumo de alimento. También dos veces por semana se colectaron muestras de alimento para

secado en estufa de aire forzado a 60° C por 24 h. Las muestras de alimento posteriormente fueron molidas y almacenadas para su posterior análisis bromatológico. Se registró el peso individual de las corderas al día 1, 17 y 34. Con la información colectada se calculó las siguientes variables productivas en los periodos 1 a 17 días, 18 a 34 días y 1 a 34 días: ganancia diaria de peso, ganancia de peso total, consumo de materia seca y eficiencia alimenticia.

3.4. Características de la canal

Al finalizar la prueba de comportamiento productivo, todas las corderas fueron sacrificadas bajo la norma de NOM-033-ZOO-1995 (sacrificio humanitario de los animales domésticos y salvajes de México) en las instalaciones del taller de carnes del Instituto de Ciencias Agrícolas, de la Universidad Autónoma de Baja California. Se utilizó el método de degüello sin previa insensibilización para sacrificar los animales. Al momento del degüello, la sangre fue colectada en un recipiente. Posteriormente, la cabeza, patas, piel y órganos y vísceras de las cavidades torácica, abdominal y pélvica, asimismo, la grasa corazón-pelvico-riñonal (KPH) y mesentérica fueron retirados del cuerpo del animal. Se registró el peso individual de piel, sangre, patas, cabeza, pulmones, hígado, bazo, peritoneo, corazón, riñones, grasa mesentérica, grasa KPH, complejo ruminal (rumen, retículo, omaso y abomaso), intestinos (delgado y grueso) y canal caliente. Adicionalmente, todo el peso del tracto gastrointestinal tanto lleno como vacío fue pesado. Posteriormente, todas las canales fueron refrigeradas durante 24 h a temperatura de 4°C para registrar peso de canal fría y evaluar la conformación de la canal de acuerdo con la metodología de Smith et al. (2001). También se registró la longitud de la canal

desde la última vértebra cervical hasta la última vértebra sacra, la profundidad del tórax, y la longitud y el perímetro de la pierna. Además, las canales se cortaron entre la 12va y 13va costilla para medir el área del ojo de la costilla con una plantilla graduada de 64 mm. El espesor de la grasa dorsal se midió en centímetros usando una regla de acero inoxidable colocada perpendicularmente sobre la 12va costilla, a un tercio hacia afuera de la línea dorsal, medición realizada del lado derecho (USDA, 1992).

Finalmente, las canales fueron divididas en cortes primarios basado en la metodología indicada por Avendaño-Reyes et al. (2011). Inicialmente, la canal se dividió a lo largo de la línea media y el lado derecho se usó para obtener los cortes primarios. Entre la 12 y 13va. costilla, la media canal se dividió para obtener el peso de cuarto delantero y cuarto trasero. A su vez, el cuarto delantero se dividió para obtener el peso de costilla, lomo, hombro y cuello, mientras que el cuarto trasero se dividió para obtener el peso de pierna, lomo plano y sirloin.

La pérdida por enfriamiento fue calculada expresando la diferencia entre peso de canal caliente y canal fría como porcentaje del peso de la canal caliente, mientras que el rendimiento en canal fue calculado expresando el peso de canal caliente como porcentaje del peso final vacío. Los pesos de órganos y vísceras también fueron expresados como porcentaje del peso final vacío. El peso final vacío fue obtenido por diferencia entre peso final y contenido gastrointestinal. Finalmente, el peso de los cortes y de grasa KPH fueron expresados como porcentajes del peso de la canal caliente.

3.5. Medición de metabolitos sanguíneo

Las muestras de sangre fueron obtenidas directamente de la vena yugular por venopunción en los días 1, 17 y 34 del experimento. Todas las muestras fueron recolectadas en viales 10 mL (Becton Dickinson Vacutainer Systems, Franklin Lakes, NJ), previo a la alimentación por la mañana. Una hora más tarde, las muestras de sangre se centrifugaron a 3500 x g durante 15 min a 10 °C. Se separó el suero y se almacenó en viales por duplicado a -20 °C para su posterior análisis de metabolitos (glucosa, colesterol, triglicéridos, proteínas totales, y urea). Un auto-analizador de sangre para uso veterinario (Fácil Kem Vet, KONTROLab Sistemas; Morelia, Mich, MX) se utilizó para determinar las concentraciones de metabolitos sanguíneos.

3.6. Análisis estadístico

Los datos de comportamiento productivo general, las características de la canal, los componentes no cárnicos y los rendimientos de cortes primarios fueron sometidos a un análisis de varianza bajo un diseño de bloques completos al azar. El mismo diseño se utilizó para los periodos de comportamiento en corral y la concentración de metabolitos, pero empleando un análisis de medidas repetidas en el tiempo. El modelo para estas últimas variables incluyó el efecto de bloque, tratamiento, tiempo y la interacción tratamiento x tiempo. Todos los análisis se realizaron con PROC MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Se consideró una significancia de $P \leq 0.05$ y una tendencia cuando $P > 0.05$ y ≤ 0.10 .

4. RESULTADOS

4.1. Prueba de comportamiento

En el Cuadro 2 se muestran los resultados del comportamiento productivo en corderas suplementadas o no con AF. La suplementación de AF no afectó ($P > 0.05$) el peso vivo al día 17 ($P = 0.43$), de igual manera no se observó ($P \geq 0.16$) efecto del AF sobre el consumo de materia seca ni la eficiencia alimenticia durante todo el periodo experimental o en cada periodo (1 a 17, 18 a 34 y 1 a 34 días). Por otra parte, la ganancia peso total ($P = 0.62$) y la ganancia diaria de peso (GDP) ($P = 0.62$) no reflejaron efecto por el uso de AF durante el periodo del 1 a 17 d. No obstante, estas variables presentaron una tendencia a decrecer ($P = 0.10$) con el uso de AF entre los días 18 a 34 y durante todo el periodo experimental (día 1 a 34). El peso vivo al día 34 también presentó una tendencia a reducir ($P = 0.09$) en un 3.5% por efecto del uso de AF.

Cuadro 2. Prueba de comportamiento productivo de corderas suplementadas y no con el ácido ferúlico.

	Tratamientos ¹		E.E.	Valor de P
	Testigo	Ácido ferúlico		
Peso inicial	28.47	28.10	0.56	0.59
Día 1 a 17				
Peso vivo a los 17 d (kg)	32.70	32.07	0.56	0.43
Ganancia total (kg)	4.23	4.02	0.30	0.62
Ganancia diaria de peso (g/d)	0.23	0.22	0.02	0.63
Consumo de materia seca (kg/d)	1.12	1.13	0.06	0.87
Eficiencia alimenticia	0.21	0.20	0.01	0.45
Día 18 a 34				
Peso vivo a los 34 d (kg)	35.52	34.28	0.56	0.09
Ganancia total (kg)	2.82	2.21	0.30	0.10
Ganancia diaria de peso (g/d)	0.17	0.13	0.02	0.10
Consumo de materia seca (kg/d)	1.18	1.13	0.06	0.56
Eficiencia alimenticia	0.14	0.11	0.01	0.18
Día 1 a 34				
Ganancia total (kg)	7.05	6.13	0.40	0.10
Ganancia diaria de peso (g/d)	0.20	0.17	0.01	0.10
Consumo de materia seca (kg/d)	1.12	1.10	0.06	0.80
Eficiencia alimenticia	0.18	0.16	0.01	0.16

¹Dieta basal sin (testigo) y con ácido ferúlico.

4.2. Características de la canal

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de características de la canal de corderas suplementadas o no con AF. No se observó efecto ($P \geq 0.15$) de la adición de AF sobre ninguna de las características de la canal. Los promedios de las características de mayor importancia económica son 17.04 kg, 16.60 kg, 54.67%,

6.68% y 17.31cm² para peso de canal caliente, peso de canal fría, rendimiento en canal, grasa KPH y área del ojo de la costilla, respectivamente.

Cuadro 3. Características de la canal de corderas suplementadas y no con el ácido ferúlico.

	Tratamientos ¹		E.E.	Valor de P
	Testigo	Ácido ferúlico		
Peso canal caliente (kg)	17.14	16.94	0.33	0.67
Peso canal fría (kg)	16.66	16.56	0.32	0.83
Perdida por frío (%)	2.79	2.28	0.23	0.15
Rendimiento en canal (%)	54.13	55.21	0.63	0.26
Conformación (unidades)	6.90	6.70	0.20	0.49
AOC (cm ²)	16.61	18.00	0.61	0.15
Espesor de grasa (cm)	0.34	0.34	0.03	0.98
Grasa KPH (%)	6.88	6.46	0.70	0.68
Longitud de la canal (cm)	58.35	58.5	0.59	0.86
Profundidad del tórax (cm)	17.25	17.29	0.44	0.95
Longitud de la pierna (cm)	34.40	33.55	0.73	0.43
Perímetro de la pierna (cm)	42.44	42.67	0.41	0.70

¹Dieta basal sin (testigo) y con el ácido ferúlico.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de peso de órganos y vísceras en corderas suplementadas con o sin AF. El peso del estómago tuvo una tendencia ($P = 0.08$) a decrecer por efecto del AF en la dieta, aunque no se observaron diferencias ($P \geq 0.15$) sobre los otros órganos y vísceras entre corderas alimentadas o no con AF.

Cuadro 4. Componentes no cárnicos de la canal en corderas suplementadas y no suplementadas con el ácido ferúlico.

	Tratamientos ¹		E.E.	Valor de P
	Testigo	Ácido ferúlico		
Sangre (%)	4.46	4.43	0.15	0.89
Cabeza (%)	5.66	5.94	0.15	0.22
Piel (%)	9.78	9.98	0.43	0.75
Patas (%)	2.30	2.43	0.07	0.28
Corazón (%)	0.49	0.50	0.02	0.67
Pulmones (%)	1.49	1.43	0.06	0.56
Hígado (%)	2.17	2.07	0.08	0.42
Riñones (%)	0.32	0.31	0.02	0.64
Peritoneo (%)	4.42	3.53	0.39	0.14
Grasa mesentérica (%)	2.79	2.43	0.22	0.29
Estómago (%)	3.62	3.25	0.14	0.08
Intestino (%)	3.23	3.23	0.23	0.98
Bazo (%)	0.32	0.34	0.06	0.82

¹ Dieta sin (testigo basal) y con el ácido ferúlico.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de rendimiento de cortes primarios en las corderas suplementadas o no con AF. Se observó un incremento de 4.6% en el porcentaje de pierna ($P = 0.02$) por efecto de la suplementación con AF. Sin embargo, no se observó diferencia ($P \geq 0.15$) sobre otros cortes primarios (cuarto delantero, (paleta, costillas, pescuezo), cuarto trasero (lomo, lomo plano y sirlon) debido a AF.

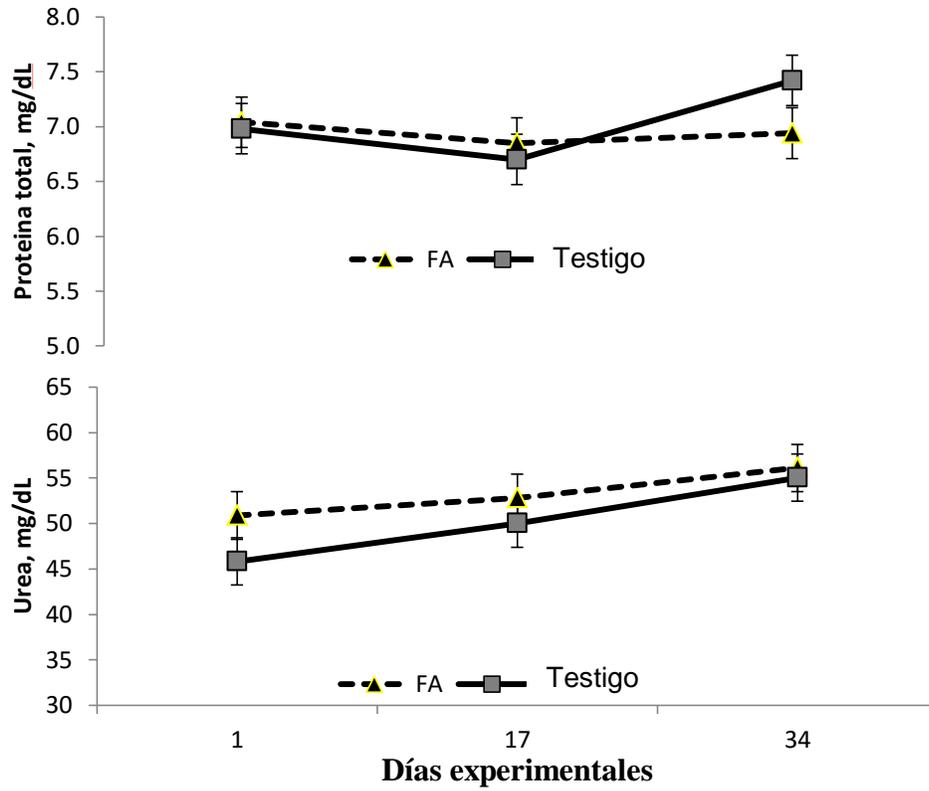
Cuadro 5. Rendimiento de cortes mayores de corderas suplementadas y no suplementadas con el ácido ferúlico.

	Tratamientos ¹		E.E.	Valor de P
	Testigo	AF		
Cuarto delantero (%)	51.34	51.29	0.42	0.93
Cuarto trasero (%)	48.66	48.71	0.42	0.93
Cuello (%)	4.25	4.57	0.17	0.23
Paleta (%)	23.96	24.52	0.70	0.58
Costilla (%)	19.67	17.98	0.45	0.15
Lomo (%)	9.60	9.46	0.19	0.62
Pierna (%)	23.88	24.98	0.33	0.02
Lomo plano (%)	8.45	8.13	0.36	0.54
Sirlon (%)	10.18	10.35	0.28	0.62

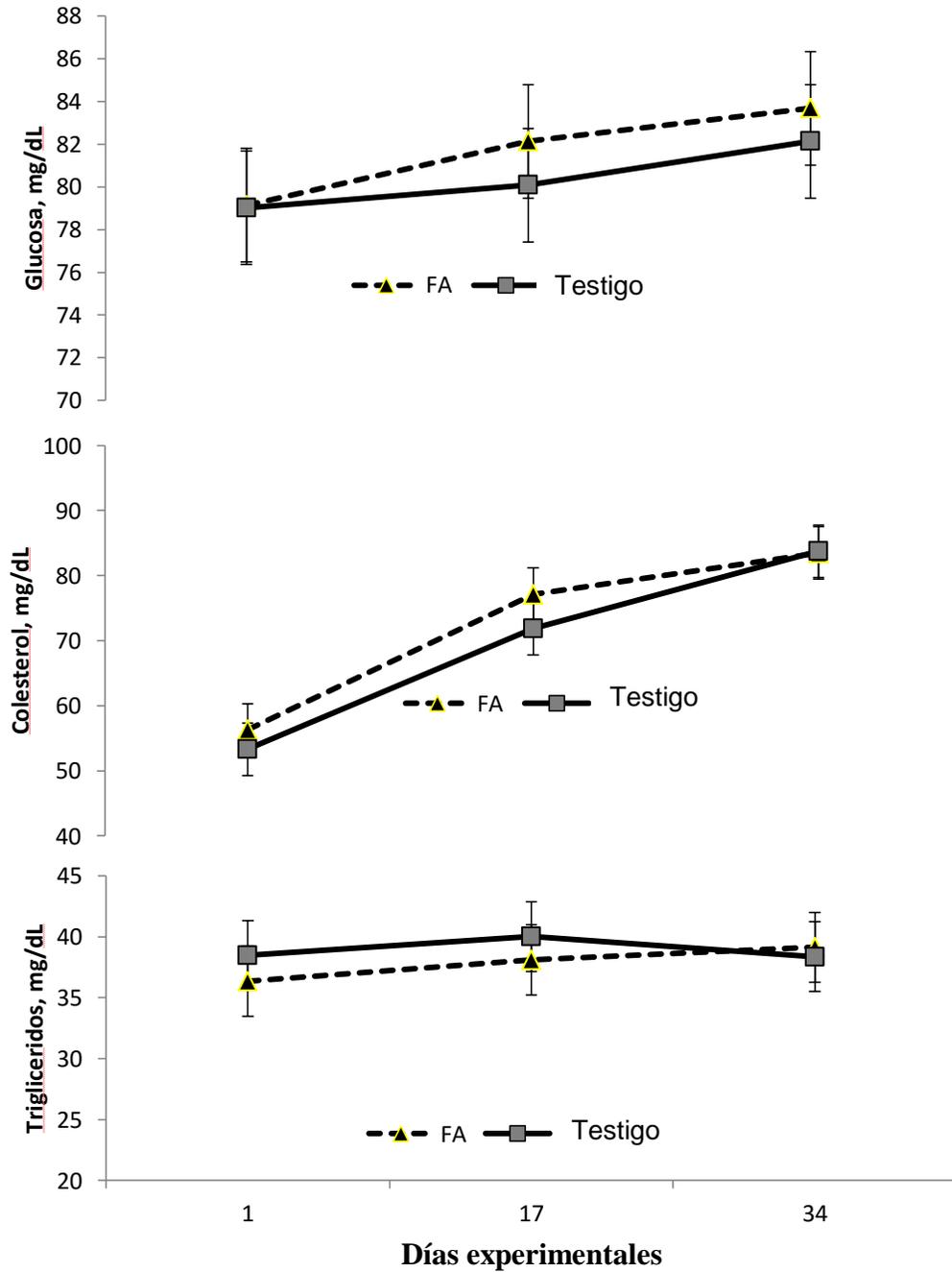
¹Dieta basal sin (testigo) y con el ácido ferúlico.

4.3. Metabolitos sanguíneos

En el Figura 1 y 2 se presentan los resultados de metabolitos séricos en corderas suplementadas o no con AF. No se observó efecto de interacción AF x días de alimentación, así mismo del efecto principal de AF ($P \geq 0.20$) en ninguno de los metabolitos analizados. Adicionalmente, los días de alimentación no afectaron ($P \geq 0.20$) la concentración sérica de glucosa, triglicéridos y proteína total. En el caso de colesterol y urea, se observó que los niveles fueron bajos al día 1, intermedios al día 2 y altos al día 3 del periodo de alimentación.



Gráfica 1. Efecto de suplementación del ácido ferúlico y días de alimentación sobre los niveles de proteína total y urea en suero sanguíneo de corderas.



Gráfica 2. Efecto de suplementación del ácido ferúlico y días de alimentación sobre los niveles de glucosa, colesterol y triglicéridos en suero sanguíneo de corderas.

5. DISCUSIÓN

5.1. Prueba de comportamiento

Los resultados de este estudio demuestran que la suplementación de AF no mejoró el crecimiento de las corderas finalizadas en corraletas individuales; por el contrario, tendió a disminuirlo sin afectar el consumo de materia seca. Sin embargo, en otras especies como bovinos (Gonzalez-Río et al., 2013) y porcinos (Herrera et al., 2011) se ha reportado una mayor ganancia diaria de peso por el efecto del AF, ya que se le atribuyen funciones como antioxidante (Ou and Kwok, 2004; Gladine et al., 2007) y agonista-beta (Gonzalez-Río et al., 2013). Otros estudios realizados con ovejas informan que el AF no afecta la ganancia diaria de peso ni el consumo de materia seca (Gladine et al., 2007; Soberon et al., 2012), lo cual coincide parcialmente con nuestros resultados considerando que el crecimiento de los corderas tendió a disminuir en los últimos 17 días, y en general, durante todo los 34 días del periodo experimental. Esto puede atribuirse a lo argumentado por Gorewit, (1983) quien expone que el mecanismo endocrino por el cual el AF pueda promover el crecimiento no está definido en bovinos de carne, menos en la especie ovina.

El y-orizanol es un suplemento rico en AF que ha sido utilizado para incrementar la masa muscular tanto en humanos como en los animales por considerarse un anabólico (Fry et al., 1997). Recientemente, Mösseler et al. (2010) reportaron que la suplementación del y-orizanol no tuvo ningún efecto sobre el desarrollo muscular en atletas o en caballos. En general, estos dos estudios llegaron a la conclusión que el AF no funciona como un compuesto anabólico, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este estudio. En animales con altos

niveles de estrés oxidativo, existe la posibilidad que el AF funcione como un promotor de crecimiento (Mason, 2007). Basado en este reporte, la falta de efecto del AF como promotor de crecimiento, podría atribuirse a la presencia de un estrés oxidativo bajo en las corderas utilizadas durante este estudio.

Los resultados obtenidos de comportamiento productivo coinciden parcialmente con los hallazgos de otros estudios realizados en ovinos (Gladine et al., 2007; Soberon et al., 2012), los cuales reportaron que no existe efecto del AF sobre el crecimiento, la eficiencia alimenticia ni el consumo de materia seca. Sin embargo, en este estudio, el crecimiento presentó una tendencia negativa en las corderas suplementadas con AF en los últimos 17 días del periodo de alimentación, lo cual se reflejó sobre el crecimiento general que presentaron las corderas en los 34 días del periodo de alimentación. Una explicación clara de estos resultados no se tiene. Algunos estudios realizados *in vitro* con líquido ruminal encontraron un efecto inhibitor del AF en la degradación de la celulosa y el crecimiento microbiano, lo que se atribuyó a la capacidad de este fenol para dañar las membranas celulares y para inactivar enzimas que hidrolizan la pared celular (Chesson et al., 1982; Borneman et al., 1986). Congruente con estos autores, Marvin et al. (1996) encontraron una correlación negativa entre la liberación de AF de las paredes celulares del maíz en el rumen y digestibilidad de la materia orgánica y la pared celular. En contraste, Jung (1988) argumentó que, en comparación con los experimentos *in vitro*, *in vivo* es poco probable observar una reducción en la digestibilidad del rumen por efecto este fenol, ya que la concentración del AF soluble obtenida a partir del complejo carbohidrato-fenol es baja, desintoxicándose rápidamente las bacterias del rumen. No obstante, la dosis del AF ofrecida a las corderas estudiadas fue mayor que el producido por la

digestión de forraje en el rumen. En este sentido, es posible que el AF libre ofrecido al principio del estudio fue desintoxicado de manera eficiente por los microorganismos del rumen, y por lo tanto, no afectó el crecimiento de las corderas; pero la capacidad para desintoxicar se redujo posteriormente, una situación que alteró negativamente la dinámica de crecimiento de la población microbiana y la digestión de nutrientes. Por ello, se especula que los períodos prolongados de alimentación con este compuesto podría con el tiempo promover una reducción de la población microbiana del rumen y en consecuencia, los cambios negativos graduales en la digestibilidad de la dieta y crecimiento de los corderos.

5.2. Características de la canal

Por otra parte, la suplementación con AF no alteró las características de la canal, el único cambio que se observó fue un aumento en el rendimiento de piernas. Por lo tanto, estos resultados sugieren que el AF no tiene ninguna función anabólica en corderas como se ha observado en bovinos de carne (González-Ríos et al., 2013) y en cerdos (Herrera et al., 2011). Es posible que los efectos de este fenol en ovinos se reduce a una acción antioxidante (Gladine et al., 2007), lo que explica la falta de efecto AF en todas las características de la canal y en cortes primarios.

De acuerdo con nuestros resultados, Ortega-Flores et al. (2015) encontraron que el peso y rendimiento de canal caliente y fría no fueron afectados por alimentar corderos machos Dorper x Katahdin durante 28 d con 7 ppm de AF/kg de peso vivo. De igual manera, otros estudios no encontraron mejoras en características de la canal y rendimiento de cortes primarios por la adición de plantas completas o extractos de plantas con propiedades antioxidantes en dietas de engorda para

ovinos (Tavasoli et al., 2009; Omer et al., 2013), cabras (Karami et al., 2010) o novillos (Zhou et al., 2014). Se requiere investigación para determinar por qué el AF no funcionó como promotor de crecimiento en el presente estudio. Específicamente, se necesita más estudios para determinar los factores que influyen en su eficacia en el ganado ovino.

Por otra parte, no se encontró ningún estudio donde hayan evaluado el efecto de AF sobre el peso de órganos y vísceras en ovinos u otra especie. Sin embargo, los resultados de este estudio muestran que AF no modificó el peso de los órganos o vísceras en corderas de engorda, al menos a una dosis de 300 mg/d y usando genotipos de pelo. Sin embargo, el hecho que los pesos de los componentes de no canal no fueron afectados por AF, termina demostrando que este fenol no actúa como el agonista adrenérgico clorhidrato de zilpaterol en ovinos. Estudios previos donde suplementaron corderas con zilpaterol encontraron que había una movilización de nutrientes a partir de órganos y vísceras para la síntesis de proteína e hipertrofia muscular en corderas (Avendaño-Reyes et al., 2011; Dávila-Ramírez et al., 2014). Por lo tanto, se podría deducir que AF actúa en forma diferente en ovinos que en bovinos, ya en estos último patentaron el AF como un aditivo que funcionaba como promotor de crecimiento por tener una acción similar al clorhidrato de zilpaterol (González-Ríos et al., 2013; Herrera et al., 2011).

5.3. Metabolitos sanguíneos

Acorde a la literatura consultada, este es el primer estudio en ovino que reporta los efectos del AF en concentraciones de metabolitos sanguíneos. Los resultados sugieren que el AF no afecta la concentración metabolitos relacionados

con el metabolismo energético (glucosa), de grasas (colesterol y triglicéridos) y proteínas (urea y proteína total). Los niveles encontrados de los metabolitos estuvieron dentro de los rangos de referencia (Kaneko et al., 2008), lo que sugiere que las ovejas utilizadas tenían un estado de salud adecuado. En general, se esperan alteraciones en los niveles de los metabolitos sanguíneos por efecto de la AF en corderas, ya que estudios anteriores indican que los corderos en crecimiento presentan un elevado estrés oxidativo debido a un acelerado metabolismo (Nussey et al., 2009; Salar-Amoli y Baghbanzadeh, 2010). Esta situación puede llevar a problemas de salud en las corderas, y también provocar cambios metabólicos que se reflejan en un desbalance en los niveles de metabolitos (Drackley, 1999). De hecho, en ratas diabéticas con alto estrés oxidativo, Yoo et al. (2012) y Roy et al. (2014) reportaron que la suplementación con AF mejoró el estado oxidativo, mientras que las concentraciones de glucosa e insulina en sangre regresaron a niveles normales. Además, Yoo et al. (2012) encontraron una disminución en los niveles de colesterol total y de lipoproteínas de baja densidad, sin ningún cambio en los niveles triglicéridos por efecto del AF. Otros estudios experimentales demuestran que la adición del AF en dieta para ratas adultas no tuvo ningún efecto sobre los niveles de colesterol en el plasma sanguíneo (Kamal-Eldin et al., 2000). Yogeeta et al. (2006) evaluaron los beneficios del AF en ratas con infarto inducido, encontrando niveles de triglicéridos en el suero sanguíneo similares a los resultados encontrados en este estudio. Además, la suplementación con AF redujo significativamente los niveles elevados de ácidos grasos libres, triglicéridos, colesterol y fosfolípidos en

ratas diabéticas inducidas con estreptozotocina hiperlipidémicos, según lo reportado por Somsuvra et al. (2010).

En el presente estudio, no se midieron variables relacionadas con el estrés oxidativo, sin embargo, con base en informes anteriores sobre el impacto del AF en las concentraciones de metabolitos sanguíneos en ratas, en la presente investigación se formuló la hipótesis de que el estado oxidativo en nuestras corderas fue bajo debido a que el AF no alteró la concentración de metabolitos. Por lo tanto, un estrés oxidativo bajo en las corderas puede ser responsable de la falta de efectos de AF en los niveles de los metabolitos sanguíneos. Así, al menos en el nivel de AF suplementado en este experimento, se deduce que este fenol no afecta el metabolismo energético, de grasa ni de síntesis de proteína en corderas. Posiblemente, replicar este experimento en condiciones de estrés ambiental, el cual provoque un incremento en el estrés oxidativo de las corderas, podría ser una opción para verificar si el AF actúa como antioxidante en el metabolismo energético.

6. Conclusiones

Bajo las condiciones de este experimento se concluye que, la suplementación con 300 mg/d de AF no mejora el comportamiento productivo ni las características de canal en en corderas Dorper x Pelibuey finalizadas en corral. Contrariamente, si se ofrece durante periodos prolongado en dosis de 300 mg/d, podría tener un impacto negativo sobre la tasa de crecimiento, lo cual puede deberse a su efecto bactericida. En general, los resultados de este experimento demuestran que el AF no tiene un efecto anabólico como en estudios previos se ha mencionado, y que posiblemente sus beneficios como promotor de crecimiento se pueden deber a la capacidad antioxidante que tiene.

Se requiere hacer más estudios bajo distintos escenarios ambientales y de manejo, así como usando diferentes dosis, para poder tener resultados concluyentes sobre el impacto que tiene el ácido ferúlico como promotor de crecimiento.

7. Literatura citada

- Aboagyea, I. A., J. P. Lynchb, J. S. Churcha, J. Baahb, and K. A. Beaucheminb. 2015. Digestibility and growth performance of sheep fed alfalfa hay treated with fibrolytic enzymes and a ferulic acid esterase producing bacterial additive. *Anim. Feed Sci. Techn.* 203: 53-66.
- Acosta, A. H., Y. R. Jorge, I. Q. Valencia-López y O. V. Villegas. Obtención de ácido ferúlico por hidrólisis de maíz. *Ciencias Biológicas y de la Salud*, Universidad autónoma Metropolitana Xochimilco, México D.F. Disponible en línea: <http://es.scribd.com/doc/149856646/iencias>. (Accesado el 25 de mayo 2015).
- Adom, K. K., and R. H. Liu. 2002. Antioxidant activity of grains. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6182-6187.
- Arteaga, C. J. D. 2006. Situación de la ovinocultura y sus perspectivas. Mem. Primera semana nacional de ovinocultura. Día demostrativo. El papel del mejoramiento genético en la producción de la carne de ovino. Tulancingo, Hidalgo, México.
- Avello M. y M. Suwalsky. 2006. Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. 161-172.
- Avendaño, R. L., U. Macías-Cruz, F. D. Álvarez-Valenzuela, E. Águila-Tepato, N. G. Torrentera-Olivera and S. A. Soto-Navarro. 2011. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and wholesale cut yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *J. Anim. Sci.* 84.

- Balasubashini M. S., R. Rukkumani, P. Viswanathan, and V. P. Menon. 2004. Ferulic acid alleviates lipid peroxidation in diabetic rats. *Phytother Res.* 18: 310– 314.
- Barber, M. S., S. V. McConnell, and B. S. DeCaux. 2000. Antimicrobial intermediates of the general phenylpropanoid and lignin specific pathways. *Phytochemistry* 54: 53-56.
- Benítez-Zequiera, D. E. 2006. Vitaminas y oxidorreductasas antioxidantes: defensa ante el estrés oxidativo. *Rev. Cubana Invest. Biomed.* 25: 1-8.
- Besle, J. M., J. P. Jouany, and A. Cornu. 1995. Transformations of structural phenylpropanoids during cell wall digestion. *FEMS Microbiol. Rev.* 16: 33-52.
- Blanco-Gámez, E. A. 2012. Identificación y caracterización de la esterasa del ácido ferúlico de *Bacillus Flexus* NJY2 aislado del najote de maíz. Tesis de Doctorado en la Facultad de Ciencias Químicas en la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Blanco-Ochoa, M. A. 2007. Producción de leche de borrega. *Boletín Técnico Virtual. Bovinotecnia.* 13. Disponible en línea : <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/departamentos/rumiantes/bovinotecnia/BtRqOrD001.htm> . (Accesado el 25 de Agosto 2015).
- Borneman, W. S., D. E. Akin and W. P. Van Eseltine. 1986. Effect of phenolic monomers on ruminal bacteria. *Appl. Environ. Microb.* 52: 1331–1339.
- Buranov, A. U., and G. Mazza. 2009. Extraction and purification of ferulic acid from flax shives, wheat and corn bran by alkaline hydrolysis and pressurised solvents. *J. Agri. Food Chem.* 55: 8548–8555.
- Cartea, M. E., M. Francisco, P Soengas and P. Velasco. 2010. Phenolic Compounds in *Brassica* Vegetables. *Molecules.* 16: 251-280.

- Cherney, D. J. R., J. H. Cherney, and J. J. Volenec. 1993. Inhibition of structural carbohydrate fermentation by cellulase filtrates of alfalfa. *J. Appl. Anim. Res.* 3: 19–30.
- Chesson, A., C. S. Stewart and R. J. Wallace. 1982. Influence of plant phenolic acids on growth and cellulolytic activity of rumen bacteria. *Appl. Environ. Microb.* 44: 597–603.
- Córdova-Izquierdo, A., C. G. Ruiz-Lang, C. A. Córdova-Jiménez, M. S. Córdova Jiménez, J. E. Guerra Liera, B. E. Rodríguez Denis y K. Arancibia Salinas. 2009. Estrés oxidativo y antioxidantes en la conservación espermática. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias.* 3: 01-38.
- Daniels, J. T., P. G. Hatfield, D. E. Burgess, R. W. Kottt and J. G. Bowman. 2000. Evaluation of ewe and lamb immune response when ewes were supplemented with vitamin E. *J. Anim. Sci.* 78:2731-2736.
- Dávila-Ramírez, J. L., U. Macías-Cruz, N. G. Torrentera-Olivera, H. González-Ríos, S. A. Soto-Navarro, R. Rojo-Rubio, and L. Avendaño-Reyes. 2014. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of hair-breed ram lambs under heat stress conditions. *J. Anim. Sci.* 92:1–9.
- De la Parra, C., S. O. Serna Saldívar and L. R. Hai. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agr. Food. Chem.* 55:4177-4183.
- De Lucas, T. J., y A. S. Arbiza. 2000. *Producción Ovina en el Mundo y México.* Editores Mexicanos Unidos S.A. ISBN 968-15-0987-0.

- De Paiva, L. B., G. Rosana, W. D. Dos Santos and F M Squina. 2013. Ferulic acid and derivatives: molecules with potential application in the pharmaceutical field. *Brazilian J. Pharm Sci.* 4: 3.
- Decker, E. A. 1995. The role of phenolics, conjugated linoleic acid, carnosine, and pyrroloquinoline quinone as nonessential dietary antioxidants. *Nutr. Rev.* 53:49–58.
- Dos Santos, W. D., M. L. L. Ferrarese and O. Ferrarese-Filho. 2008. Ferulic Acid: An Allelochemical Troublemaker. *Funct. Plant Sci. and Biotech.* 2: 47-55.
- Dos Santos, W., M.L.L. Ferrarese, C.V. Nakamura, K.S.M. Mourão, C.A. Mangolin and O. Ferrarese-Filho. 2008. Soybean (*Glycine max*) root lignification induced by Ferulic Acid. The possible mode of action. *J. Chem. Ecol.* 34:1230-1241.
- Elejalde-Guerra, J. I. 2001. Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes. *An. Med. Interna.* 18: 326-335.
- Eroğlu, C. M. Seçme., G. Bağcı and Y. Dodurga. 2015. Assessment of the anticancer mechanism of ferulic acid via cell cycle and apoptotic pathways in human prostate cancer cell lines. *Tumor Biol.* DOI 10.1007/s13277-015-3689-3.
- FAO. 2014. Regional Office for Latin America and the Caribbean. Disponible en línea: <http://www.fao.org/americas/perspectivas/ganaderia/en/>
- Faulds C. B., and G. Williamson. 1999. The role of hydroxycinnamates in the plant cell wall. *J. Sci. Food Agric.* 79: 393–395.
- FND, 2015. Panorama de la carne y lana de ovino. Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

- Friedman, M., and H. S. Jurgens. 2000. Effect of pH on the Stability of Plant Phenolic Compounds. *J. Agric. Food Chem.* 48: 2101-2110.
- Fry, A. C., E. Bonner, D. L. Lewis, R. L. Johnson, M. H. Stone, and W. J. Kraemer. 1997. The effects of gamma-oryzanol supplementation during resistance exercise training. *Int. J. Sport Nutr.* 7:318–329.
- García, A. A. y E. P. Urria-Carril. 2009. Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal.* 2: 119-145.
- García, E. 1985. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 2da ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México: México, DF.
- Ghatak, S. B and S. J. Panchal. 2010. Ferulic Acid – An Insight Into Its Current Research and Future Prospects. *Trends Food Sc. Techn.* 10.1016/j.tifs.2010.11.004.
- Gladine, C., E. Rock, C. Morand, D. Baucharat, and D. Durand. 2007. Bioavailability and antioxidant capacity of plant extracts rich in polyphenols, given as a single acute dose, in sheep made highly susceptible to lipoperoxidation. *Br. J. Nutr.* 98: 691–701.
- González-Ríos, H., D. A. Gil, and A. Berrondo. 2013. Ferulic acid as feed supplement in beef cattle to promote animal growth and improve the meat quality of the carcass and the meat. U.S. patent published in February 14, 2013, with number US20130041036A1. <http://www.faqso.org/patents/app/20130041036>. (Accessed August 6, 2014.)
- Gorewit, R. C. 1983. Pituitary and thyroid hormone responses of heifers after ferulic acid administration. *J. Dairy Sci.* 66: 624–629.

- Graf, E. 1992. Antioxidant potential of ferulic acid. *Free Radic. Biol. Med.* 13: 435–448.
- Grande B. C., M. S. García-Falcón and J. Simal-Gándara. 2000. El uso de los antibióticos en la alimentación animal: perspectiva actual the use of antibiotics in animal feeds: an actual perspective o uso Dos antibióticos na alimentación animal: perspectiva actual. *Ciencia y Tecnología Alimentaria.* 3: 39-47.
- Heinonen, M., D. Rein, M. T. Satue-Gracia, S. W. Huang, J. B. German, and E. N. Frankel. 1998. Effect of protein on the antioxidant activity of phenolic compounds in a lecithin–liposome oxidation system. *J. Agric. Food Chem.* 46: 917–922.
- Hernanz, D., V. Nunez, A. I. Sancho, C. B. Faulds, G. Williamson, B. Bartolome, and C. Gomez-Cordoves. 2001. Hydroxycinnamic acids and ferulic acid dehydrodimers in barley and processed barley. *J. Agric. Food Chem.* 49: 4884–4888.
- Herrera, R., M. L. Alejo, and A. J. Asaff. 2011. Methods to accelerate muscle development, decrease fat deposits, and enhance feeding efficiency in pigs. U.S. patent published in February 24, 2011, with number 20110046224. (Accessed October 14, 2014.)
- Hlasiwetz, H., and L. Barth. 1866. Ueber einige Harze. Zersetzungsproducte derselben durch schmeizendes Kali. *Ann.* 138: 61-76.
- Huerta-Jiménez, M., M. E. Ortega-Cerrilla, M. C. Peralta, J. G. Herrera-Haro, A. Díaz-Cruz y R. G. Perrusquía. 2005. Estrés oxidativo y el uso de antioxidantes en animales domésticos. *INCI* 30:12. Disponible en línea:

http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S037818442005001200002&script=sci_arttext . (Accesado el 30 de mayo 2015).

- Jung, H.G. and G.C. Fahey. 1983. Nutritional implications of phenolic monomers and lignin. *J. Anim. Sci.* 57: 1294–1305. (review).
- Kamal-Eldin, A., J. Frank., A. Razdan., S. Tengblad., S. Basu., and B. Vessby. 2000. Effects of Dietary Phenolic Compounds on Tocopherol, Cholesterol, and Fatty Acids in Rats. *Lipids.* 35: 427-435.
- Kanagalakshmi, A. B. Agilan, S. Mohana, D. Ananthakrishnan, D. Velmurugan, R. Karthikeyan, M. Ganesan, G. Srithar and N. P. Rajendra . 2014. Ferulic acid modulates ultraviolet-B radiation mediated inflammatory signaling in human dermal fibroblasts. *J. Res. Bio.* 2231–6280.
- Karami, M., A. R. Alimon, Y. M. Goh, A. Q. Sazili and M. Ivan. 2010. Effect of dietary herbal antioxidants supplemented on feedlot growth performance and carcass composition of male goat. *Amer J. Anim. Vet. Sci.* 5: 33-39.
- Kawabata, K., T. Yamamoto, A. Hara, M. Shimizu, Y. Yamada, and Matsunaga, K. 2000. Modifying effects of ferulic acid on azoxymethane-induced colon carcinogenesis in F344 rats. *Cancer Letters.* 157: 15–21.
- Kayahara, H., Z. Miao, and G. Fujiwara. 1999. Synthesis and biological activities of ferulic acid derivatives. *Department Biosci. Biotech.* 19: 3763-8.
- Kim, H. K., T. S. Jeong, M. K. Lee, Y. B. Park and M. S. Choi. 2003. Lipid lowering efficacy of hesperidin metabolites in high-cholesterol fed rats. *Clin. Chim. Acta.* 327: 129-137.
- Kroon, A. P., and G. Williamson. 1999. Hydroxycinnamates in plants and food: Current and future perspectives. *J. Sci. Food Agric.* 79: 355–361.

- Kumar, C., A. Kamle, and A. Kamal. 2013. Purification and biochemical characterization of feruloyl esterases from *Aspergillus terreus* MTCC 11096. *Biotechnol Progres.* 29: 924-932.
- Li, T., and J. P. N. Rosazza. 1999. Biocatalytic synthesis of vanillin. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 684-687.
- Martínez, F. S., G. J. González, J. M. Culebras y M. J. Tuñón. 2003. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria.* 17: 271–278.
- Martínez-Partida, J. A., L. Jiménez-Sánchez, J. G. Herrera-Haro, E. Valtierra-Pacheco, E. Sánchez-López y M. C. López-Reyna. 2011. Ganadería ovino - caprina en el marco del programa de Desarrollo rural en Baja California. 27: 331-344.
- Marvin, H. J. P., C. F. Krechting, E. N. V. van Loo, C. H. A. Sniijders, A. Lommen, and O. Dolstra. 1996. Relationship between phenolic acids formed during rumen degradation of maize samples and in vitro digestibility. *J. Sci. Food Agric.* 71: 111–118.
- Mason, P. 2007. *Dietary Supplements.* 3rd ed. Pharmaceutical Press, London, UK. p 139–140.
- Mathew, S., and T. Abraham. 2004. Ferulic Acid: An Antioxidant Found Naturally in Plant Cell Walls and Feruloyl Esterases Involved in its Release and Their Applications. *Crit. Rev. Biotechnol.* 24: 59-83.
- Medrano, J. A. 2000. Recursos animales locales del centro de México. *Arch. Zootec.* 49: 385-390.
- Mösseler, A., S. Licht, L. Wilhelm, and J. Kamphues. 2010. Can oral intake of gamma-oryzanol (experimentally given as a pure substance) result in doping

relevant testosterone levels in the uterine of mares and geldings? In: A. D. Ellis, A. C. Longland, M. Coenen, and N. Miraglia, editors, The impact of nutrition on the health and welfare of horses. Wageningen Academic Publishers, Cirencester, UK. p. 293–295.

Muñoz J. A. M., y F. R. Escudero. 2007. Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. *Revista Horizonte Médico* 7: 23-31.

Mussatto, S. I., G. Dragone, and I. C. Roberto. 2007. Ferulic and p-coumaric acids extraction by alkaline hydrolysis of brewer's spent grain. *Ind. Crop. Prod.* 25: 231-237. Abstract available: 10.1016/j.indcrop.2006.11.001. (accessed August 12, 2015).

Norma Oficial Mexicana. NOM-033-ZOO-1995, Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=677303.

Norma Oficial Mexicana. NOM-051-ZOO-1995, Norma oficial para trato humanitario en la movilización de animales. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=677303.

NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small ruminants, sheep, goats, cervids, and new world camelids (1st Ed.). National Academy Press, Washington, DC.

Nussey, D. H., J. M. Pemberton, J. G. Pilkington, and J. D. Blount. 2009. Life history correlates of oxidative damage in a free-living mammal population. *Funct. Ecol.* 23: 809–817.

Omer, H. A. A., S. S. Abdel-Magid, A. Y. El-Badawi, I. M. Awadalla, M. I. Mohamed, and M. S. Zaki. 2013. Nutritional impact for the whole replacement of

- concentrate feed mixture by dried sugar beet pulp on growth performance and carcass characteristics of Ossimi sheep. *Life Sci. J.* 10: 1987–1999.
- Ortega-Flores, O., G. Villalobos-Villalobos, D. Domínguez-Díaz, G. Corral-Flores, J. A. Ortega-Gutiérrez, y F. Castillo-Rangel. 2015. Comportamiento productivo de corderos en finalización suplementados con ácido ferúlico y ferulato de etilo. *Memorias de XXV Reunión Internacional Sobre Producción De Carne Y Leche En Climas Calidos*. Ensenada, México. Pp. 336-339.
- Ou, S., and K. Kwok. 2004. Ferulic acid: Pharmaceutical functions, preparation and applications in foods. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1261–1269.
- Partida De La Peña, J.; D. Braña, H. Jiménez, y G. Buendía. 2013. Producción de Carne Ovina. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Ajuchitlán, México. 116 p.
- Pokorny, J., N. Yanishlieva, and M. Gordon. 2001. *Antioxidants in Food: Practical Application*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC; (Eds.).
- Porras-Loaiza, A. P. y A. López-Malo. 2009. Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 3: 121-134.
- Rosazza, J., Z. Huang, L. Dostal, T. Volm, and B. Rousseau. 1995. Biocatalytic transformations of ferulic acid: an abundant aromatic natural product. *J. Ind. Microbiol.* 15: 457–471.
- Rose, D. J., G. E. Inglett, and S. X. Liu. 2010. Utilization of corn (*Zea mays*) bran and corn fiber in the production of food components. *J. Sci. Food Agric.* 90: 915–924.

- Roy, S., S. K. Metya, N. Rahaman, S. Sannigrahi, and F. Ahmed. 2014. Ferulic acid in the treatment of post-diabetes testicular damage: Relevance to the down regulation of apoptosis correlates with antioxidant status via modulation of TGF- β 1, IL-1 β and Akt signaling. *Cell Biochem. Funct.* 32: 115–124.
- SAGARPA, 2001. Programa Sectorial de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación 2001-2006.
- Salar-Amoli, J. and A. Baghbazadeh. 2010. Oxidative stress in Shaal sheep of different age groups. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 34: 379-383.
- Salinas, M. Y. 2000. Antocianinas en granos de maíces criollos mexicanos. Tesis de maestría. Colegios de posgraduados. Montecillo, Mexico. 102 pp.
- Salleh, N. H. M., D. M. Z. Mohamed., A. Dachyar., A. M. Syarhabil and I. K. S. Ku. 2011. Optimization of alkaline hydrolysis of paddy straw for ferulic acid extraction. *Ind. Crop. Prod.* 34: 1635-1640. Abstract Available from: 10.1016/j.indcrop.2011.06.010. (accessed August 12, 2015).
- SAS INSTITUTE. 2004. SAS/STAT: User's guide statistics released 9.1 (2nd Ed.) SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- SIAP. 2013. Servicio de Información agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. http://www.siap.gob.mx/?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=
- Consultado el 26 de agosto de 2015.
- SIAP. 2014. Servicio de Información agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. http://www.siap.gob.mx/?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=
- Consultado el 26 de agosto de 2015.
- Smith, G. C., D. B. Griffin and J. H. Kenneth. 2001. Meat evaluation handbook revision committee. *Am. Meat Sci. Assoc.* 117-137.

- Soberon, M. A., D. J. R. Cherney, and J. H. Cherney. 2012. Free ferulic uptake in ram lambs. *J. Anim. Sci.* 90: 1885–1891.
- Somsuvra B. G., and S. J. Panchal. 2010. Evaluation of the anti-hyperlipidemic activity of oryzanol, isolated from crude rice bran oil, on Triton WR-1339-induced acute hyperlipidemia in rats. *World Ayurveda Congress, 2010* Bengaluru, India.
- Soo, M. K., W. C. Rico, C. S. Lee, and M. Y. Kang. 2010. Modulatory Effect of Rice Bran and Phytic Acid on Glucose Metabolism in High Fat-Fed C57BL/6N Mice. *J. Clin. Biochem. Nutr.* 47: 12–17.
- Sosa E. E., D. Pérez, L. Ortega y G. Zapata. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Tec. Pec. Mex.* 42: 129-144.
- Soto, D. L. 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Rev. Cub. Med. Mil.* 31: 126-33.
- Soto-Casas, L. F., D. Domínguez-Díaz, G. Villalobos-Villalobos, J. A. Ortega-Gutiérrez, F. Castillo-Rangel. 2015. Efecto de la suplementación de ácido ferulico sobre el consumo de alimento, ph ruminal y concentración de glucosa en plasma de vaquillas en la etapa de finalización. *Memorias de XXV Reunión Internacional Sobre Producción De Carne Y Leche En Climas Calidos.* Ensenada, México. Pp. 383-387.
- Sun, R. C., X. F. Sun, S. Q. Wang, W. Zhu, and X. Y. Wang. 2002. Ester and ether linkages between hydroxycinnamic acids and lignins from wheat, rice, rye, and barley straws, maize stems, and fast-growing poplar wood. *Ind. Crops Prod.* 15: 179–188.

- Tavasoli, H. A., M. Eslami, M. Mamouei, M. Chaji, and M. Bojarpour. 2009. The effect of Tasco (*Ascophyllum nodosum*) on carcass characteristics of finishing male Arabic lambs. *Res. J. Biol. Sci.* 4: 1148–1151.
- Teixeira, S., C. Siqueta, C. Alves, I. Boal, M. P. Marques, F. Borges, J. L. F. C. Lima and S. Reis. 2005. Structure property studies on the antioxidant activity of flavonoids present in diet. *Free Radical Bio. Med.* 15: 1099–1108.
- Torres A. A., M. O. Roberto y T. M. Mayra. 2004. Proceso de recuperación de ácido ferúlico. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. WO/110975 A1.
- Ulloa-Arvizua, R., A. Gayosso-Vázquez, y R. A. Alonso Morales. 2009. Origen genético del ovino criollo mexicano (*Ovis aries*) por el análisis del gen del Citocromo C Oxidasa subunidad I. *Téc. Pecu. Méx.* 47: 323-328.
- USDA, 1992. Oficial United States Standards for grades of lamb, yearling mutton and mutton carcasses. USDA, Agric. Mark. Serv., Washington, D.C.
- Vasco, C., J. Avila, and J. Ruales. 2009. Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav). *Int. J. Food Sci. Nutr.* 60: 278-288.
- Venereo-Gutierrez, J. R. 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Revista Cubana Medicinal Militar.* 31: 126-33.
- Viera-Ruiz, D., C. Castellanos-Oñate, y D. López-Castellanos. 2011. Los antioxidantes en la dieta y su importancia en la Conservación de la salud. *Medicentro.* 15: 254-256.
- Wang H., G. Cao, and R. L. Prior. 1997. The oxygen radical absorbing capacity and anthocyanins. *J. Agri Food Chem.* 45: 304-309.

- Williamson, G., C. Faulds, and P. Kroo. 1998. Specificity of ferulic acid (feruloly) esterases. *Biochem. Society Transactions*. 26: 205-209.
- Yogeeta, S. K., R. B. Hanumantra, A. Gnanapragasam, S. Subramanian, S. Rajakannu and T. Devaki. 2006. Attenuation of abnormalities in the lipid metabolism during experimental myocardial infarction induced by isoproterenol in rats: beneficial effects of ferulic acid and ascorbic acid. *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.* 98: 467-472.
- You, Y., K. Kim, H. G. Yoon, K. W. Lee, J. Lee, J. Chun, D. H. Shin, J. Park, and W. Jun. 2010. Chronic effect of ferulic acid from *Pseudosasa japonica* leaves on enhancing exercise activity in mice. *Phytother. Res.* 24: 1508–1513.
- Zhang, L., S. R. Anjaneya, R. K. Sundar, C. J. Sang, R. Narsimha, T. S. Paul, B. John, S. Kirubakaran, M. Gerald, and J. W. Ming. 2011. Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of Selected Medicinal Plants Containing Phenolic and Flavonoid Compounds. *J. Agri. Food Chem.* 59: 12361-12367.
- Zhao, Z., Y. Egashira, and H. Sanada. 2003. Digestion and absorption of ferulic acid sugar esters in rat gastrointestinal tract. *J. Agr. Food Chemical* 51: 5534-5539.
- Zhao, Z., Y. Egashira., and H. Sanada. 2004. Ferulic acid is quickly absorbed from rat stomach as the free form and then conjugated mainly in liver. *J.Nutr.* 134: 3083-3088.