



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE VITAMINA E HERBAL EN EL COMPORTAMIENTO
PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CARNE EN OVINOS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

MVZ. KARLA MITZUÉ VILLALOBOS ARIAS

Amecameca de Juárez, Estado de México, México. Noviembre 2021.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE VITAMINA E HERBAL EN EL COMPORTAMIENTO
PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CARNE EN OVINOS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

MVZ. KARLA MITZUÉ VILLALOBOS ARIAS

COMITÉ DE TUTORES:

DR. PEDRO ABEL HERNÁNDEZ GARCÍA

DR. ENRIQUE ESPINOSA AYALA

DR. HÉCTOR AARÓN LEE RANGEL

Amecameca de Juárez, Estado de México, México. Noviembre 2021.

RESUMEN

Se evaluó una mezcla herbal (*Ocimum sanctum* y *Emblica officinalis*) con actividad de vitamina E sobre el comportamiento productivo, calidad y análisis de compuestos volátiles de la carne de ovinos. Para obtener los metabolitos secundarios del compuesto polihierbal se utilizó un análisis por cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas con extracción de hexano. Para la realización de la parte productiva se usaron 42 ovinos cruzados Suffolk × Dorper utilizando un diseño experimental completamente al azar los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en tres tratamientos con 14 unidades experimentales cada uno, con la inclusión de 0.0, 0.1 y 0.2% de MS del compuesto herbal, esta parte del experimento tuvo una duración de 29 días. Para la evaluación de las variables de calidad de carne se sacrificaron los animales, posteriormente se obtuvo el rendimiento verdadero de la canal y se tomó una muestra del musculo *Longissimus dorsi* para evaluar pH, color y capacidad de retención de agua, estas muestras fueron empacadas al vacío y congeladas durante un año para poder realizar el análisis de compuestos volátiles de la carne. Los resultados de la caracterización del compuesto herbal mostraron una diversidad de metabolitos secundarios relacionados con la vitamina E como fitoesteroles, antioxidantes y ácidos grasos y la extracción permitió detectar 162 compuestos y además se detectó la presencia de aceites esenciales como timol y eugenol, lo que le confiere actividad antioxidante. En cuanto a resultados del comportamiento productivo se observaron efectos cuadráticos en ganancia de peso ($P=0.07$) y conversión alimenticia ($P=0.04$) además de incrementarse el pH ruminal ($P=0.008$) y la concentración de ácidos grasos volátiles totales ($P=0.09$), contrario a esto no se mostraron cambios en las variables

evaluadas de calidad de carne. El análisis de compuestos volátiles de la carne muestra una variabilidad de datos en un 98.8% y el análisis discriminante mostró que al incrementar la concentración del compuesto herbal se modificó la presencia de compuestos volátiles en la carne ($r^2= 0.91$; $P=0.07$). Por lo que se concluye que incluir 0.1 % del compuesto herbal (*Ocimum sanctum* y *Emblica officinalis*) en la dieta de corderos mejora la ganancia de peso y conversión alimenticia, además de mostrar ventajas de estabilidad de la carne después de un año de ser conservada en congelación.

Palabras clave: Antioxidantes, corderos, vitamina E herbal, compuestos volátiles, conservación de carne.

ABSTRACT

A herbal mixture (*Ocimum sanctum* and *Embllica officinalis*) with vitamin E activity was evaluated on the productive performance, quality and analysis of volatile compounds of sheep meat. To obtain the secondary metabolites of the polyherbal compound, a gas chromatographic analysis coupled with mass spectrophotometry with hexane extraction was used. For the realization of the productive part, 42 Suffolk x Dorper cross-bred sheep were used using a completely randomized experimental design which were randomly distributed in three treatments with 14 experimental units each, with the inclusion of 0.0, 0.1 and 0.2% DM of the herbal compound, this part of the experiment lasted 29 days. For the evaluation of the meat quality variables, the animals were sacrificed, later the true performance of the carcass was obtained and a sample of the *Longissimus dorsi* muscle was taken to evaluate pH, colour and water retention capacity, these samples were packed at Vacuum and frozen for one year to be able to perform the analysis of volatile compounds in meat. The results of the characterization of the herbal compound showed a diversity of secondary metabolites related to vitamin E such as phytosterols, antioxidants and fatty acids and the extraction allowed to detect 162 compounds and also the presence of essential oils such as thymol and eugenol was detected, which confers antioxidant activity. Regarding the results of the productive performance, quadratic effects were observed in weight gain ($P = 0.07$) and feed conversion ($P = 0.04$) in addition to increasing the ruminal pH ($P = 0.008$) and the concentration of total volatile fatty acids ($P = 0.09$), contrary to this, no changes were shown in the meat quality variables evaluated. The analysis of volatile compounds in the meat shows a data variability of 98.8% and the discriminant analysis showed that by

increasing the concentration of the herbal compound, the presence of volatile compounds in the meat was modified ($r^2 = 0.91$; $P = 0.07$). Therefore, it is concluded that including 0.1% of the herbal compound (*Ocimum sanctum* and *Emblica officinalis*) in the diet of lambs improves weight gain and feed conversion, in addition to showing advantages of meat stability after one year of being preserved in freezing.

Key words: Antioxidants, lambs, herbal vitamin E, volatile compounds, meat preservation.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	V
1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Ovinocultura	3
2.2. Alimentación en rumiantes.....	4
2.3. Aditivos en la alimentación de rumiantes.....	5
2.4. Fitoquímicos	5
2.5. Uso de plantas en nutrición animal.....	7
2.5.1. <i>Ocimum sanctum</i>	9
2.5.2. <i>Embllica officinalis</i>.....	10
2.6. Antioxidantes.....	11
2.6.1. Efecto antioxidante de los aditivos naturales.....	13
2.7. Empleo de vitaminas en dietas de animales de producción	13
2.7.1. Metabolismo de las vitaminas antioxidantes.....	14
2.7.2. Uso de la vitamina E	15
2.8. Radicales libres y estrés oxidativo.....	19
2.9. Oxidación lipídica.....	20
2.9.1. Mecanismo de la oxidación lipídica	22
2.10. Alternativas para incrementar la calidad del producto terminal.....	22
2.11. Determinación de compuestos por cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas	23
2.12. Cromatógrafo de nariz (nariz electrónica) para determinar calidad de carne....	24
3. JUSTIFICACIÓN	27
4. HIPÓTESIS.....	28
5. OBJETIVOS.....	29
5.1. General.....	29
5.2. Específicos.....	29

6. MATERIALES Y MÉTODOS	30
6.2. Animales y dietas	31
6.3. Comportamiento productivo	33
6.4. Fermentación ruminal	33
6.5. Características de la canal y calidad de la carne	33
6.6. Análisis de compuestos volátiles de la carne	34
6.7. Análisis estadístico	35
7. RESULTADOS	36
8. CONCLUSIONES	38
9. LITERATURA CITADA	39

1. INTRODUCCION

El uso de suplementos en nutrición animal es una práctica que se ha realizado para mejorar el rendimiento productivo y la salud del ganado y así incrementar las propiedades organolépticas y el valor nutricional de la carne (Jiang y Xiong, 2016). Los consumidores de productos cárnicos procuran la calidad de estos y rechazan el uso de productos químicos o sintéticos en la alimentación animal para no afectar la salud del consumidor (Valenzuela *et al.*, 2017), tal como la formación de toxinas que son formadas gracias al exceso de producción de radicales libres, estos son moléculas que tienen un electrón separado en la órbita más externa dándole una reacción muy elevada y producen cambios continuos dentro de las células a partir de procesos metabólicos que pueden estar relacionados con la adición de productos sintéticos (Salido y Fernández, 2002; Jiang y Xiong, 2016), las altas concentraciones pueden llevar al estrés oxidativo y perjudicar las funciones celulares; de forma natural el metabolismo tiene una red de defensa antioxidante pero no es eficiente para disminuir el exceso de radicales libres, así los nutrientes antioxidantes consumidos por los animales como las vitaminas pueden ayudar a minimizar los efectos dañinos y se pueden encontrar en fuentes vegetales (Aslani y Ghobadi, 2016).

Los aditivos herbales contienen fitobióticos que presentan funciones antioxidantes y antimicrobianas, actuando como promotores de crecimiento, además de presentar efectos positivos en la función inmunológica (Mirzaei y Hari, 2012; Valenzuela *et al.*, 2017). Existen alimentos naturales como las plantas que tienen alto contenido de vitaminas antioxidantes, estas contienen metabolitos secundarios los cuales se proporcionan a los animales con el fin de mejorar su salud, bienestar y producción, y así

favorecer la calidad de los productos cárnicos reduciendo la oxidación de forma que actúa contra los efectos adversos de los radicales libres (Jiang y Xiong, 2016). Los antioxidantes provenientes de plantas que contienen vitaminas y polifenoles existen en gran variedad y algunos son usados para reducir la oxidación (Salami *et al.*, 2016) y ayudar a reducir el exceso de radicales libres (Jiang y Xiong, 2016) como la vitamina E que es un antioxidante que protege la integridad de las membranas celulares de los efectos adversos que le confieren el oxígeno reactivo y los radicales libres, esta vitamina está almacenada en el cuerpo durante un corto tiempo, sin embargo contribuye a mejorar la respuesta inmune, reduce problemas de salud y la suplementación de dietas con vitamina E durante las últimas semanas del periodo de engorda puede aumentar el color y mejorar la estabilidad en cortes de carne (Spears y Weiss, 2012) por lo que, es recomendada para el crecimiento de los ovinos (NRC, 1985). En una investigación realizada por Qiao *et al.* (2012), se indicó que el uso de aditivos herbales en la alimentación de ovinos mejoraron la respuesta productiva, aumentando el peso de la canal con la suplementación de extracto de *Fructus Ligustri Lucidi*. Por otra parte Macit *et al.* (2003) mencionaron que la suplementación con vitamina E en corderos mejoró 8.1% la conversión alimenticia en comparación con el control y la oxidación lipídica se suprimió en un tiempo mayor en carne de ovinos suplementados. Con este argumento, se propone la suplementación con fotoquímicos en dietas de ovinos debido a las propiedades que presentan.

2. ANTECEDENTES

2.1. Ovinocultura

Derivado de la problemática mundial de satisfacer la demanda alimenticia y nutricional de la población humana es necesaria la búsqueda de alternativas que mejoren la producción y la calidad de los alimentos con elevado valor proteico como la carne (FAO, 2000). La comercialización de productos cárnicos derivados del ovino es una prioridad ya que contribuye a una mejor distribución de los ingresos y esto a su vez estimula el consumo de productos de valor agregado (Avilés *et al.*, 2015; Ferrinho *et al.*, 2018).

Los sistemas de producción se clasifican en intensivos y extensivos; los intensivos recurren al uso de recursos y tecnologías de relevancia, además tienen una alta productividad de ovinos para engorda o producción de leche y los extensivos se basan en la producción de carne; en el 60% de la superficie del territorio mexicano se lleva a cabo la ganadería, en específico la producción de rumiantes, esta es la actividad más desarrollada cubriendo los sistemas tecnificados y los de tipo tradicional calculando que importa alrededor del 40% de los alimentos cárnicos que demanda la población y se determina por la disponibilidad de recursos y el tipo de mercado que se presente (Martínez-González *et al.*, 2017).

La producción de carne de ovino en México es considerada una actividad productiva de gran importancia socioeconómica pues brinda beneficios a la sociedad en forma de alimentos y además proporciona materias primas y fuentes de empleo (Parsons *et al.*, 2011; Mondragón-Anselmo *et al.*, 2014).

2.2. Alimentación en rumiantes

Los rumiantes son animales que se encuentran adaptados fisiológicamente para convertir recursos vegetales con altas cantidades de fibra en alimentos de alto valor nutricional para los humanos (Dijkstra *et al.*, 2013), esto ocurre en el tracto digestivo pues la comunidad microbiana del rumen contiene cientos de especies de bacterias, arqueas metanogénicas, protozoarios y hongos que actúan de forma anaerobia transformando la materia vegetal con contenido de celulosa en ácidos grasos de cadena corta nombrados también ácidos grasos volátiles (AGV) los cuales le brindan al rumiante una fuente de energía (Weimer y Kohn, 2016). Para obtener una producción de carne de calidad se requiere brindar a los rumiantes una dieta balanceada (Avilés *et al.*, 2015), la cual cubra todos los requerimientos nutricionales que necesita, grasas, carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales de acuerdo a su etapa fisiológica para tener mayores resultados en rendimiento (NRC, 1985; Minson, 2012).

La alimentación de ovinos se basa principalmente en el consumo de gramíneas y cultivos como el maíz y el sorgo, este consumo de alimento se ve reflejado en los parámetros productivos de esta especie animal, pero es bien sabido que en algunas temporadas del año la producción y calidad de estos ingredientes es variable viéndose afectada su disponibilidad y a su vez la cantidad de proteína cruda y la digestibilidad de las fibras detergentes neutra y ácida (Ghasemi *et al.*, 2013; Salem *et al.*, 2015), cuando baja su calidad no presentan aporte adecuado de nutrientes y al ser fuentes importantes de energía se pueden mostrar respuestas negativas en variables como el peso de ovinos (Vázquez-Mendoza *et al.*, 2012), con este argumento se buscan

alternativas de alimentación que favorezcan el comportamiento productivo y por lo tanto la producción y calidad de la carne de ovino.

2.3. Aditivos en la alimentación de rumiantes

Los aditivos que se utilizan para la nutrición animal son sustancias administradas a los animales con el propósito de ayudar a incrementar la calidad de la ración administrada, el estado de salud del animal, mejorar el rendimiento productivo, el bienestar animal y en algunos casos mejorar la calidad de los alimentos de origen animal (Bombik *et al.*, 2012). Algunos aditivos utilizados en nutrición animal son los antibióticos que han sido administrados en dietas de no rumiantes como cerdos y aves de corral como promotores de crecimiento y por otra parte los aditivos naturales que son originados a partir de hierbas, especias o plantas pues algunos brindan los mismos beneficios pero sin causar daño a la salud animal y humana (Hashemi y Davoodi, 2011).

Los aditivos provenientes de fuentes naturales han tenido efectos favorables (Kumar *et al.*, 2010) y su utilización ha incrementado de forma gradual en países desarrollados como Alemania (49%), Italia, Francia y Reino Unido (10%), España, Países Bajos, Bélgica (2%) y el resto de Europa (15%) principalmente por la prohibición de los antibióticos sin uso terapéutico por parte de la Unión Europea (Hashemi y Davoodi, 2011).

2.4. Fitoquímicos

Las plantas por su actividad biológica producen compuestos químicos llamados metabolitos secundarios o fitoquímicos (Hashemi y Davoodi, 2011), estos eran

considerados antinutricionales y no estaban pensados como una fuente para mejorar la producción animal; actualmente han resultado de interés para los investigadores como aditivos alternativos para la alimentación animal por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes que pueden mejorar la digestibilidad y la respuesta productiva del animal, además de poseer un alto contenido de taninos, saponinas y polifenoles (Chowdhury *et al.*, 2017).

Los fitoquímicos sirven como promotores de crecimiento para los animales actuando como antioxidantes, reduciendo la oxidación lipídica de la carne y mejorando la estabilidad del color; además posee efectos antimicrobianos, antiestrés y nutrigenómicos, tiene un efecto de reducción del metano y nitrógeno y mejoran la palatabilidad del alimento; estas propiedades los han hecho atractivos para usarlos como suplemento en dietas de ovinos (Aslani y Ghobadi, 2016; Valenzuela *et al.*, 2017). Los productos obtenidos de hierbas y especias tienen diferentes moléculas con nutrientes responsables de estos efectos biológicos y se pueden clasificar en cuatro subclases en alimentación animal como hierbas, productos botánicos, aceites esenciales y oleorresinas (Hashemi y Davoodi, 2011).

De esta forma se han desarrollado productos elaborados de diferentes compuestos herbales para que se puedan aprovechar las cualidades que tiene cada planta pero a través de las mezclas (Mendoza *et al.*, 2018) sin embargo es importante evaluar cada una de ellas ya que los metabolitos presentes pueden variar de una a otra, la dosis específica para cada necesidad puede ser distinta e incluso, presentar diferentes mecanismos de acción o actividad (Razo-Ortiz *et al.*, 2020).

Existen compuestos polihierbales en el mercado que se obtienen de la mezcla de plantas medicinales originarias de la India elaborados para sustituir a los productos sintéticos, que han mostrado buenos resultados en la nutrición de corderos en finalización (Razo-Ortiz *et al.*, 2020) y tienen componentes que poseen propiedades bactericidas que pueden afectar de forma benéfica o no el organismo de la especie que lo consuma (Díaz-Galván *et al.*, 2021).

2.5. Uso de plantas en nutrición animal

En los últimos años la demanda de productos alimenticios sin conservantes sintéticos ha aumentado y los productos a base de plantas se han obtenido en gran variedad para usarlos como aditivos alimentarios, estos son una alternativa segura para reemplazarlos a fin de no producir ninguna toxicidad tanto para los animales, humanos y el medio ambiente (Kumar *et al.*, 2010; Pattanayak *et al.*, 2010). Las hierbas y especias se consideran seguras y son eficientes contra algunas enfermedades, son utilizadas en la medicina tradicional en varios países asiáticos y africanos (Hashemi y Davoodi, 2011) y además han sido utilizadas en alimentación de ganado, mostrando efectos positivos en la microflora intestinal, efectos nutrigenómicos y propiedades que mejoran el sistema inmunológico así como efectos antiestrés y antimicrobianos (Liu *et al.*, 2011).

Derivado de esto se encuentran los productos nutracéuticos los que se definen según el North American Veterinary Nutraceutical Council como sustancias no farmacológicas que se administran vía oral para proporcionar agentes necesarios para dar una función normal con el fin de mejorar la salud y el bienestar animal. El uso de productos nutracéuticos o suplementos dietéticos elaborados a base de compuestos

herbales ha ido en aumento (Roque-Jiménez *et al.*, 2020) y es de interés para la comunidad científica por los efectos positivos que estos aportan a la nutrición animal (Hashemi y Davoodi, 2011; Liu *et al.*, 2011) y por la respuesta positiva que tienen en el crecimiento animal (Díaz-Galván *et al.*, 2021). Algunas compañías estudian extractos de plantas para estimar los efectos benéficos que puedan tener en humanos evaluándolos en especies animales y también con el objetivo de aislar enzimas que funcionen como aditivos en nutrición de rumiantes, además hay algunos estudios donde se han evaluado plantas potenciales sobre la degradación ruminal y el efecto que tienen en los rumiantes (*in vivo*) (Mendoza *et al.*, 2018).

Existen plantas que contienen metabolitos secundarios con acción medicinal que brindan efectos benéficos en la salud y producción animal al consumirlas (Pattanayak *et al.*, 2010). Algunas de estas plantas pueden disminuir las arqueas metanogénicas, otras coadyuvan en la respuesta inmune, algunas inhiben la formación de microorganismos patógenos y reducen los niveles de glucosa en sangre (Razo-Ortiz *et al.*, 2020; Díaz-Galván *et al.*, 2021).

Los suplementos naturales hechos a base de hierbas son utilizados para aumentar la eficiencia productiva de los animales y la calidad en los productos al consumidor (Bombik *et al.*, 2012). Los extractos herbales tienen sustancias activas como flavonoides, taninos, terpenos, glucosinolatos y otros metabolitos que dependiendo de la especie pueden transformar de manera beneficiosa la función química del tracto digestivo, lo que aumentaría la ingesta de alimento y la activación de la respuesta antioxidante (Liu *et al.*, 2011; Bombik *et al.*, 2012). Algunos tienen propiedades antimicrobianas y antioxidantes que pueden alterar la función microbiana del rumen

mejorando la digestibilidad de los forrajes de baja calidad y los taninos, saponinas o polifenoles presentes pueden reducir la pérdida de nitrógeno amoniacal en rumiantes (Chowdhury *et al.*, 2017).

Existen muchos estudios referentes al uso de productos herbales en la alimentación de rumiantes y no rumiantes, en inmunidad, salud animal y en producción de ganado de carne y de leche (Rooke *et al.*, 2004; Maiorano *et al.*, 2015; Wei *et al.*, 2015; Martínez-Aispuro *et al.*, 2019) y se indica que mejoran el rendimiento en terneros en una dosis de 4 g/día (Díaz-Galván *et al.*, 2021) y contribuyen en las modificaciones epigenéticas en el desarrollo fetal y el crecimiento de la descendencia en ovinos (Roque-Jiménez *et al.*, 2020).

Se ha mencionado que algunas plantas como ajo y manzanilla en la dieta de cabras han ayudado en la mejora de la digestibilidad de materia seca e incrementa la conversión alimenticia así como administrar una dieta con hojas de *Acacia villosa* aumenta la ganancia diaria de peso al igual que adicionar *Leucaena leucocephala* en otro animales (Mirzaei y Venkatesh, 2012). Por otra parte se ha encontrado que los compuestos fenólicos contenidos en *Emblica officinalis* y *Curcuma longa* pueden reducir los radicales libres y protegen el ADN del estrés oxidativo (Kumar *et al.*, 2006).

2.5.1. *Ocimum sanctum*

Ocimum sanctum L. es una hierba que tiene su origen en la India, se conoce como albahaca sagrada o Tulsi y se ha usado durante varios años debido a las diversas propiedades que presenta, entre ellas están las curativas y terapéuticas pues contiene vitaminas, minerales y fitonutrientes, estas propiedades nutricionales y farmacológicas

que contiene son resultado de las interacciones sinérgicas de los diferentes fitoquímicos (Pattanayak *et al.*, 2010).

Sus hojas y su tallo contienen componentes con actividad biológica como saponinas, flavonoides, triterpenoides y taninos; posee actividades antiinflamatorias y aumenta la actividad antioxidante (Kumar *et al.*, 2010), asimismo el aceite esencial de *Ocimum sanctum* ha sido utilizado en la medicina de la India para la cura de muchas enfermedades (Pattanayak *et al.*, 2010).

Estudios sobre esta planta han demostrado que tiene un poder antifúngico e inhibe la producción de aflatoxinas, por lo tanto puede controlar pérdidas cuantitativas de productos alimenticios, además de que su principal componente (eugenol) funciona como antioxidante y puede mejorar la vida útil de los productos alimenticios ya que captura los radicales libres (Gupta, *et al.*, 2006; Kumar *et al.*, 2018).

2.5.2. *Emblica officinalis*

La hierba *Emblica officinalis* que también es conocida como Amla perteneciente a la familia *Euphorbiaceae* crece en climas tropicales y subtropicales y tiene su origen en la India e Indonesia (Yokozawa *et al.*, 2007) donde es utilizada como fuente dietética y es manejada en la medicina Ayurveda y en la medicina humana para curar heridas y problemas estomacales, también se usa como antimicrobiano, antioxidante (Variya *et al.*, 2016), antidiabético, anticancerígeno, antiinflamatorio y en la prevención del estrés oxidativo, además puede ser eficaz para reducir el riesgo de envejecimiento ya que tiene vitamina C, minerales, aminoácidos, curcuminoides, emblicol (Yokozawa *et al.*, 2007), polifenoles como ácido gálico, ácido ascórbico, ácido amlaico, astragalina y

ácido elálgico; taninos como emblicanina-A y emblicanina-B y flavonoides (Kumar *et al.*, 2006; Nain *et al.*, 2012); otros componentes químicos que tiene son aminoácidos, alcaloides, glucósidos y ácidos fenólicos (Variya *et al.*, 2016). Cada una de las partes de esta planta puede utilizarse en diferentes preparaciones para los tratamientos (Nain *et al.*, 2012).

El extracto de esta planta se ha demostrado que es un inhibidor de la peroxidación lipídica y eliminador de radicales hidroxilo que son componentes de los radicales libres o especies reactivas de oxígeno lo que puede modular alteraciones que se relacionan con el estrés que se produce en el envejecimiento (Yokozawa *et al.*, 2007).

2.6. Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que al estar presentes en los alimentos a una concentración adecuada pueden interrumpir o evitar de forma importante la oxidación lipídica y ayudan en la mejora de la calidad del producto cárnico (Salami *et al.*, 2016; García *et al.*, 2019).

Estos se utilizan en la alimentación animal, se pueden categorizar en sintéticos y naturales y son similares a los que se utilizan como conservadores en los alimentos para consumo humano (Salami *et al.*, 2016). Hay antioxidantes que se utilizan en la industria de la carne debido a que atrasan el proceso de rancidez, ayudan a que se genere baja cantidad de compuestos tóxicos, evitan los cambios en la textura y el color evitando que la mioglobina se transforme a metamioglobina (Armenteros *et al.*, 2012) y conservan el valor nutricional de la carne que se ve afectado por la degradación de los ácidos grasos esenciales y por la destrucción de las vitaminas A, E y D (Gaviria *et al.*,

2009). Por ejemplo, en un estudio realizado por García *et al.* (2019) en el que emplearon taninos en la dieta de cabras encontraron un incremento en la estabilidad oxidativa de la carne.

Por una parte, los antioxidantes sintéticos se han usado para inhibir los agentes nocivos provocados por la oxidación de la carne pero su rechazo ha ido en incremento a causa de los efectos tóxicos que pueden llegar a tener (Isaza *et al.*, 2013), por esta razón se han utilizado antioxidantes naturales provenientes de plantas; estos contienen polifenoles que ayudan a reducir el exceso de radicales libres (Jiang y Xiong, 2016).

Los antioxidantes naturales se encuentran en las plantas y poseen vitaminas y compuestos polifenólicos, hay gran variedad de ellos, los cuales se clasifican de acuerdo a su solubilidad en hidrofóbicos como la vitamina E y los carotenoides y los hidrofílicos como la vitamina C y los compuestos fenólicos, sin embargo son pocos los que se usan para eliminar la oxidación (Armenteros *et al.*, 2012). Los antioxidantes más usados son los tocoferoles y tocotrienoles o vitamina E y el ácido ascórbico o vitamina C (Salami *et al.*, 2016).

El estudio de los antioxidantes ha permitido encontrar posibilidades de aminorar toxinas químicas en productos cárnicos con procesos térmicos pues la formación de estas toxinas implica la formación de radicales libres relacionados a especies reactivas de oxígeno (Jiang y Xiong, 2016).

2.6.1. Efecto antioxidante de los aditivos naturales

Los animales tienen una red de defensa antioxidante que depende de factores como la alimentación, ya que con ella el animal ingiere nutrientes que tienen propiedades antioxidantes que pueden contribuir a disminuir el proceso oxidativo de las células (Caspar, 2002).

Las propiedades antioxidantes de las plantas surgen de los ácidos fenólicos como el ácido rosmarínico y han sido de interés científico por su función contra el exceso de radicales libres producidos por el estrés oxidativo, esto contribuye a la protección de los lípidos del alimento y algunos estudios han demostrado esta actividad antioxidante en carne de aves de corral, cerdo y conejo (Liu *et al.*, 2011). Los antioxidantes son encargados de funciones como la reducción del envejecimiento o la protección de las membranas y en los animales de granja intervienen directamente con la calidad del producto final (Caspar, 2002).

Los antioxidantes con capacidad de reducir el daño oxidativo son los polifenoles que tienen una actividad de protección a la células frente a las especies reactivas de oxígeno y también se ha mencionado que la estabilidad oxidativa de la carne se mejora administrando dietas con alta cantidad de compuestos fenólicos, saponinas y aceites esenciales (García *et al.*, 2019).

2.7. Empleo de vitaminas en dietas de animales de producción

El uso de vitaminas en nutrición animal es importante ya que son fundamentales para llevar a cabo las funciones fisiológicas básicas; en comparación con otros nutrientes, las vitaminas no cumplen funciones estructurales, sino que su uso es

específico y requieren de la activación metabólica para su funcionamiento, por lo que son esenciales en la dieta animal (Spears y Weiss, 2012; Avilés *et al.*, 2015). Algunas vitaminas funcionan como cofactores enzimáticos y otras funcionan como antioxidantes (Combs, 2019), estas últimas previenen el daño oxidativo y proporcionan protección frente a algunas enfermedades (Jiang *et al.*, 2001).

Estudios han demostrado que el uso de vitaminas como suplementos en la dieta de rumiantes aumenta la producción de carne y leche mejorando sus características organolépticas, además de mejorar la función inmunológica de los animales (Spears y Weiss, 2012). Otra función presente es el efecto sobre el metabolismo del colágeno intramuscular en animales productores de carne y esto interviene en la ternura de la carne (Archile-Contreras *et al.*, 2011).

2.7.1. Metabolismo de las vitaminas antioxidantes

Los animales están formados genéticamente con un mecanismo de defensa contra el exceso de los radicales libres, esta defensa se compone de enzimas como la superóxidodismutasa (SOD), la catalasa y la glutatión peroxidasa, también por moléculas como la ceruloplasmina, el ácido úrico y por las vitaminas antioxidantes, todas estas son formadas fisiológicamente en el organismo (Salido y Fernández, 2002).

Hay mecanismos antioxidantes de naturaleza enzimática, unos actúan en el interior de las células y otros tienen mejor desempeño en el medio extracelular; el glutatión (GSH) es un elemento presente en los sistemas detoxificadores, tiene un grupo sulfhidrilo (-SH) que es importante para inhibir el efecto de los radicales libres (Salido y Fernández, 2002; Alhidary *et al.*, 2015). Por otra parte, los tocoferoles presentes en las

vitaminas protegen las membranas de los eritrocitos y pueden contrarrestar un radical libre conocido como oxígeno singlete (1O_2) y el ácido ascórbico tiene el efecto de destruir el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno ayudado por el ácido úrico (Zeferino *et al.*, 2016).

2.7.2. Uso de la vitamina E

La vitamina E está conformada por cuatro tocoferoles (alfa-, beta-, gamma- y delta-) con una cadena lateral saturada, y por cuatro tocotrienoles (alfa-, beta-, gamma- y delta-) con la cadena lateral insaturada además de presentar tres dobles enlaces (Butinar *et al.*, 2011). El alfa-tocoferol se ha estudiado ampliamente pues es considerado el más predominante de la vitamina E tanto en tejidos humanos como animales (Jiang *et al.*, 2001). La formación de estos tocoferoles se lleva a cabo únicamente por organismos fotosintéticos y se ha mencionado que al agregarlos a productos cárnicos postmortem son absorbidos y depositados en las membranas celulares funcionando como antioxidantes (Jiang *et al.*, 2001; Rivas-Cañedo *et al.*, 2013).

Esta vitamina ha sido reconocida como un suplemento importante y necesario para el crecimiento, la inmunidad, la prevención de enfermedades, la reproducción, para mejorar la integridad de los órganos (Atay *et al.*, 2009) y se ha utilizado en la nutrición animal para obtener un incremento en la calidad de la carne (Macit *et al.*, 2003). Es un antioxidante biológico importante porque funciona defendiendo la integridad de las membranas celulares contra los efectos adversos del oxígeno reactivo y los radicales libres pero a diferencia de otras vitaminas, esta no se encuentra almacenada en el

cuerpo más que por corto tiempo (NRC, 1985; NRC, 2007; Atay *et al.*, 2009), debido a esto es suministrada en su forma más activa (α -tocoferol) en la dieta de los animales o inyectada para que esté disponible en los tejidos del cuerpo (Maiorano *et al.*, 2016), esta vitamina es un antioxidante liposoluble utilizado para reducir la oxidación de los productos cárnicos y conservar sus cualidades como olor, sabor y color (González *et al.*, 2013) que pueden verse afectadas durante su almacenamiento o procesamiento a través del aire y con herramientas mecánicas, ya que la oxidación de lípidos es el factor principal de pérdida de calidad modificando la estabilidad del color ya que es importante en el proceso de comercialización pues un cambio en este puede indicar que el método de procesamiento o de almacén no fueron adecuados (Atay *et al.*, 2009).

La eficacia que tiene el α -tocoferol en varias especies se debe a la capacidad de disipar los radicales libres que son más reactivos, esto ocurre mediante un mecanismo donde transfiere su hidrogeno lábil a un radical lípido o peroxilo lipídico convirtiéndose en radical α -tocoferol que después se reduce a su forma original en ácido ascórbico (Rivas-Cañedo *et al.*, 2013; Aslani y Ghobadi, 2016).

Algunos estudios indican que la inclusión de vitamina E en la dieta de rumiantes ha mejorado las características de calidad de la carne como color, sabor, textura y valor nutricional, además de mejorar los rasgos en el crecimiento en corderos, también se ha mencionado que en perros interviene en la respuesta de las células inmunes y tiene la capacidad de combatir el estrés oxidativo (Macit *et al.*, 2003; Maiorano *et al.*, 2015; Camo *et al.*, 2018; Mendoza *et al.*, 2018) además de tener un efecto positivo en el cuerpo, como el crecimiento y sobre las funciones inmunes (Rooke *et al.*, 2004), de igual forma se sugiere que la adición de vitamina E retrasa la modificación del color,

reduce la pérdida de agua por goteo (Macit *et al.*, 2003; Atay *et al.*, 2009; Archile-Contreras *et al.*, 2011) y en el estudio realizado por Macit *et al.* (2003) mencionan que la carne de corderos suplementados con vitamina E mostro una reducción en la oxidación lipídica; además de que la vitamina E protege el epitelio ruminal en animales alimentados con concentrados principalmente y tiene efectos en los productos de la fermentación ruminal como modificación de la concentración de ácidos grasos volátiles y de niveles de algunas bacterias (Naziroğlu, 2002). Además tiene efecto de protección sobre la peroxidación lipídica de la membrana muscular lo que aumenta el contenido de ácidos grasos poliinsaturados mejorando la calidad y aumentando la vida útil de la carne (Belanche *et al.*, 2016; Maiorano *et al.*, 2016). Su uso también puede presentar efectos sobre la producción de gas entérico, la digestibilidad (Wei *et al.*, 2015) y aumentar la fermentación ruminal en términos de producción de ácidos grasos volátiles, cantidad de protozoarios y síntesis de proteína microbiana (Belanche *et al.*, 2016; Razo-Ortiz *et al.*, 2020). Esto ha llevado a incrementar de forma esencial las recomendaciones para corderos en crecimiento (NRC, 1985 y 2007).

Algunos forrajes contienen la cantidad adecuada de vitamina E recomendada en rumiantes pero contrario a esto los granos como maíz o el heno seco pueden no contener niveles apropiados (Archile-Contreras *et al.*, 2011) y es por ello que en los sistemas de producción de carne se recomienda la administración de vitamina E al inicio del periodo de engorda ya que la cantidad de vitamina E en los alimentos puede variar e incluso verse afectada durante la fabricación, cosecha o almacén de estos (Plascencia *et al.*, 2015), además de que los animales no la pueden sintetizar y la cantidad que se encuentre en los tejidos corporales va depender de su administración

(Archile-Contreras *et al.*, 2011; Maiorano *et al.*, 2016). La forma de vitamina E que se encuentra en los alimentos se conoce como RRR- α -tocoferol (Figura 1) y la forma suplementaria es el acetato de RRR- α -tocoferilo (Figura 1), el tocoferol dietético es acumulado en el musculo esquelético afectando directamente la calidad de la carne (Coelho, 1999; Archile-Contreras *et al.*, 2011), de esta forma Carnagey *et al.* (2008) realizaron un estudio donde utilizaron 1000 UI de vitamina E al día durante 104 días y obtuvieron una reducción en la dureza de la carne de bovino.

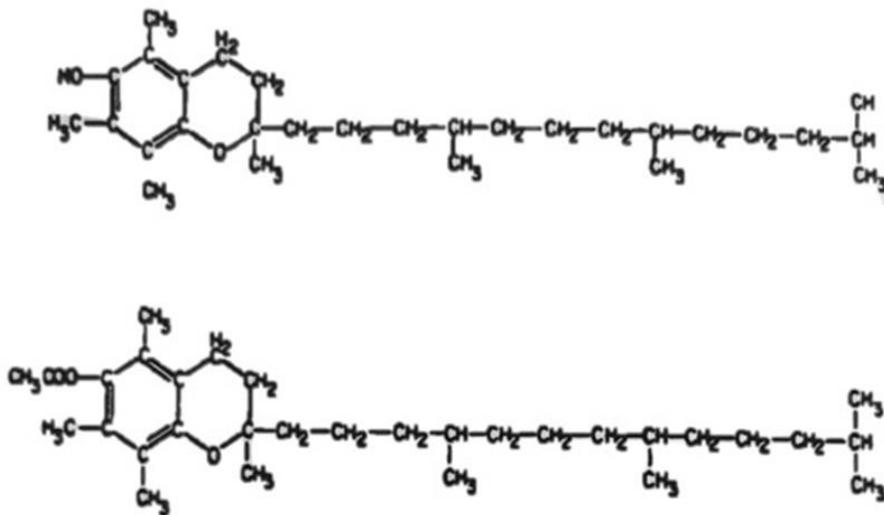


Figura 1. Estructura de alfa-tocoferol y acetato de alfa-tocoferilo (Coelho, 1999)

La vitamina E tiene una interacción directa con la vitamina C dentro de la célula, específicamente en la membrana donde la vitamina E se oxida al momento de eliminar los radicales libres (peróxido) o las especies reactivas de oxígeno (EROS), de este

modo la vitamina C reduce la vitamina E para regenerar su actividad (Archile-Contreras *et al.*, 2011), es por ello que es de vital importancia la correcta inclusión y aporte de vitaminas en la dieta suministrada a los animales.

2.8. Radicales libres y estrés oxidativo

La exposición a medios que provocan estrés en los animales involucra la sobreproducción de radicales libres, estos son moléculas altamente reactivas que tienen un electrón separado en la órbita más externa dándole una reacción muy elevada y producen cambios continuos dentro de las células a partir de procesos metabólicos y cuando esto se lleva a cabo la capacidad antioxidante natural del organismo se ve afectada causando una disminución en el rendimiento del animal y en ocasiones puede afectar las características de la carne (Alhidary *et al.*, 2015; Zeferino *et al.*, 2016).

Los radicales libres normalmente son inestables y son originados de especies reactivas de oxígeno (EROS), especies reactivas de nitrógeno (RNS) y especies reactivas de azufre (RSS), su generación es principalmente en las mitocondrias debido a la presencia en cadena de transporte de electrones y puede suceder en las células en condiciones fisiológicas normales o cuando se presentan patologías, ocasionando que se oxide y por ende provocar daño o muerte celular (Aslani y Ghobadi, 2016).

El superóxido ($O_2^{\cdot-}$) tiene una vida media de 5×10^{-2} s, puede inactivar enzimas como la catalasa y la glutatión peroxidasa, provocar la oxidación del glutatión y de enzimas como oxidasas, ciclooxigenasas, lipoxigenasas, deshidrogenasas y peroxidases que pueden ocasionar la formación de los radicales libres (Aslani y

Ghobadi, 2016). El exceso en las concentraciones de radicales libres causa el estrés oxidativo, este se puede definir como el efecto que producen los oxidantes en los organismos vivos que causa daño a cualquier tipo de moléculas en el organismo (Alhidary *et al.*, 2015; Aslani y Ghobadi, 2016). El radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) se forma de la ruptura del enlace covalente entre el oxígeno y el hidrogeno de una molécula de agua, este es el radical más reactivo y puede tener interacción con proteínas, enzimas, aminoácidos, lípidos, carbohidratos e incluso con las bases nitrogenadas del ADN y ARN ocasionando daño en la información genética de las células y puede estimular la peroxidación lipídica convirtiendo a los ácidos grasos poliinsaturados en oxidantes (Salido y Fernández, 2002; Alhidary *et al.*, 2015).

2.9. Oxidación lipídica

La causa más importante que afecta la canal de los rumiantes y por lo tanto la calidad de la carne es la dieta que se le brinda al animal (Avilés *et al.*, 2015). La carne de cordero envasada presenta una corta vida de anaquel por lo que es un factor que se debe tomar en cuenta al momento de la comercialización, este tipo de carne refrigerada no va más allá de los 10 días sin que se comiencen a percibir los signos de deterioro como el cambio de color (Camo *et al.*, 2018). Actualmente los consumidores de carne buscan productos de mejor calidad rechazando el uso de productos químicos y sintéticos en la alimentación animal ya que su uso puede causar efectos como el aumento en el colesterol, hepatomegalia, entre otros que pueden afectar la salud del consumidor (Valenzuela *et al.*, 2017), debido a esto se han buscado alternativas como los productos naturales que poseen una gran variedad de compuestos que ayudan a reducir los efectos citotóxicos (Montoya *et al.*, 2009).

Al oxidarse la fracción lipídica de la carne se origina la principal causa no microbiana que afecta la calidad de la carne (García *et al.*, 2019). La oxidación lipídica es una causa primordial del deterioro de los productos cárnicos (Maiorano *et al.*, 2016) y es provocada por los ácidos grasos, los factores de procesamiento, concentración y tipo de oxígeno, pigmentos y antioxidantes o el conjunto de estos factores (Isaza *et al.*, 2013).

Los cambios que puedan presentarse en cuanto al sabor, color, textura y valor nutricional de la carne se ven reflejados en problemas de calidad (Zhang *et al.*, 2008). La oxidación cambia el color del pigmento de la sangre provocando un color marrón, esto perjudica su calidad, reduce la vida útil y afecta la compra por el consumidor (Isaza *et al.*, 2013).

Un contenido mayor de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y menor de ácidos grasos saturados (SFA) en la carne mejora su valor nutricional al momento de ser consumida por el humano (Ferrinho *et al.*, 2018), sin embargo un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados que se producen en el rumen son acumulados en el músculo y en tejidos adiposos lo que puede causar la producción de componentes volátiles desagradables durante la cocción y que el sabor, la textura y el color de la carne se vean alterados a causa de la susceptibilidad que los derivados cárnicos presentan ante la oxidación (Isaza *et al.*, 2013; Maiorano *et al.*, 2016). Para retrasar la velocidad o el grado de oxidación lipídica se puede hacer uso de compuestos con función antioxidante como los aditivos (García *et al.*, 2019). Los antioxidantes sintéticos o naturales se han utilizado para ayudar a disminuir o retardar las reacciones de oxidación lipídica en los productos cárnicos (Gaviria *et al.*, 2009). Un antioxidante utilizado con este fin es el α -tocoferol que se ha adicionado ante mortem y post mortem

(Maiorano *et al.*, 2016); la vitamina E ha sido utilizada para reducir la oxidación lipídica y ayudar a aumentar la vida útil del producto final (Ferrinho *et al.*, 2018).

2.9.1. Mecanismo de la oxidación lipídica

Las afectaciones por oxidación lipídica en las características de la carne y sus propiedades son provocadas por las modificaciones que presentan los lípidos y las proteínas musculares; la reacción de oxidación se lleva a cabo en las membranas de los fosfolípidos intracelulares debido a la alta cantidad de PUFA que presentan y a la presencia de metales de transición que ayudan a que se formen especies con la capacidad de extraer un protón de un ácido graso insaturado (Isaza *et al.*, 2013).

2.10. Alternativas para incrementar la calidad del producto terminal

La calidad de la carne se refiere al conjunto de características que posee el producto, las cuales van a determinar el grado de aceptación por parte del consumidor (Quicazán y Zuluaga, 2011). Esto se identifica no solo mediante la ternura, o el color sino también por el contenido de grasa ya que tiene relación con la calidad nutricional, específicamente con el perfil de ácidos grasos y de esto depende su sabor y olor de la carne (Morales y Rodríguez, 2021).

El uso de antioxidantes como aditivos en la alimentación animal están aprobados para el consumo humano y son utilizados con el fin de ayudar a alargar la vida de los alimentos previniendo la peroxidación lipídica de forma eficaz según el resultado de la investigación realizada por Salami *et al.* (2016), además menciona que el efecto que tienen (postmortem) es ayudar a mejorar las propiedades organolépticas y nutricionales en productos cárnicos y evitan la pérdida de los pigmentos y nutrientes como las

vitaminas, siempre y cuando se dosifiquen adecuadamente, de lo contrario podrían intervenir de forma negativa y producir efectos perjudiciales.

Por otra parte con el fin de determinar la cantidad y el tipo de compuestos presentes en la carne, después de haber adicionado un producto para evaluar su efecto sobre los parámetros de calidad se emplean las técnicas cromatográficas y de espectrofotometría, obteniendo resultados confiables (Romero *et al.*, 2007).

2.11. Determinación de compuestos por cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas

La identificación sin errores de los componentes de una muestra ha resultado necesaria para conocer a que grado puede tener efectos dañinos o benéficos, por ello se han desarrollado métodos de acoplamiento o tándem entre los que está la cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas (Stashenko y Martínez, 2010), siendo un método de cuantificación de sustancias orgánicas que permite la separación e identificación de mezclas complejas (Gutiérrez y Droguet, 2002).

La cromatografía de gases se utiliza para determinar compuestos volátiles o semivolátiles en una muestra y conocer en qué cantidad se encuentran presentes (Gutiérrez y Droguet, 2002). Para esta técnica se emplea un cromatógrafo de gases el cual se compone de dos fases: la fase móvil y la fase estacionaria; primero se inyecta una muestra con solvente en la fase móvil del cromatógrafo mediante una columna capilar que pasa a la fase estacionaria la cual se encuentra en un horno donde se volatilizan los compuestos; es ahí donde se realiza la retención de compuestos

mediante adsorción, de esta forma los compuestos fuertemente retenidos por la fase estacionaria se moverán lentamente en la móvil y los retenidos de forma débil pasaran rápidamente (Stashenko y Martínez, 2010).

Por otra parte la espectrofotometría de masas es una técnica para el conteo, identificación y concentración de sustancias presentes en una muestra; se realiza con un espectrofotómetro de masas que mediante una interfaz es conectado al cromatógrafo de gases (Romero *et al.*, 2007), ahí la muestra es ionizada para posteriormente pasar al sistema colector mediante campos eléctricos, la detección de iones produce el espectro de masas de la sustancia que es único en cada uno de los compuestos y se compara en una biblioteca de espectros para ser identificada (Gutiérrez y Droguet, 2002; Romero *et al.*, 2007).

2.12. Cromatógrafo de nariz (nariz electrónica) para determinar calidad de carne

La calidad de un producto es derivada de características como la inocuidad y el valor nutricional que debe tener para ser aceptado por el consumidor, pero no solo estos aspectos son considerados sino también se observan las propiedades a la salud y las características como color, textura, aroma o sabor (Quicazán y Zuluaga, 2011).

El aroma es una cualidad sensorial que permite identificar la carne, esta cualidad es químicamente compleja pues depende de compuestos volátiles que son específicos de cada alimento (Zhang *et al.*, 2008; Almela *et al.*, 2010; Grabež *et al.*, 2019) que pueden verse afectados por la oxidación (Rivas-Cañedo *et al.*, 2013) y son detectados por receptores olfativos al momento de entrar a la nariz (Hernández *et al.*, 2007). El aroma

específico de la carne de cordero es derivado de la presencia de ácidos grasos ramificados con 8 y 9 carbonos (Grabež *et al.*, 2019) formados a causa de la fermentación ruminal de los carbohidratos que se acumulan en la grasa, ya que son altamente volátiles y se estabilizan para poder detectarse por los receptores olfatorios, el aroma también depende de los niveles de cisteína, del factor genético y de la dieta, de manera que una dieta basada en cereales va a aumentar los niveles de ácidos grasos ramificados, aldehídos, cetonas y lactonas que brindan a la carne un aroma más fuerte pero con notas dulces (Almela *et al.*, 2010; Rivas-Cañedo *et al.*, 2013; Grabež *et al.*, 2019).

Los compuestos volátiles de la carne de los rumiantes van a depender de la dieta, de manera que los nutrientes sean trasladados a los tejidos; también del metabolismo del animal y de la microbiota ruminal (Rivas-Cañedo *et al.*, 2013). Para obtener dichos compuestos se ha llevado a cabo el uso de métodos de prueba para determinar este factor, los cuales simulan este proceso de identificación de aromas (Quicazán y Zuluaga, 2011). Uno de estos métodos es conocido como olfato electrónico o nariz electrónica que ha sido utilizado en la industria de los alimentos para evaluar el tiempo de almacenamiento y antigüedad de procesamiento de productos, la calidad y frescura tanto en frutas, quesos, embutidos, pan, carnes rojas, cerdo y pescado o para determinar el crecimiento bacteriano en alimentos que se han sido almacenado durante mucho tiempo y evitar que los gases desprendidos del aroma puedan causar daño en las células olfativas (Boothe y Arnold, 2002; Zhang *et al.*, 2008), además permite identificar los cambios que se puedan presentar en los compuestos volátiles después de haber sometido las muestras a algún tratamiento (Rivas-Cañedo *et al.*, 2013). Esto

se realiza mediante la absorción y adsorción de productos químicos, utilizando una matriz de sensores que detectan cambios en la resistencia eléctrica cuando entran en contacto con un gas con olores variados (Zhang *et al.*, 2008) de forma diferente a la cromatografía de gases que separa los componentes de los gases para identificarlos y cuantificarlos (Boothe y Arnold, 2002), de esta manera esta técnica ofrece una alternativa para detectar el aroma de una muestra de cualquier índole y por consiguiente se puede utilizar para conocer los compuestos de la carne (Hernández *et al.*, 2007).

3. JUSTIFICACIÓN

El consumo de carne en la actualidad ha ido en aumento debido al incremento poblacional buscando satisfacer las necesidades alimenticias, de esta forma la producción de ovinos se considera una actividad importante que brinda beneficios a la sociedad en forma de alimentos y para los productores es prioritario, pues estimula el consumo de productos derivados del ovino; sin embargo recientemente la población humana busca consumir alimentos funcionales y de calidad, esta situación ha generado la búsqueda de alternativas de suplementación para la nutrición animal, tal es el caso de los ovinos al mejorar la calidad de la carne y a su vez incrementar la alimentación de alto valor biológico para la población. Los aditivos de tipo sintético han sido utilizados para inhibir los agentes que provocan la oxidación de la carne, pero poseen efectos que pueden dañar la salud, aunado a esto se sabe que la carne de cordero tiene una vida corta de anaquel y el color es uno de los factores importantes tomados en cuenta por el consumidor para evaluar la calidad de la carne, este se torna más oscuro al presentarse oxidación. Una opción para sustituir los productos sintéticos en la alimentación del ganado es la adición de productos herbales que tienen actividades antioxidantes y ayudan a contrarrestar o disminuir el proceso de oxidación y a su vez aumentar la vida de anaquel. Además, por ser de naturaleza herbal no existen evidencias de que cause problemas de salud para el consumidor, con lo cual se podría cumplir los parámetros y preferencias de calidad que requiere la sociedad.

4. HIPÓTESIS

La adición de un producto herbal con compuestos naturales de Vitamina E en la alimentación de ovinos, mejorará el rendimiento productivo y la calidad de la carne.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar el uso de un aditivo de Vitamina E a base de hierbas sobre el comportamiento productivo, variables ruminales y calidad de la carne de ovinos

5.2. Específicos

- Caracterización de la composición química del compuesto herbal
- Analizar el efecto del aditivo de vitamina E sobre las variables productivas y ruminales de ovinos en finalización
- Identificar la calidad de carne a partir de las características de la canal (peso de canal caliente, peso de la canal fría, rendimiento de la canal, color y pH).
- Identificar los compuestos volátiles presentes en la carne conservada en congelación

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la Posta Zootécnica y en el Laboratorio Multidisciplinario de investigación del Centro Universitario UAEM Amecameca de la Universidad Autónoma del Estado de México, bajo lineamientos instaurados por el Comité Académico del Departamento de Ciencia Animal de Ética, Bioseguridad y Bienestar Animal y de acuerdo con las regulaciones establecidas por la Ley de Protección Animal del Estado de México, México (CIOMS, 2012)

La caracterización del compuesto herbal de *Ocimum sanctum* y *Emblica officinalis*, se realizó en los laboratorios del Centro de Bociencias de la Universidad de San Luis Potosí, México.

6.1. Caracterización del compuesto herbal

Para llevar a cabo la determinación de las características del compuesto herbal de *Ocimum sanctum* y *Emblica officinalis* se utilizó una muestra de 5 gramos del producto herbal con la que se obtuvo la composición de los metabolitos, para esto se empleó un instrumento de cromatografía de gases acoplada a un espectrofotómetro de masas (GC-MS). Para realizar la extracción se utilizó un procesador ultrasónico, adaptado con un agitador mecánico y con punta de 3mm de titanio (Cole-Parmer, IL). Posteriormente se tomó un gramo del compuesto herbal y se mezcló con dos solventes orgánicos (hexano o acetona) para así realizar la separación de los compuestos orgánicos e inmediatamente realizar la separación y concentración de la muestra con el empleo de Zymark, Turbovap LV Concentration Evaporator, NB, USA y consecutivamente ser inyectado al cromatógrafo de gases (Hewlett Packard-Agilent 6890 GC Systems)

acoplado a un espectrofotómetro de masas (Hewlett Packard 5973), el cual está equipado con una columna capilar de 60 m de longitud, 0.255 mm de diámetro y 0.25 µm de espesor de película (Hewlett Packard- Agilent 5MS), utilizando la programación que proponen Roque-Jiménez *et al.* (2020).

6.2. Animales y dietas

El experimento tuvo una duración de 39 días (con 10 días de adaptación a la ración experimental). Se utilizaron 42 ovinos criollos de 33.4 ± 2.7 kg de peso inicial los cuales fueron desparasitados con ivermectina/albendazol (1 ml/50 kg PV) y vacunados contra *Clostridium chauvoei*, *Clostridium septicum*, *Clostridium novyi*, *Clostridium sordellii*, *Clostridium perfringens* tipo B, *Clostridium perfringens* tipo C, *Clostridium perfringens* tipo D, *Pasterella multocida*, *Mannheimia haemolytica* serotipo A1 y *E. coli* (Adbac 8vías[®], 2.5 ml/animal, vía intramuscular) al inicio del experimento. Los animales fueron distribuidos aleatoriamente mediante un diseño completamente al azar en tres tratamientos (14 repeticiones cada uno). Cada cordero fue alojado en una corraleta individual provista de un comedero y un bebedero donde fueron alimentados dos veces al día (09:00 y 16:00 horas).

Se formularon 3 raciones experimentales de acuerdo a los requerimientos del NRC (2007) para corderos en finalización donde cada ración tuvo un nivel de inclusión con tres niveles de compuesto herbal de Vitamina E (0.0, 0.1 y 0.2 %) (Cuadro 1). A cada ración experimental se le determinó composición química; materia seca (MS) y cenizas (C) conforme a las técnicas de la AOAC (1991), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991).

Cuadro 1. Dietas experimentales y composición química

	Nivel de inclusión compuesto herbal ^a %		
	0.0	0.1	0.2
Alfalfa deshidratada	34.3	34.3	34.3
Sorgo (grano)	25	24.95	24.9
Pasta de soya	2	2	2
Maíz (grano)	25	24.95	24.9
Salvado de trigo	7	7	7
Premezcla mineral	1	1	1
Grasa	2	2	2
Gluten de maíz	2	2	2
Urea	0.4	0.4	0.4
Bicarbonato de sodio	1	1	1
Carbonato de calcio	0.3	0.3	0.3
Mezcla polihierbal ^a	0	0.1	0.2
<i>Composición química</i>			
Materia seca (%)	89.91	89.89	89.90
Proteína cruda (%)	14.63	14.52	14.39
Cenizas (%)	7.25	7.75	7.34
Fibra detergente neutro (%)	25.90	28.52	29.34
Fibra detergente ácida (%)	9.69	12.63	13.09

^a Compuesto con *Ocimum sanctum* y *Embllica officinalis*.

6.3. Comportamiento productivo

Las variables que se evaluaron en este experimento fueron el consumo de materia seca (CMS) el cual se determinó mediante el peso del alimento ofrecido menos el rechazado en kg/d. Cada cordero fue pesado al inicio y al final del experimento para obtener la ganancia diaria de peso (GDP) y con estas variables se obtuvieron la conversión alimenticia y la ganancia total de peso. El día 16 del experimento, se colectaron heces de cada uno de los ovinos directamente del recto para determinar la digestibilidad total de la materia seca con la técnica de cenizas ácido insoluble (Van Keulen y Young, 1977).

6.4. Fermentación ruminal

En el día 29 del experimento se obtuvieron 50 ml de contenido ruminal de forma preprandial de cada uno de los corderos, con el objetivo de evaluar el efecto de cada tratamiento sobre los parámetros de la fermentación ruminal. El líquido ruminal fue filtrado mediante 8 capas de tela gasa y consecutivamente se le determinó el pH utilizando un potenciómetro (Orion Star, modelo A215). Para detener la fermentación el fluido ruminal se acidificó en relación 1:4 con ácido metafosfórico (25% p/v) y se congeló (-20 °C) para su posterior análisis de ácidos grasos volátiles (AGV) por cromatografía de gases (Erwin *et al.*, 1961).

6.5. Características de la canal y calidad de la carne

Una vez terminada la prueba productiva, fueron seleccionados cinco animales por tratamiento, los cuales fueron sacrificados para evaluar características y calidad de la canal. Para las características de la canal se evaluó el peso de canal caliente, canal fría

para determinar el rendimiento verdadero de la canal. Para la evaluación de calidad de carne se tomaron muestras del músculo *Longissimus dorsi* de los espacios intercostales 12 y 13 de cada ovino. Las variables medidas fueron el pH, el cual fue medido con un potenciómetro portátil (Hanna Instruments, modelo HI 99163) previsto de cuchilla de penetración y el color que se midió con ayuda de un colorímetro tricromático (Konica Minolta, modelo Chroma Meter CR-400) registrando los valores de luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*) y amarillez (b^*) en dos áreas libres de grasa en la superficie de cada muestra y se calculó el promedio. La capacidad de retención de agua se estableció midiendo la pérdida de agua por presión y por cocción con una metodología descrita por Cañeque y Sañudo (2005).

6.6. Análisis de compuestos volátiles de la carne

Se tomaron dos muestras de 100 g de *Longissimus dorsi*, 24 h post mortem, se empacaron al vacío (Torrey, EV-20B) y fueron almacenadas a 4 °C durante 1 año, para posteriormente ser descongeladas y obtener 0.5 g de esta muestra, se colocó en viales de 20 ml de espacio de cabeza y fueron sellados e incubados durante 15 min a una temperatura de 60° C para volatizar los compuestos orgánicos volátiles presentes en la muestra y con ello consecutivamente determinar la huella química mediante el cromatógrafo de nariz electrónica (Cyranose 320, Sensigent®, California, EE.UU.), con un flujo constante de 120 mL / min durante 40 segundos de registro de línea de base con nitrógeno ultrapuro pasando por el sistema de extracción para eliminar el ruido causado y un periodo del análisis de la muestra de 46 segundos, posteriormente se aumentó a un flujo de 180 mL / min de nitrógeno ultrapuro para la purga de la línea de muestreo y toma de aire, con un temperatura del sustrato de 32° C. Durante el análisis,

el instrumento registró el aumento de la resistencia eléctrica de cada sensor como resultado de la adsorción de los compuestos orgánicos volátiles. A continuación, fue analizada la información mediante un procedimiento multivariado y obteniendo la diferencia fraccional: $\Delta R / R_0 = (R_{\max} - R_0) / R_0$ donde R es la respuesta máxima del sistema de cada sensor y R_0 es la lectura de referencia de cada sensor con nitrógeno ultrapuro. Además, se realizó un análisis discriminante canónico para así obtener la tasa de éxito (Cocozzelli, 1988). Los resultados del análisis de componentes principales se presentaron en los tres tratamientos con la finalidad de visualizar las diferencias entre los compuestos de la carne, presentado en una gráfica de dimensiones reducidas (Grabež *et al.*, 2019).

6.7. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron con la prueba de Shapiro-Wilk, para determinar la normalidad de las variables. Los datos se analizaron utilizando el software R (Mirman, 2014) y se utilizaron polinomios lineales y cuadráticos ortogonales para evaluar los efectos del aditivo polihierbal. El peso corporal inicial se utilizó como covariable en la ganancia diaria y el peso corporal final (Steel *et al.*, 2011).

7. RESULTADOS

El resultado conseguido al realizar esta investigación fue la generación de un artículo científico, que lleva por título “Effect of the addition of herbal vitamin E on the performance quality of the meat in sheep” el cual fue enviado a la revista Emirates Journal of Food and Agriculture.



Ejmanager Noreply



• Submission Confirmation

Yahoo/Buzón ☆



• Emirates Journal of Food and Agriculture <noreply@ejmanager.com>
Para: pedro_abel@yahoo.com



vie, 22 de oct. a las 12:32 a. m. ☆

Dear Pedro Abel Abel Hernandez Garcia,

Your submission entitled **Effect of the addition of herbal vitamin E on the performance quality of the meat in sheep** (Manuscript Number: EJFA-2021-10-427) has been received by Emirates Journal of Food and Agriculture.

You could follow status of your manuscript by login to your author account at www.ejmanager.com.

If you didn't pay the submission fee, and failed to attach the receipt, your article will not be considered, and will not go to peer review.

Thank you for submitting your work to our journal.

Best regards,

Editor
Emirates Journal of Food and Agriculture
<http://www.ejfa.me>

8. CONCLUSIONES

Utilizar la mezcla polihierbal con *Ocimum sanctum* y *Emblica officinalis* en la dieta de ovinos evaluando parámetros productivos confirma que para obtener un mejor comportamiento productivo (ganancia de peso y conversión alimenticia) se puede incluir este compuesto herbal en las raciones de finalización de corderos en una concentración de 0.1% de materia seca.

Por otra parte, no se detectaron cambios en los parámetros de calidad de carne como peso y rendimiento de la canal, pérdida de agua, pH y color (L^* , a^* y b^*) con la adición de esta mezcla polihierbal en la dieta, sin embargo el análisis de compuestos volátiles realizado a la carne muestra que el uso de este compuesto herbal brinda ventajas de estabilidad en la carne de corderos la cual se puede extender aún después de un año de mantener la carne congelada y empacada al vacío. Por lo anterior se sugiere realizar mayor investigación sobre el efecto que tienen *Ocimum sanctum* y *Emblica officinalis* en conjunto sobre las características de la carne de cordero.

9. LITERATURA CITADA

- Alhidary I. A., Shini, S., Al Jassim R. A. M., Abudabos A. M., Gaughan J. B. (2015). Effects of selenium and vitamin E on performance, physiological response, and selenium balance in heat-stressed sheep. *Journal of Animal Science*, 93(2): 576-588.
- Almela E., Jordan M. J., Martinez C., Sotomayor J. A., Bedia M., Banon S. (2010). Ewe's diet (pasture vs grain-based feed) affects volatile profile of cooked meat from light lamb. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(17): 9641-9646.
- Archile-Contreras A. C., Cha M. C., Mandell I. B., Miller S. P., Purslow P. P. (2011). Vitamins E and C may increase collagen turnover by intramuscular fibroblasts. Potential for improved meat quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 608–614.
- Armenteros M., Ventanas S., Morcuende D., Estévez M., Ventanas J. (2012). Empleo de antioxidantes naturales en productos cárnicos. *Eurocarne*, 207: 63-73.
- Aslani B., Ghobadi S. (2016). Studies on oxidants and antioxidants with a brief glance at their relevance to the immune system. *Life Science*, 146: 163-173.
- Atay O., Gökdal Ö., Eren V., Çetiner Ş., Yikilmaz H. (2009). Effects of dietary vitamin E supplementation on fattening performance, carcass characteristics and meat quality traits of Karya male lambs. *Archives Animal Breeding*, 52(6): 618-626.
- Avilés C., Matínez A. L., Domenech V., Peña F. (2015). Effect of feeding system and breed on growth performance, and carcass and meat quality traits in two continental beef breeds. *Meat Science*, 107: 94-103.

- Belanche A., Kingston-Smith A. H., Newbold C. J. (2016). An integrated multi-omics approach reveals the effects of supplementing grass or grass hay with vitamin E on the rumen microbiome and its function. *Frontiers in microbiology*, 7: 1-17.
- Bombik T., Bombik E., Frankowska A., Trawińska B., Saba L. (2012). Effect of herbal extracts on some haematological parameters of calves during rearing. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 56(4): 655-658.
- Boothe D. D. H., Arnold J. W. (2002). Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, fresh and after refrigerated storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(3): 315-322.
- Butinar B., Bučar-Miklavčič M., Mariani C., Raspor P. (2011). New vitamin E isomers (gamma-tocomonoenol and alpha-tocomonoenol) in seeds, roasted seeds and roasted seed oil from the Slovenian pumpkin variety 'Slovenska golica'. *Food chemistry*, 128(2): 505-512.
- Camo J., Beltrán J. A., Roncalés P. (2008). Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging. *Meat Science*. 80: 1086-1091.
- Cañeque V., Sañudo C. (2005). Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa en los rumiantes). Madrid, España: MICYTINIA: Ganadera, 3.
- Carnagey K. M., Huff-Lonergan E. J., Trenkle A., Wertz-Lutz A. E., Horst R. L., Beitz D. C. (2008). Use of 25-hydroxyvitamin D3 and vitamin E to improve tenderness of beef from the longissimus dorsi of heifers. *Journal of Animal Science*, 86: 1649–1657.
- Caspar W. (2002). Herbs and Botanicals as Feed Additives in Monogastric Animals. International Symposium on "Recent Advances in Animal Nutrition" held in New Delhi, India.

- Coelho M. B. (1999). Vitamin E in animal nutrition and management. BASF.
- Chowdhury M. R., Khan M. M. H., Mahfuz S. U., Baset M. A. (2017). Effects of dietary supplementation of spices on forage degradability, ruminal fermentation, in vivo digestibility, growth performance and nitrogen balance in Black Bengal goat. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102: 591-598.
- CIOMS - Council for International Organizations of Medical Sciences. (2012). International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Available at. <<http://www.cioms.ch>> Accessed on: January 23, 2020.
- Cocozzelli C. (1988). Understanding canonical discriminant function analysis. *Journal of Social Service Research*, 11: 93-117.
- Combs Jr. G. F. (2019). The vitamins fundamental aspects in nutrition and Health. Elsevier Academic Press. San Diego, California, USA. 612 p.
- Díaz-Galván C., Méndez-Olvera E. T., Martínez-Gómez D., Gloria-Trujillo A., Hernández-García P. A., Espinosa-Ayala E., Palacios-Martínez M., Lara-Bueno A., Mendoza-Martínez G. D., Velázquez-Cruz L. A. (2021). Influence of a Polyherbal Mixture in Dairy Calves: Growth Performance and Gene Expression. *Frontiers in Veterinary Science*, 7.
- Dijkstra J., Reynolds C. K., Kebreab E., Bannink A., Ellis J. L., France J., Van Vuuren A. M. (2013). Challenges in ruminant nutrition: towards minimal nitrogen losses in cattle. In *Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production*. Wageningen Academic Publishers. pp. 47-58.
- Erwin E. S., Marco G. J., Emery E. (1961). Volatile fatty acids analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*, 44: 1768- 1771.

- Ferrinho A. M., Nassu R. T., Aldai N., Bravo-Lamas L., Furlan M. L. N., Toda B. M., Utembergue B. L., Rezende R. G., Mueller L. F., Furlan J. J. M., Zanata M., Baldi F., Pereira, A. S. C. (2018). Whole cottonseed, vitamin E and finishing period affect the fatty acid profile and sensory traits of meat products from Nelore cattle. *Meat science*, 138: 15-22.
- FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. (2000). Kunio Tsubota. FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Series No. N° 32 ISSN 0251-1371. <http://www.fao.org/3/a-x4400s.pdf>
- García E. M., López A., Zimmerman M., Hernández O., Arroquy J. I., Nazareno M. A. (2019). Enhanced oxidative stability of meat by including tannin-rich leaves of woody plants in goat diet. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32: 1439–1447.
- Gaviria M. C., Ochoa O. C., O., Sánchez M. N., C. Medina C. C., Lobo A. M., Galeano G. P., Mosquera M. A., Tamayo T. A., Lopera P. Y., Rojano B. (2009). Actividad antioxidante e inhibición de la peroxidación lipídica de extractos de frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6): 519-528.
- Ghasemi E., Khorvash M., Ghorbani G. R., Emami M. R., Karimi K. (2013). Dry chemical processing and ensiling of rice straw to improve its quality for use as ruminant feed. *Tropical Animal Health and Production*, 45(5): 1215-1221.
- González-Calvo L., Ripoll G. G., Molino G. F., Calvo L. J. H., Blanco A. M., Joy T. M. (2013). Efecto del tiempo de suplementación con vitamina E o pastoreo con alfalfa en el contenido de alpha-tocoferol en plasma y carne en la oxidación lipídica en corderos ligeros. *AIDA*.

- Grabež V., Bjelanović M., Rohloff J., Martinović A., Berg P., Tomović V., Rogić B., Egelanddal B. (2019). The relationship between volatile compounds, metabolites and sensory attributes: A case study using lamb and sheep meat. *Small Ruminant Research*, 181: 12-20.
- Gupta S., Mediratta P. K., Singh S., Sharma K. K., Shukla R. (2006). Antidiabetic, antihypercholesterolaemic and antioxidant effect of *Ocimum sanctum* (Linn) seed oil. *Indian Journal of Experimental Biology*, 44: 300-4.
- Gutiérrez B. M. C., Droguet M. (2002). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. *Boletín Intexter*, 122: 35-41.
- Hashemi S. R., Davoodi H. 2011. Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*, 35: 169-180.
- Hernández G, A., Wang J., Hu, G., Pereira A. G. (2007). Discrimination of storage shelf-life for mandarin by electronic nose technique LWT. *Food Science and Technology*, 40(4): 681-689.
- Isaza M. Y. L., Restrepo M. D. A., López V. J. H. (2013). Oxidación lipídica y antioxidantes naturales en derivados cárnicos. *Journal of Engineering and Technology*, 2 (2).
- Jiang J., Xiong Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 120: 107-117.
- Jiang Q., Christen S., Shigenaga M. K., Ames B. N. (2001). γ -Tocopherol, the major form of vitamin E in the US diet, deserves more attention. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74(6): 714-722.

- Kumar G. S., Nayaka H., Dharmesh S. M., Salimath P. V. (2006). Free and bound phenolic antioxidants in amla (*Emblica officinalis*) and turmeric (*Curcuma longa*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(5): 446-452.
- Kumar A., Shukla R., Singh P., Dubey N. K. (2010). Chemical composition, antifungal and antiaflatoxic activities of *Ocimum sanctum* L. essential oil and its safety assessment as plant based antimicrobial. *Food and chemical toxicology*, 48(2), 539-543.
- Kumar R.N., Muthukumaran P., Kumar K. S., Karthikeyen R. (2018). Phytochemical Characterization of Bioactive Compound from the Ensete superbum Seed Powder. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 6(6): 635-643.
- Liu H., Tong J. y Zhou D. (2011). Utilization of Chinese Herbal Feed Additives in Animal Production. *Agricultural Sciences in China*, 10(8): 1262-1272.
- Macit M, Aksakal V, Emsen E, Esenbuğa N, Aksu MI. (2003). Effects of vitamin E supplementation on fattening performance, non-carcass components and retail cut percentages, and meat quality traits of Awassi lambs. *Meat Science*, 64(1): 1-6.
- Maiorano G., Wilkanowska A., Tavaniello S., Di Memmo D., De Marzo D., Gambacorta M. (2015). Effect of intramuscular injections of DL- α -tocopheryl acetate on growth performance and extracellular matrix of growing lambs. *Animal*, 9: 2060-2064.
- Maiorano G, Angwech H, Di Memmo D, Wilkanowska A, Mucci R, Abiuso C, Tavaniello S. (2016). Effects of intramuscular vitamin E multiple injection on quality, oxidative stability and consumer acceptability of meat from Laticauda lambs fed under natural rearing conditions. *Small Ruminant Research*. 139: 52-59.
- Martínez-Aispuro J. A., Mendoza M. G. D., Cordero J. L., Ayala M. A., Hernández G. P. A., Martínez J. A. (2019). PSVII-6 Effects dietary herbal vitamin E on lamb

performance, ruminal fermentation, blood biochemical profile, and meat oxidative stability. *Journal of Animal Science*, 97 (Supplement 2): 160–161.

Martínez-González J. C., Castillo-Rodríguez S. P., Villalobos-Cortés A., Hernández-Meléndez J. (2017). Sistemas de producción con rumiantes en México. *Ciencia Agropecuaria*, 26: 132-152.

Mendoza M. G. D., Martínez G. J. A., Hernández G. P. A y Lee R. H. A. (2018). Uso de Productos Herbales Nutracéuticos en la Alimentación de Rumiantes. *Avances de la Investigación Sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México*, Primera Edición. Morelia, Michoacán México, pp 1327.

Minson D. (2012). *Forage in ruminant nutrition*. Elsevier. (pp: 1-5).

Mirman D. (2014). *Growth curve analysis and visualization using R*. Chapman & Hall/CRC The R Series. CRC Press. Boca Raton, FL. 170.

Mirzaei F., Hari V. K. R. (2012). Efficacy of phyto medicines as supplement in feeding practices on ruminant's performance: A review. *Global Journal Research on Medicinal Plants and Indigenous Medicine*, 1: 391-403.

Mondragón-Ancelmo J., Hernández-Martínez J., Rebollar-Rebollar S. (2014). Marketing of meat sheep with intensive finishing in southern state of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 46: 1427–1433.

Montoya C. G., Ospina C. O., Mesa N. S., Cano C. M., Arias M. L., García P. G., Rojano, B. (2009). Actividad antioxidante e inhibición de la peroxidación lipídica de extractos de frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6): 519-528.

Morales R., Rodríguez R. (2021). Factores que afectan la Calidad de Carne Ovina. *Ficha Técnica INIA Remehue*.

- Nain P., Saini V., Sharma S., Nain J. (2012). Antidiabetic and antioxidant potential of *Emblica officinalis* Gaertn. leaves extract in streptozotocin-induced type-2 diabetes mellitus (T2DM) rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 142(1): 65-71.
- Naziroğlu M., Güler T., Yüce A. (2002). Effect of vitamin E on ruminal fermentation in vitro. *Transboundary and Emerging Diseases* 49: 251-255.
- NRC - National Research Council. (1985). Nutrient requirements of sheep Washington, DC. USA. 6th ed. National Academy of Science. p. 104.
- NRC - National Research Council. (2007). Nutrient requirements of small ruminants. National Academy of Science, Washington, DC. 362 p.
- Parsons D., Nicholson C. F., Blake R. W., Ketterings Q. M., Ramírez-Aviles L., Cherney J. H., Fox, D. G. (2011). Application of a simulation model for assessing integration of smallholder shifting cultivation and sheep production in Yucatán, Mexico. *Agricultural Systems*, 104(1): 13-19.
- Pattanayak P., Behera P., Das D., Panda S. K. (2010). *Ocimum sanctum* Linn. A reservoir plant for therapeutic applications: An overview. *Pharmacognosy reviews*, 4 (7): 95.
- Plascencia-Jorquera A., Alvarez-Almora E. G., Zinn R. (2015). A comparison of via of administration of the injection of vitamin E in newly received feedlot calves. *Nova Scientia*, 7(15): 11-18.
- Qiao G. H., Zhou X. H., Li Y., Zhang H. S., Li J. H., Wang C. M., Lu Y. (2012). Effect of several supplemental Chinese herbs additives on rumen fermentation, antioxidant function and nutrient digestibility in sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96(5): 930-938.

- Quicazán M. C., Zuluaga C. M. (2011). La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria. *Vitae*, 18(2): 209-217.
- Razo-Ortiz P. B., Mendoza-Martínez G. D., Silva G. V., Osorio-Teran A. I., González-Sánchez J. F., Hernández-García P. A., de la Torre-Hernández M. E., Espinosa-Ayala E. (2020). Polyherbal feed additive for lambs: effects on performance, blood biochemistry and biometry. *Journal of Applied Animal Research*, 48(1): 419-424.
- Rivas-Cañedo A., Apeleo E., Muiño I., Pérez C., Lauzurica S., Pérez-Santaescolástica C., Díaz M. T., Cañeque V., de la Fuente J. (2013). Effect of dietary supplementation with either red wine extract or vitamin E on the volatile profile of lamb meat fed with omega-3 sources. *Meat Science*, 93(2): 178-186.
- Romero-González R., Fernández-Moreno J. L., Plaza-Bolaños P., Garrido-Frenich A., Martínez-Vidal J. L. (2007). Empleo de la espectrometría de masas como herramienta para la determinación de tóxicos en alimentos: hacia la seguridad alimentaria. *Revista Española de salud pública*, 81(5): 461-474.
- Roque-Jiménez J. A., Mendoza-Martínez G. D., Vázquez-Valladolid A., Guerrero-González M. L., Flores-Ramírez R., Pinos-Rodríguez J. M., Llorca J. J., Relling A. E., Lee-Rangel H. A. (2020). Supplemental herbal choline increases 5-hmC DNA on whole blood from pregnant ewes and offspring. *Animals*, 10 (8): 1277.
- Rooke J. A.; Robinson J. J., Arthur J. R. (2004). Effects of vitamin E and selenium on the performance and immune status of ewes and lambs. *The Journal of Agricultural Science*, 142: 253-262.
- Salami S. A., Guinguina A., Agboola J. O., Omede A. A., Agbonlahor E. M., Tayyab U. (2016). Review: In vivo and postmortem effects of feed antioxidants in livestock: a

review of the implications on authorization of antioxidant feed additives. *Animal*, 10 (8): 1375-1390.

Salem A. Z. M., Alseny H., Camacho L. M., El-Adawy M. M., Elghandour M. M. Y., Kholif A. E., Zaragoza A. (2015). Feed intake, nutrient digestibility, nitrogen utilization, and ruminal fermentation activities in sheep fed *Atriplex halimus* ensiled with three developed enzyme cocktails. *Czech Journal of Animal Science*, 60 (4): 185-194.

Salido F. P., Fernández J. J. R. (2002). Influencia de los radicales libres en el envejecimiento celular. *Offarm*, 21(7): 96-100.

Spears J. W., Weiss W. P. (2012). Mineral and vitamin nutrition in ruminants. *The Professional Animal Scientist*, 30: 180-191.

Stashenko E. E., Martínez J. R. (2010). Algunos aspectos prácticos para la identificación de analitos por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. *Scientia Chromatographica*, 2(1): 29-47.

Steel R. G., Torrie J. H., Dickey D. A. (2011). Principles and procedures of statistics. A biometrical approach, 3.

Valenzuela G. N. V., Pinelli S. A., Muhlia A. A., Domínguez D. D., González R. H. (2017). Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. *Journal of Animal Science and Technology*, 59: 1-17.

Van Keulen J., Young B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44 (2): 282-287.

Van Soest P. J., Robertso J. B., Lewis B. A. (1991). Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583–3597.

- Variya B. C., Bakrania A. K., Patel S. S. (2016). *Emblica officinalis* (Amla): A review for its phytochemistry, ethnomedicinal uses and medicinal potentials with respect to molecular mechanisms. *Pharmacological research*, 111: 180-200.
- Vázquez-Mendoza P., Castelán-Ortega O. A., García-Martínez A., Avilés-Nova F. (2012). Uso de bloques nutricionales como complemento para ovinos en el trópico seco del altiplano central de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1): 87-96.
- Wei C., Lin S. X., Wu J. L., Zhao G. Y., Zhang T. T., Zheng W. S. (2015). Effects of supplementing vitamin E on in vitro rumen gas production, volatile fatty acid production, dry matter disappearance rate, and utilizable crude protein. *Czech Journal of Animal Science*, 60: 335-341.
- Weimer P. J., Kohn R. A. (2016). Impacts of ruminal microorganisms on the production of fuels: how can we intercede from the outside? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1-10.
- Winqvist F., Hornsten E. G., Sundgren H., Lundstrom I. (1993). Performance of an electronic nose for quality estimation of ground meat. *Measurement Science and Technology*, 4(12): 1493.
- Yokozawa T., Kim H. Y., Kim H. J., Okubo T., Chu D. C., Juneja L. R. (2007). Amla (*Emblica officinalis* Gaertn) prevents dyslipidaemia and oxidative stress in the ageing process. *British Journal of Nutrition*, 97(6): 1187-1195.
- Zeferino C. P., Komiyama C. M., Pelícia V. C., Fascina V. B., Aoyagi M. M., Coutinho L. L., Moura A. S. A. M. T. (2016). Carcass and meat quality traits of chickens fed diets concurrently supplemented with vitamins C and E under constant heat stress. *Animal*, 10 (1): 163-171.

Zhang Z., Tong J., Chen D. H., Lan Y. B. (2008). Electronic nose with an air sensor matrix for detecting beef freshness. *Journal of Bionic Engineering*, 5(1): 67-73.