



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRITIVA Y ACTIVIDAD  
ANTIOXIDANTE DE TRES ESPECIES DE ARVENSES INCLUIDAS  
COMO ADITIVO EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS”

## **TESIS**

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

PRESENTA:

L.C.A. LUCERO KAREN DÍAZ MEDINA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRITIVA Y ACTIVIDAD  
ANTIOXIDANTE DE TRES ESPECIES DE ARVENSES INCLUIDAS  
COMO ADITIVO EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS”

## **TESIS**

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

PRESENTA:

L.C.A. LUCERO KAREN DÍAZ MEDINA

COMITÉ TUTORAL

TUTOR ACADÉMICO: DRA. JULIETA GERTRUDIS ESTRADA FLORES

TUTOR ADJUNTO: DR. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

TUTOR ADJUNTO: DR. LUIS BRUNETT PÉREZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, 2018

## RESUMEN

La producción de ganado ovino en sistemas campesinos en el Estado de México se basa en la alimentación semi-estabulada y el pastoreo en agostaderos naturales; el uso de alimentos no convencionales es una alternativa para mejorar la eficiencia productiva del ganado, a través del uso de plantas nativas como sustitutos de forraje o aditivos en la alimentación de ovinos y a su vez representa una oportunidad para el manejo de plantas invasoras de terrenos agrícolas. El objetivo de este trabajo es complementar al conocimiento sobre el uso de arvenses como alimento para rumiantes, se evaluaron 3 especies de arvenses *Tithonia tubiformis*, *Cosmos bipinnatus* y *Tagetes lucida* a través de dos experimentos. En el experimento 1 se valoraron 4 tratamientos (T0: dieta control, T1, T2 y T3 dieta control con 5% de *T. tubiformis*, *C. bipinnatus* y *T. lucida*, respectivamente). Se determinaron fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y proteína cruda (PC); fenoles totales (FT); taninos totales (TT); taninos condensados (TC) compuestos fenólicos por HPLC y actividad antioxidante (AA). Se evaluó la cinética de fermentación ruminal; digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS), materia orgánica (DIVMO) y FND (DIVFND) mediante la técnica de producción de gas *in vitro* por especie y tratamientos. En el experimento 2 se realizaron 4 tratamientos por especie con diferentes niveles de inclusión (DB: dieta base; Co10, Co15, Co20: *C. bipinnatus* con 10, 15 y 20 % de inclusión en la dieta base; Ti10, Ti15, Ti20: *T. tubiformis* con 10, 15 y 20 % de inclusión en la dieta base y Ta10, Ta15, Ta20: *T. lucida* con 10, 15 y 20 % de inclusión en la dieta base). Los resultados muestran mayor contenido de PC para *T. tubiformis*; *C. bipinnatus* presenta los mayores contenidos de fibras y TC comparado con las otras especies; FT presentó mayor ( $P<0.05$ ) porcentaje en *T. lucida*. En cuanto a las dietas; al incluir *Tagetes* en la dieta control, el contenido de FT se eleva hasta un 18%, mientras la actividad antioxidante aumenta un 30%; para el experimento 1 no se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) en los parámetros de cinética ruminal, DIVMS, DIVMO, DIVFND y EM, lo que indica que se puede hacer uso de arvenses como aditivo, para aumentar la actividad antioxidante en la dieta sin comprometer la bienestar y productividad animal. Se observó mayor contenido de PC para *T. tubiformis*; FND, FAD y TC para *C. bipinnatus*; FT en *T. lucida*. En cuanto a las dietas; al incluir *T. lucida*, los FT se elevaron un 20% y la AA un 55%; no se encontraron diferencias ( $P<0.05$ ) en la fermentación, digestibilidades y energía metabolizable (EM), lo que indica que se puede hacer uso de

arvenses como aditivo, para aumentar la AA sin comprometer la bienestar y productividad animal. En el segundo experimento se observa que al aumentar el porcentaje de las tres especies de arvenses; la digestibilidad tanto de la MO disminuye significativamente; la DIVMS y FND no se ve afectada al incluir hasta un 20% de *T. tubiformis*, sin embargo, el contenido de PC aumenta a mayor porcentaje de inclusión. La DIVFND, PC y FND no presenta diferencias ( $P < 0.05$ ) al incluir *T. lucida* en la dieta base. El contenido de taninos condensados asciende significativamente al aumentar el porcentaje de inclusión de las tres especies. La fracción *a* disminuye al aumentar el porcentaje de *T. lucida* y *T. tubiformis*, para el resto de las fracciones de la fermentación ruminal *in vitro* no se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) para ningún tratamiento.

## ABSTRACT

The sheep production in the Estado de Mexico is mainly based in semi-stable feeding and gazing in natural pastures; the use of non-conventional feeding is an alternative to improve the efficiency of sheep production, by using native plants as fodder substitute or as food additive for sheep, also this represents an opportunity to manage invasive plants in agricultural land. The objective of this work is to complement the existing knowledge there is in using weeds as food for ruminants, 3 species of weeds were evaluated *Tithonia tubiformis*, *Cosmos bipinnatus* and *Tagetes lucida*. with two experiments. In the experiment 1 is evaluated 4 treatments (T0: control diet, T1, T2 y T3 control diet with 5% de *T. tubiformis*, *C. bipinnatus* y *T. lucida*, respectively). Were evaluated. Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and crude protein (CP) were determined by conventional methods and mineral contents by inductively coupled plasma (ICP) analyses. In addition, secondary compounds, including total phenols (TP), total tannins (TT), condensed tannins (CT), and phenolic compounds were determined by high-performance liquid chromatography (HPLC), and total antioxidant activity was determined by measuring the oxygen radical absorbance capacity (ORAC). There was an evaluation of the kinetics in ruminal fermentation; *in vitro* digestibility of dry matter (IVDMD), organic matter (IVOMD) and NDF (IVNDFD) using the *in vitro* gas production technique by specie and treatment. In experiment 2, 4 treatments were carried out by species with different levels of inclusion (DB: base diet; Co10, Co15, Co20: *C. bipinnatus* with 10, 15 and 20 % of inclusion in the diet; Ti10, Ti15, Ti20: *T. tubiformis* with 10, 15 and 20 % of inclusion in the diet and TA10, TA15, TA20: *T. lucida* with 10, 15 and 20 % of inclusion in the diet). The results show a larger CP content for *T. tubiformis*; *C. bipinnatus* presented the largest fiber contents and CT compared to the other species; TP presented larger ( $P < 0.05$ ) percentage in *T. lucida*. Meanwhile for diets; adding *Tagetes* in the control diet, the TP content increased up to 18%, the antioxidant activity increased by 30%; in the experiment 1 no differences were found ( $P > 0.05$ ) in the ruminal kinetic parameters, IVDMD, IVOMD, IVNDFD and metabolizable energy, which indicates that you can make use of weeds as additive, to increase the antioxidant activity in the diet without compromising the wellbeing and the productivity of the animals. A larger content of CP was observed for *T. tubiformis*; NDF, ADF and TC for *C. bipinnatus*; TP in *T. lucida*. Meanwhile for diets; adding *T. lucida*, the TP increased by

20% and the AA 55%; no differences were found ( $P>0.05$ ) in the fermentation, digestibility and metabolizable energy (ME), which indicates that you can make use of weeds as additive, to increase the antioxidant activity in the diet without compromising the wellbeing and the productivity of the animals. In the second experiment, we observed that the increase in the percentage of the three species of weeds; the digestibility of the OM significantly decreases; the IVDMD and NDF is not affected by including up to 20% of *T. tubiformis*, however, the content of PC increases the higher the percentage of inclusion. The IVNDFD, PC, and NDF does not present differences ( $P<0.05$ ) to include *T. lucida* in the base diet. The content of condensed tannins amounts significantly to increase the percentage of inclusion of the three species. The fraction *a* decreases with the increase in the percentage of *T. lucida* and *T. tubiformis*, for the rest of the fractions of the *in vitro* ruminal fermentation no differences ( $P<0.05$ ) for no treatment.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de México a través de los proyectos, “Evaluación de forrajes convencionales y no convencionales utilizados en la alimentación de rumiantes” y “Evaluación de especies forrajeras nativas para el desarrollo de alimentos mejorados para rumiantes”. Financiamiento: UAEM: 3101/2011U y 4334/2017/CI.

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante el periodo 2016-2018.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo y material brindados para lograr que fuera posible este proyecto.

A la Dra. Julieta G. Estrada Flores por el apoyo, paciencia y por compartir sus conocimientos para la realización de este proyecto.

Al Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán y al Dr. Luis Brunett Pérez por su paciencia, sugerencia y comentarios durante este tiempo.

A Lulú y Laura por su apoyo en laboratorio.

A mis padres, hermanas y a todos mis amigos y compañeros, por su apoyo y por nunca dejar de creer en mí.

## INDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	10
2.	ANTECEDENTES.....	12
2.1.	LA GANADERIA A NIVEL MUNDIAL.....	12
2.1.1.	LA GANADERIA EN MÉXICO.....	15
2.1.2.	LA GANADERIA EN EL ESTADO DE MÉXICO .....	17
2.2.	LA GANADERIA EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAMPESINA.....	20
2.3.	PROBLEMÁTICA DE LA GANADERIA .....	21
2.4.	UTILIZACIÓN DE ALIMENTOS NO CONVENCIONALES .....	23
2.4.1.	<i>Tagetes lucida</i> .....	25
2.4.2.	<i>Tithonia tubiformis</i> .....	26
2.4.3.	<i>Cosmos bipinnatus</i> .....	26
2.5.	METABOLITOS SECUNDARIOS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES ....	27
2.5.1.	FENOLES Y TANINOS EN LA NUTRICIÓN DE LOS RUMIANTES .....	28
2.5.2.	ALCALOIDES EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES.....	31
2.6.	MINERALES Y ADITIVOS EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES.....	32
2.7.	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS ALIMENTOS .....	35
2.8.	IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN DE ALIMENTOS .....	38
2.8.1.	EVALUACIÓN DE ALIMENTOS A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE GAS <i>in vitro</i> .....	39
3.	JUSTIFICACIÓN.....	42
4.	HIPÓTESIS.....	43
5.	OBJETIVO.....	44
5.1.	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	44
6.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	45
6.1.	Experimento 1.....	45
6.1.1.	Área de estudio y colecta de muestras.....	45
6.1.2.	Análisis químico y determinación de metabolitos secundarios.....	45
6.1.3.	Actividad antioxidante.....	46
6.1.4.	Producción de gas <i>in vitro</i> (PGIV) y digestibilidad <i>in vitro</i> (DIV).....	47
6.1.5.	Diseño experimental.....	48



6.1.6.	Análisis estadístico .....	48
6.2.	Experimento 2 .....	48
6.2.1.	Formulación de dietas con la inclusión de las especies de arvenses .....	48
6.2.2.	Producción de gas <i>in vitro</i> (PGIV) y digestibilidad <i>in vitro</i> (DIV) .....	48
6.2.3.	Diseño experimental .....	49
6.2.4.	Análisis estadístico .....	49
7.	RESULTADOS .....	50
7.1.	Carta de recepción del artículo .....	50
7.2	Manuscrito .....	51
8.	CONCLUSIÓN GENERAL .....	72
9.	REFERENCIAS .....	73
10.	ANEXOS .....	85
10.1	Trabajo presentado en formato de cartel en el “6° Congresos internacional, Biología, Química y Agronomía” 27 a 29 de septiembre de 2017. Universidad Autónoma de Guadalajara, Zopopan, Jalisco. ....	85
10.2.1	Resumen Publicado en “Memorias 6° Congresos internacional, Biología, Química y Agronomía ISBN: 978-607-719-008-0”: “Evaluación de la Calidad nutritiva y actividad antioxidante de especies arvenses incluidas como aditivo en la alimentación de ovinos” .....	86
10.2.	Resultados experimento 2 .....	89

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Altiplano Central de México una de las actividades económicas que destaca es la producción de ganado ovino en sistemas campesinos; el inventario nacional de ovinos productores de carne corresponde a 8,575,908 cabezas para el 2014 (SAGARPA, 2016). La alimentación de los animales se basa principalmente en el pastoreo en agostaderos naturales y alimentación semi-estabulada (Estrada-Flores *et al.*, 2006; Martínez-Hernández *et al.*, 2014); por lo que la búsqueda de otras fuentes alimenticias de buena calidad nutritiva, económicamente viables y de fácil adquisición, es necesaria para mejorar la eficiencia productiva de los sistemas de producción campesinos (Blanco y Leyva, 2007; Sanginés-García *et al.*, 2014; Villanueva, 1989).

En la ganadería tradicional mexicana, las partes aéreas de varias malezas son usadas como forraje por el ganado y juegan un papel importante en la economía familiar tradicional (Gutiérrez *et al.*, 2008). Sin embargo, estas plantas generalmente presentan un alto contenido de metabolitos secundarios como polifenoles y alcaloides los cuales tienen efectos tanto positivos como negativos sobre la fermentación ruminal (Makkar, Siddhuraju y Becker, 2007; Wanapat *et al.*, 2015) la inclusión de estos compuestos han sido asociados con el mejoramiento del valor nutritivo y efectos benéficos sobre la salud animal (Makkar, 2003; Martínez-Loperena *et al.*, 2011) así, también representa una fuente natural de agentes antioxidantes en la nutrición animal (Gutiérrez *et al.*, 2008) los cuales disminuyen la oxidación y en alimentos de origen animal y mejoran la salud de rumiantes (Emami *et al.*, 2015; Oh *et al.*, 2017); por otro lado, la inclusión en niveles altos que provoca efectos negativos como una disminución en la digestibilidad y palatabilidad e intoxicaciones (Reed, 1995).

A una altura promedio de 2,600 metros sobre el nivel del mar en la zona central de México como en gran parte del país se encuentran diseminadas 3 especies de arvenses: *Tagetes lucida*, *Cosmos bipinnatus* y *Tithonia tubiformis* (CONABIO, 2017) como invasoras en terrenos agrícolas, las especies de arvenses en general pueden ejercer un efecto perjudicial sobre los cultivos a los cuales se asocian y pueden generar disminuciones significativas en

los rendimientos agrícolas, por otra parte también constituyen recursos alternativos como fuente de alimento para el ganado (Blanco y Leyva, 2007; Zamorano, 2006), debido a sus altas tasas de fermentación, un contenido alto de proteína y adecuados niveles de minerales (Matías, 2013). Pese a la amplia distribución de dichas plantas desde zonas de alta montaña hasta los trópicos; la información en cuanto a su uso como forraje es escasa.

El conocimiento del valor nutritivo de los alimentos es fundamental; sin embargo, no es suficiente con los análisis químicos, también hay que considerar los efectos de la digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica, (Bondi, 1989; Church y Pond, 2006) para conocer el efecto sobre los animales y para la elaboración de raciones que permitan una mejor ganancia de peso en los ovinos; por lo que se han propuesto métodos alternos para calcular la digestibilidad *in vitro* (Brochi-Brum, et al., 1999). El objetivo de este trabajo fue evaluar el valor nutritivo de tres especies de arvenses para su inclusión como aditivo en la alimentación de ovinos determinando su composición química, fermentación ruminal y su capacidad antioxidante.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. LA GANADERIA A NIVEL MUNDIAL**

Los sistemas ganaderos a nivel mundial ocupan aproximadamente el 30% de la superficie terrestre del planeta (libre de hielo), actualmente, el ganado es uno de los sectores de más rápido crecimiento en los países en desarrollo, gracias al incremento en la demanda de productos cárnicos y lecheros generada por el crecimiento demográfico. Sin embargo este crecimiento no solo se presenta en países industrializados, sino que presenta una oportunidad para ganaderos de países en vías de desarrollo donde la producción va encaminada a satisfacer la demanda local (Gibon, 2005; Thornton, 2010) y se espera que el consumo de alimentos de origen animal aumente a mayor ritmo en los países en desarrollo (FAO, 2016).

Entre 1961 y 2010, para satisfacer la creciente demanda, la producción mundial de carne se cuadruplicó y pasó de 71 millones de toneladas a 292 millones de toneladas; la tasa de crecimiento anual de la producción pecuaria a nivel global es de 2.1% (FAO, 2008). El incremento de la producción ganadera sería principalmente el resultado de la ampliación del número de animales, aunque el aumento de la productividad animal también es fundamental si los recursos naturales se utilizan con prudencia (Thornton, 2010). Se estima que entre 2005-07 y 2050 la población mundial de ganado vacuno y búfalos aumentará de 1,500 millones a 2,000 millones y la población de ganado caprino y ovino lo hará de 1,900 millones a 2,900 millones (Alexandratos y Bruinsma, 2012).

Los tipos de producción ganadera varían entre países de acuerdo a sus oportunidades económicas, infraestructura, demanda de recursos pecuarios, pero principalmente a sistemas agroecológicos que van desde zonas tropicales, templadas, semiáridas, hasta montañosas, laderas y sabanas; algunas regiones pueden destacar en la producción ganadera gracias a su clima o tipo de suelo, ya que son propicias para los cultivos comerciales y la producción de excedentes como quesos, lana, recursos maderables, frutos, entre otros; otros pueden carecer de una o ambas de estas ventajas, pero son compensados por su relativa proximidad a los mercados urbanos, mejores infraestructuras o simplemente una mayor demanda de

subproductos ganaderos, de estas últimas se derivan dos tipos de sistemas de producción: los de autoconsumo y los intensivos (FAO, 2008; Mottet *et al.*, 2006; Wanapat *et al.*, 2015).

Los sistemas de producción ganadera se dividen en dos categorías generales, sistemas de producción exclusivamente ganadera y sistemas mixtos de explotación agrícola (FAO, 2016); y a su vez pueden darse en cuatro diferentes tipos de sistemas (Rubio Lozano *et al.*, 2013; Wanapat *et al.*, 2015):

- ❖ Extensivo o sistemas pastorales: Aprovechamiento de las condiciones naturales, se requieren de grandes extensiones de pastizales; sin embargo, las ganancias de peso y calidad de la carne resultan inferiores a los obtenidos en otros sistemas. Los animales permanecen, un tiempo más prolongado para ser ofrecidos al mercado, pero el costo de producción es inferior, puesto que no se requiere de mucha mano de obra, concentrados y costosas instalaciones, pero tienen bajos niveles de productividad en términos físicos debido a la dependencia de recursos locales. El pastoreo juega un papel importante a escala mundial para las poblaciones dependientes, los servicios alimentarios y ecológicos que proporciona y las contribuciones económicas que hace a algunas de las regiones más pobres del mundo; por ejemplo, en Europa, suele ser la principal forma de valorizar los pastizales. A medida que los sistemas de pastoreo y cría en granjas se intensifican, los productores pueden aumentar la producción mediante la siembra de especies de pastos mejoradas.
- ❖ Semi-intensivos: Tiene como base el pastoreo donde combina el engorde extensivo y el engorde intensivo y tiene dos modalidades:
  - Suplementación: se le proporciona diariamente determinada cantidad de alimentos en comederos fijos en los mismos pastizales.
  - Encierro: los animales pastan medio día, y el otro medio día y toda la noche son encerrados en corrales, en donde se les alimenta con mezclas alimenticias.
- ❖ Intensivo: Mantiene al ganado en confinamiento, con una alimentación a base de raciones balanceadas especialmente preparadas. Para este sistema se requiere sólo de una reducida superficie de terreno para engordar un gran número de animales en periodos de tiempo cortos. Tienen un alto nivel de productividad así una elevada dependencia de insumos externos (piensos y combustibles fósiles). Los sistemas

intensivos buscan oportunidades de ampliar la explotación agrícola y aumentar el tamaño, aprovechando las economías de escala para mejorar la competitividad. Son empleadores relativamente importantes de mano de obra contratada. Su objetivo principal consiste en ampliar al máximo la rentabilidad basándose en la eficiencia técnica, utilización de los recursos, búsqueda de alimentos más baratos sea cual fuere su origen.

- ❖ Autoconsumo y sistemas agrícolas mixtos de pequeña escala: se refiere a la cría de animales por una familia para obtener productos como leche, carne y quesos; pueden combinar ganado y cultivos en la explotación. Estas explotaciones pequeñas, que a menudo poseen solo unos pocos animales, producen hasta el 80 % de los alimentos consumidos en Asia y África subsahariana. La diversidad dentro de estos sistemas permite sinergias positivas entre los cultivos y el ganado, como el reciclado de los desechos animales y residuos de cultivos, suelen emplear mano de obra familiar e incluyen propiedades urbanas y periurbanas. Son importantes para el suministro de alimentos a nivel local en cadenas cortas de mercado. Suelen depender de insumos externos, por tanto, son sensibles a la variabilidad de los precios de insumos y productos. A menudo se basan en procesos ecológicos como el reciclado de nutrientes (en una economía circular), y los efectos en la degradación del medio ambiente pueden ser menos importantes que en el caso de sistemas ganaderos a gran escala (FAO, 2008).

Según la FAO (2016) 1,300 millones de personas dependen de la ganadería para su subsistencia y de ellos 600 millones son agricultores de escasos recursos; genera asimismo subproductos como, estiércol, tracción animal, en muchas economías actúa de depósito de riqueza y red de seguridad al proporcionar empleo e ingresos; forma parte de la identidad cultural, las prácticas tradicionales, los valores y los paisajes de numerosas comunidades en todo el mundo. En 2010, productos animales como la carne, la leche y los huevos, sin incluir pescado y productos marinos, aportaron a nivel mundial el 16% del total de calorías y el 31% de las proteínas de la dieta (FAO, 2016). Todos los micronutrientes fundamentales presentes en alimentos de origen animal, salvo la vitamina B12, pueden encontrarse también en

alimentos vegetales, pero su densidad y biodisponibilidad es mayor en los alimentos de origen animal convirtiéndolos en una importante fuente nutricional (Gibson, 2011).

La producción mundial de carne ovina se concentra principalmente en países como China, Australia, Nueva Zelanda, la India, al noroeste y sur de Europa, Irán y Uruguay. El comercio internacional de la carne ovina se concentra en países como Australia y Nueva Zelanda (Garnier, 2010; Hernández Cortázar *et al.*, 2014) y su finalidad es la obtención de carne, lana, leche o doble propósito.

La problemática que presenta este tipo de ganadería principalmente es por cuestiones de deterioro ambiental como: sequias, sobreexplotación de pastos, manejo insostenible de número de cabezas de ganado; así como por cuestiones económicas y sociales tal es el caso del bajo precio de la lana o consumo bajo con respecto a otros tipos de carne, originado por el elevado precio de la carne (comparado con la carne de pollo, puerco y bovino) y mano de obra envejecida en el caso de Europa (Garnier, 2010). Países como Reino Unido, Nueva Zelanda y Australia demuestran que es posible aumentar la productividad a través de la mejora de genética ovina, un buen manejo de sistemas productivos, una mejor gestión de los pastos y la creación de empresas más grandes manteniendo al mismo tiempo un bajo nivel de insumos (Garnier, 2010).

### **2.1.1. LA GANADERIA EN MÉXICO**

Las zonas ganaderas del país se derivan principalmente de las regiones ecológicas, por las características climáticas y la relación suelo-planta-animal. La geografía mexicana ha sido dividida en tres regiones (Barreiro Perera, 1995)

- Región árida y semiárida: comprende los estados del norte y noroeste del país, desde la Península de Baja California hasta los estados de Tamaulipas, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas. Los agostaderos se encuentran deteriorados y están constituidos principalmente por pastizales nativos. Últimamente se han introducido especies forrajeras mejoradas llevando a cabo explotaciones más tecnificadas; conjuntamente se llevan a cabo engordas intensivas esto para el abasto regional.

- Región templada: está comprendida de los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Querétaro, Puebla y Tlaxcala (SAGARPA, 2006). En época de lluvia se aprovechan pastizales nativos, complementados en algunos casos con subproductos agrícolas, también se realizan engordas intensivas con granos y alimentos balanceados, para el abasto regional y de la zona metropolitana de la ciudad de México.
- Región tropical seca: comprende parte de los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, el sur de Tamaulipas y la Huasteca Potosina. El pastoreo se realiza en agostaderos constituidos por gramas nativas y en praderas inducidas. Debido a que la estación de lluvias es corta, la escasez de forraje durante la sequía repercute negativamente.
- Región tropical húmeda: comprende los estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Yucatán y parte de Chiapas. En esta región se combina de manera importante el doble propósito y la engorda de las crías en praderas con zacates introducidos y agostaderos con gramas nativas.

El sector pecuario en México aporta dos quintas partes del valor agroalimentario nacional, entre los que destacan con 41% la producción de carne de canal, 37% ganado de pie, 13% leche de bovino (SIAP, 2013).

En México, el consumo de carne de ovino ocupa el cuarto lugar de los productos cárnicos consumidos a nivel nacional y la demanda anual crece alrededor de un 9%. Sin embargo, la producción en el país no es suficiente para cubrir la demanda, en el 2005 se importó aproximadamente el 40% del consumo. La producción nacional para 2011 de carne en canal 56,546 toneladas (SAGARPA, 2012). Solo satisfizo el 70% del consumo nacional aparente, estimado 80,780 toneladas de carne en canal y el 30% restante fue surtido con carne importada principalmente de Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos, además México ha recibido la petición de exportar carne y animales a países como Jordania, Turquía, Libia, India, Corea del sur. Para el 2015 la producción nacional de ovinos fue de poco más de 8 millones de cabezas (SAGARPA, 2016) lo que lo coloca en el lugar 38 a nivel mundial en cuanto a volúmenes de cabezas se refiere y en el lugar 6 en América Latina (Hernández Cortázar *et al.*, 2014) destacando la región Sureste del país.



La producción de ovinos en el país se caracteriza de acuerdo con la región donde se lleva a cabo; por ejemplo, en el norte y centro del país destaca la producción de lana para uso artesanal, mientras que en las regiones tropicales se destina a la producción de carne, mediante razas criollas en pequeños rebaños y la barbacoa es la principal forma de consumo de la carne ovina, especialmente en estados como Monterrey, Guadalajara, Puebla y Ciudad de México (Hernández Cortázar *et al.*, 2014). El precio medio de la carne en canal del ganado ovino creció 11% en el 2014, al situarse en 43,334 pesos por tonelada, registrándose los mayores aumentos en Nayarit (16.6%), Yucatán (16%), Durango (13.5%), Morelos (12.1%), Oaxaca (11.7%), Chihuahua (11.6%), Estado de México (11.2%), Tlaxcala (11.1%) y en Aguascalientes (11%) y San Luis Potosí (11%) (INEGI, 2015).

En el centro de México, la alimentación de los animales se basa principalmente en el pastoreo en agostaderos naturales y alimentación semi-estabulada (Estrada-Flores *et al.*, 2006; Martínez-Hernández *et al.*, 2014); el pastoreo está limitado al uso del recurso forrajero y pastizales disponibles temporalmente sin un sistema específico de manejo, por lo que el ganado ovino en México se asocia a las deficiencias reproductivas de las razas, la genética, la incidencia de parásitos y a la deficiente organización de productores y escasa asesoría técnica (Arroyo *et al.*, 2002; Hernández Cortázar *et al.*, 2014). A pesar de las deficiencias técnicas y agroecológicas para la producción de borregos, los gobiernos tanto federal como estatal intentan fortalecer la productividad a través de la implementación de programas populares encaminados a la engorda de ovinos y puede constituir una fuente para satisfacer las demandas calóricas y proteicas del hombre (Ortega-Aguirre *et al.*, 2015).

### **2.1.2. LA GANADERIA EN EL ESTADO DE MÉXICO**

En la producción ganadera del Estado de México destacan los sistemas de producción de leche en pequeña escala, los de ganado bovino y ovino (pequeña escala). La alimentación del ganado en este tipo de sistemas se basa en residuos de cosecha como el rastrojo de maíz (Estrada-Flores *et al.*, 2006; SAGARPA, 2012) forrajes de baja calidad nutritiva como la avena, en recursos naturales disponibles en la milpa tradicional (arvenses/malezas) o incluso a través del consumo de pastos nativos disponibles en pastizales (Macedo *et al.*, 2003), en algunos sistemas, la alimentación de los rumiantes se complementa con otros recursos

alimenticios de bajo costo como grano de maíz; subproductos de la industria alimenticia y pecuaria como acemite de trigo, desechos de galletería, subproductos de cervecería y gallinaza o pollinaza (Estrada-Flores, 2005). Esta actividad presenta una marcada división en cuanto a la tecnificación ya que al norte del estado los ganaderos cuentan con mayor tecnología a pesar de que cuenta con una menor fracción de productores comparada con el sur donde la mayoría de pequeños ganaderos quienes combinan la actividad pecuaria con la agricultura, partiendo de la rotación de potreros entre el cultivo de maíz y el pastoreo en ciclos de 24 meses (18 de pastoreo y 6 de cultivo), para esta última el Estado de México tiene 22,351 km<sup>2</sup> (1.1 % de la superficie nacional) y ocupa 37.4 % de su territorio (INEGI, 2007).

La ganadería en el Estado de México es una actividad económica diversificada y relevante en zonas rurales, que genera recursos económicos importantes para el productor y su grupo familiar (García *et al.*, 2009) y se da principalmente de manera extensiva, actualmente la ganadería de doble propósito está en progreso ya que se ve como una opción para aumentar los ingresos totales (García-Martínez *et al.*, 2015). Existe también una mayor tendencia de manejo extensivo del ganado a través del uso eficiente de la tierra e introducción de razas que se adapten a la geografía existente y con mayor aptitud para producción de carne y uso eficiente de los recursos disponibles.

En la región Centro y Eje Neovolcánico de México, se encuentra el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, en la cual existen asentamientos humanos que realizan actividades agropecuarias (CONANP, 2015) y está sujeta a una actividad pastoril bajo un sistema productivo de tipo extensivo, principalmente de ganado ovino. Las razas utilizadas corresponden a Suffolk (40%), cruces de Suffolk-Hampshire (40%), Hampshire (10%) y criollo local (10%). Las cruces entre Dorper y otras razas de pelo (Kathadin o Black Belly) provenientes del sur del Estado de México (Plata Pérez, 2016).

La producción de ganado ovino en el Estado de México se basa principalmente en el consumo de pastos nativos disponibles en pastizales y en la alimentación semiestabulada (Martínez-Hernández *et al.*, 2014). Los sistemas de producción de carne de ovino a nivel estatal, son tradicionales, basados en el pastoreo en pastizales nativos y áreas forestales los cuales presentan bajo nivel de rentabilidad y son insostenibles, ya que genera la pérdida de cobertura vegetal, de suelo y falta de retención de agua, debido principalmente a deficiencias de manejo

en los aspectos de producción, conservación y utilización de forrajes, así como en el manejo nutricional, sanitario, reproductivo y genético de los rebaños (Castillo Orona *et al.*, 2014). Dichas estrategias de alimentación ya sea pastoreo, estabulado o semi-estabulado son influenciadas por la disponibilidad de áreas de pastoreo, la producción de forrajes y los costos asociados a la compra de alimentos.

La producción está dirigida al consumo de carne, elaborando la tradicional barbacoa que se consume principalmente en el centro del país. Sin embargo, también se utiliza la piel y lana para la elaboración de artesanías (INEGI, 2007).

El Estado de México junto con los estados de Hidalgo, San Luís Potosí, Puebla y Veracruz, representan el 56% del total de la producción nacional de ovinos (ICAMEX, 2017). Los sistemas productivos para la cría del ganado son dos:

- Sistema tradicional: cuenta con un número reducido de cabezas y cuyo objetivo específico es el ahorro o autoconsumo, los animales son vendidos o consumidos conforme a las necesidades del productor; el método de reproducción son los que naturalmente se dan. En estos sistemas el empadre es continuo y los programas sanitarios y la asistencia técnica son escasos lo que genera resultados productivos bajos en comparación con sistemas más tecnificados.
- Ovino-cultura empresarial: es el grupo más tecnificado y cuyo objetivo principal es obtener una utilidad, caracterizándose por emplear tecnología y control sobre los animales de razas bien definidas, así como programas para control reproductivo, sanitario, nutricional y genético.

Según los datos captados en el último Censo Agropecuario (INEGI, 2007), el estado de México registró 890,666 cabezas de ganado ovino. A nivel municipal, en primer lugar, se encuentra San Felipe del Progreso con 45,573 cabezas, le sigue Villa Victoria con 43,673, y Acambay con 39,998 cabezas.

## 2.2. LA GANADERIA EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAMPESINA

Uno de los modelos productivos utilizados en México para el desarrollo de la ganadería ovina son los sistemas de producción campesina, tradicional o de traspatio. Se caracteriza principalmente porque se posee un número reducido de cabezas de ganado, tienen niveles bajos de tecnificación y se asocian varias especies animales; el conocimiento de los métodos de producción es transmitido de generación en generación y difícilmente se incorporan nuevas tecnologías (Arias y Alonso, 2002) y básicamente se utiliza como apoyo a su economía o consumo familiar comúnmente en celebraciones o fiestas religiosas. Los animales se mantienen en corrales; por lo general pastorean durante el día en terrenos comunales de áreas federales y en propiedades desatendidas y no reciben suplementos alimenticios o se les proporciona residuos de cosechas y subproductos agrícolas, lo que supone una alimentación con un costo muy bajo, aunque estos piensos, en especial pajas de cereales, tienen escasos valores nutritivos. En estos sistemas, es prioritario mejorar el contenido de nutrientes y la digestibilidad de los piensos de manera eficaz en función de los costos (FAO, 2016).

Los genotipos más usados en estos sistemas son criollos, que proceden de los grupos genéticos traídos por los españoles y que se han ido mezclando indistintamente con varias razas introducidas más recientemente, tanto de pelo como de lana (Partida *et al.*, 2013).

Estos sistemas se encuentran fuera de la economía formal y se manejan con mano de obra familiar (pastoreo por jóvenes, viejos o mujeres) por lo que emplean métodos tradicionales que se transfieren de padres a hijos y la calidad del producto es muy irregular (Partida *et al.*, 2013; INEGI, 2007). La comercialización del ganado todavía se da, en algunos casos, a través de la compra de animales por pieza o, mejor conocido, “al bulto”, método que resulta desventajoso para el productor, ya que no se conoce realmente el valor del animal pues se subestima el peso y la calidad de este; sin embargo, más productores se suman a realizar el pesado del animal para su posterior venta (INEGI, 2007). En particular, los pequeños productores, no están vinculados a las cadenas de suministro o carecen de poder de negociación en los mercados a los que realmente acceden (FAO, 2016) y se ven expuestos a numerosos riesgos, en particular fenómenos climáticos, enfermedades de los animales,

plagas y la volatilidad de precios, algunos aspectos de la modernización de la producción pueden incrementar su vulnerabilidad

### **2.3. PROBLEMÁTICA DE LA GANADERIA**

Son muchos los desafíos que enfrenta la agricultura en el mundo y en México. Por un lado, está la necesidad de alimentar a una creciente población que ejerce una presión constante en la producción de los cultivos; por otra parte, la agricultura se practica en ambientes cada vez más degradados, con recursos más limitados y bajo la incertidumbre del cambio climático. A lo anterior, se adiciona el detrimento en la calidad de vida de la población rural, el crecimiento urbano e industrial de áreas agrícolas de alto potencial productivo y los impactos ambientales como el pastoreo excesivo, la desertificación, la contaminación del agua y la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ( Reyes *et al.*, 2013; Wanapat *et al.*, 2015).

El sector ganadero está relacionado con el cambio climático, principalmente por emisiones de metano entérico ( $\text{CH}_4$ ) que proviene en gran parte de rumiantes; comprende 17 % de emisiones de  $\text{CH}_4$  mundial y el 3.3% de las emisiones de GEI, mientras que el  $\text{CH}_4$  derivado del estiércol tanto de ganado rumiante como no rumiante contribuye 2 y el 0.4% respectivamente. Las emisiones de  $\text{N}_2$  procedentes del estiércol contribuyen cerca del 1% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Knapp *et al.*, 2014). La intensidad de las emisiones varía entre las especies, según el producto y de acuerdo con el sistema de producción. La elaboración y la producción de piensos, junto con la fermentación entérica de los rumiantes, son las dos fuentes principales de emisiones, que representan el 45 y el 39 % de las emisiones del sector, respectivamente (FAO, 2016).

La ganadería es la principal usuaria de recursos de tierras en el mundo. La FAO calcula que entre un tercio y el 40 % de las tierras cultivables del mundo se utiliza para producir cultivos forrajeros. En conjunto, las praderas y pastos permanentes y las tierras empleadas en la producción de piensos representan el 80 % del total de tierras agrícolas (FAO, 2016). La demanda de fuentes de proteínas para la alimentación animal ha dado lugar a un aumento de las tierras cultivables por alimento para el ganado. En América Latina, por ejemplo, la superficie de soya aumentó de 0.3 a 53 millones de hectáreas entre 1961 y 2013, mientras

que la superficie de bosque disminuyó 85 millones de hectáreas, lo que conlleva un aumento en la deforestación, cambio de uso de suelo sobre todo para monocultivo con el fin de producir piensos, aumentando la pérdida de biodiversidad y la reducción de la calidad y disponibilidad de recursos hídricos. Muchos de los ecosistemas de pastizales naturales de todo el mundo sobrellevan un pastoreo excesivo (Carvalho *et al.*, 2011). La degradación de los pastizales suele ir acompañada de la degradación y la erosión del suelo, reduce la contribución productiva y ecológica de los pastos. Esta degradación supone una disminución de la diversidad biológica, una reducción de la producción de plantas herbáceas, erosión del suelo y el desplazamiento de los sistemas agrícolas mixtos ricos en biodiversidad (FAO, 2016).

El agua es un recurso fundamental que determina el éxito del pastoreo como modo de vida en tierras áridas y semiáridas. Por otro lado, la calidad del agua es un problema vinculado principalmente a los sistemas de ganadería intensiva: los productos animales derivados de sistemas industriales basados en piensos requieren, un mayor uso de este recurso y generalmente consumen y contaminan más los recursos de aguas subterráneas y superficiales que los productos de origen animal obtenidos de sistemas de pastoreo o mixtos (Mekonnen y Hoekstra, 2012). En promedio, el sector ganadero utiliza casi un tercio del total de agua empleada en la agricultura: los forrajes producidos en tierras de cultivo utilizan el 37 % del agua usada para la producción agrícola (Herrero *et al.*, 2012).

En cuanto a problemas sociales, culturales, económicos y políticos; destaca el crecimiento demográfico, ya que aumenta la invasión de los cultivos sobre las tierras de pastoreo y áreas naturales protegidas (CONANP, 2015); el desplazamiento hacia sistemas de producción ganadera más intensivos ha tenido un profundo efecto en la composición del uso de las tierras agrícolas (Taheripour *et al.*, 2013), trayendo consigo consecuencias perjudiciales de tipo ecológico, social y cultural; tales como los mencionados anteriormente para el recurso agua, suelo y problemas climáticos, así como el desplazamiento forzoso de los pueblos indígenas y los pastores de sus tierras consuetudinarias, la pérdida de los medios de vida y la destrucción cultural y la mano de obra envejecida, ya que las comunidades rurales ven poco futuro en la agricultura, los agricultores de más edad son, por ejemplo, menos propensos a introducir nuevas técnicas de producción transformadoras (Vos, 2015).

En México la actividad ganadera sufre un resquebrajamiento a partir de 1980, provocado por el agotamiento del sistema extensivo, debido a la imposibilidad de ampliación de la frontera ganadera. Por otro lado, el sector tecnificado de la ganadería representado por productores empresariales con sistemas productivos especializados, no han sido capaces de representar una alternativa al modelo extensivo, ya que estas explotaciones se basan en el uso de tecnologías obsoletas y/o poco apropiadas a las condiciones de México, ya que fueron desarrolladas para una agricultura de los países desarrollados, lo cual además, anula la posibilidad de participación de los pequeños productores (SAGARPA, 2006). Por otro lado, la invasión de áreas naturales protegidas es muy evidente ya que más de un 30% reportan problemas derivados de los sistemas de producción pecuarios (CONANP, 2015).

Estos efectos negativos generados a partir de la producción ganadera favorecen la disminución a largo plazo de la seguridad alimentaria y la nutrición. Los desafíos consisten en desarrollar el mejoramiento genético y los regímenes de alimentación a fin de disminuir los GEI, la deforestación, aumentar el uso eficiente de recursos naturales disponibles en cada región y manteniendo al mismo tiempo la producción ganadera. Es necesario identificar las características estructurales y funcionales de los sistemas productivos, además de las relaciones que se establecen entre ellas y el aprovechamiento que tienen de los recursos naturales (Gazzano, 2014) ya que el ganado rumiante jugará un papel crucial en el futuro de la seguridad alimentaria mundial, ya que los rumiantes pueden transformar subproductos no comestibles (pastos, desechos de alimentos industriales) por el ser humano en alimentos para humanos de alta calidad (Knapp *et al.*, 2014).

#### **2.4. UTILIZACIÓN DE ALIMENTOS NO CONVENCIONALES**

Los sistemas campesinos productores de ovinos en el Estado de México, habitualmente se complementan con la siembra de maíz en unidades pequeñas de superficie, por lo que éste es el principal recurso forrajero y es la base de la alimentación del ganado (Castelán Ortega *et al.*, 1997; Maldonado Ferrucho *et al.*, 2014).

No obstante, en época de lluvias existe una gran disponibilidad de recursos naturales forrajeros, un ejemplo son las arvenses; en la ganadería tradicional mexicana que son

ampliamente utilizadas para la alimentación del ganado (Martínez-Loperena *et al.*, 2011), representando un papel importante en la economía familiar (Gutiérrez *et al.*, 2008; Ruíz *et al.*, 2014). Se les conoce como alimentos no convencionales o tradicionales a los productos nativos u obtenidos mediante un cultivo, o resultantes de un producto primario, no utilizados actualmente o utilizados de manera escasa para la alimentación de animales (Villanueva, 1989).

Las especies arvenses son plantas que han sido catalogadas como un obstáculo para la actividad agrícola por la competencia de agua, luz, nutrientes y espacio físico, interfiriendo con los niveles de producción sin valor económico, por lo que se ha determinado la adopción de medidas que buscan disminuir el impacto de dicho componente sobre las plantas de interés (Zamorano, 2006; Blanco y Leyva 2007). Sin embargo, las arvenses parecen jugar un papel provechoso dentro del agroecosistema, algunas de ellas sirven para disminuir la erosión del suelo, para el reciclaje de nutrientes y minerales, para añadir materia orgánica al suelo, como control general de plagas, como plantas medicinales, refugio de fauna silvestre y como fuente de alimento tanto para el ser humano como para el ganado (Blanco y Leyva 2007; Gioanetto *et al.*, 2010). Estas especies presentan un alta capacidad para sobrevivir en medios hostiles gracias a su alto grado de especialización, morfología y fisiología (Gioanetto *et al.*, 2010).

Además de los beneficios ecosistémicos de dichas plantas, representan una buena fuente de minerales (Gutiérrez *et al.*, 2008) y son de buena calidad nutritiva debido a sus altas tasas de fermentación y algunos por su alto contenido de proteína cruda. Sin embargo, este tipo de plantas generalmente tiene un alto contenido de metabolitos secundarios como polifenoles y saponinas (Martínez-Loperena *et al.*, 2011). El uso de sustancias vegetales secundarias, principalmente como aditivos en la alimentación de rumiantes, representa una estrategia de mitigación de metano (Wanapat *et al.*, 2015) y tienen efectos importantes sobre la fermentación ruminal (Martínez-Loperena *et al.*, 2011; Bodas *et al.*, 2012), sobre la población microbiana y la lipólisis en el rumen (Wencelová *et al.*, 2015). Investigaciones recientes sobre nutrición de rumiantes han promovido el uso de plantas forrajeras nativas, silvestres o cultivadas como suplemento por su alto contenido de proteína (Moreno-Murillo *et al.*, 2006). Un ejemplo: la suplementación con *Phaseolus calcaratus* heno a 600 g por animal por año era beneficiosa para los búfalos de pantano alimentados con paja de arroz



como forraje basal, ya que produjo un aumento de consumo de materia seca (MS) y redujo la producción de gas metano en el rumen, así como el aumento de la retención de nitrógeno (N) y la mejora en la eficiencia de la síntesis microbiana del rumen (Chanthakhoun *et al.*, 2011), así mismo el uso de Arvenses cafeteras como forraje, arrojó resultados positivos para la composición química de las arvenses seleccionadas mostrando una buena calidad nutricional para los animales (Sanginés García *et al.*, 2014).

En el estado de México como en gran parte del país se encuentran diseminadas 3 especies: *Tagetes lucida*, *Cosmos bipinnatus* y *Tithonia tubiformis* (CONABIO, 2017) como invasoras en terrenos agrícolas, pese a la amplia distribución de dichas plantas en zonas tropicales, la información en cuanto a su uso como forraje es escasa.

#### **2.4.1. *Tagetes lucida***

*Tagetes lucida* es una planta herbácea perteneciente a la familia Asteraceae; nativa de América tropical desde México a Honduras, en México el uso de *T. lucida* es medicinal y ornamental, cuyo principal compuesto activo acumulado en las partes aéreas, se desarrolla principalmente en pastizales y de forma ruderal entre los meses de julio y diciembre (Figuroa Medina *et al.*, 2016). Dicha especie tiene propiedades antifúngicas y antibacteriales (Céspedes *et al.*, 2006) y sus compuestos secundarios, primordialmente fenoles y aceites esenciales tienen un efecto antioxidante, los cuales se presentan en su máxima potencia en plena floración (Acosta *et al.*, 2011).

Se han identificado 53 constituyentes en *T. lucida*, entre los cuales resaltan en mayor proporción aceites esenciales como el estragol, anetol y metileugenol, limoneno,  $\beta$ -ocimeno,  $\beta$ -cariofileno, mirceno, anetol y alilanol; alcaloides, flavonoides como la quercetagina y patuletina; saponinas; taninos; leucoantocianinas; ácido gálico; glucósidos cianogénicos; cumarinas entre ellas herniarina, dimetil aliléter de 7-hidroxycumarina, 6,7,8-trimetoxicumarina (Céspedes *et al.*, 2006).

En los últimos años, en México se han efectuado investigaciones sobre conservación, caracterización y aprovechamiento de las especies mexicanas de *Tagetes* distribuidas en diferentes regiones del país, especialmente para el desarrollo de bioplaguicidas, obteniendo

resultados favorables, se conoce comúnmente en México como "pericón", "anisillo" y "flor de Santa María" y se han descrito 24 especies (Acosta *et al.*, 2011).

#### **2.4.2. *Tithonia tubiformis***

Dependiendo el área geográfica puede ser una planta anual o perenne, principalmente en los meses de octubre y noviembre es cuando se encuentra en floración. Es una especie de fácil adaptación; tolera condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo. Normalmente crece como maleza en el borde de los caminos, pero también es posible encontrarla dentro de los campos agrícolas. Es una especie con buena capacidad de producción de biomasa y rápida recuperación después del corte, lo que depende de la densidad de siembra, de los suelos y del estado vegetativo (Gioanetto *et al.*, 2010). Se le ha considerado como planta forrajera de buena calidad (Gutiérrez *et al.*, 2008).

Actualmente se ha profundizado en el estudio de la especie *Tithonia diversifolia* (Ruíz *et al.*, 2014; Cino *et al.*, 2012; La O *et al.*, 2009) como inclusión en dietas para rumiantes por la concentración nutritiva que presenta y puede acumular tanta proteína en sus hojas (hasta 33%) como las leguminosas, posee altos niveles de fósforo y tiene además, alta digestibilidad de materia seca así como presenta el 39.8 % de azúcares totales; para incrementar la utilización digestiva de los alimentos en los rumiantes (Ruíz *et al.*, 2014; La O *et al.*, 2009) asimismo por su rápido crecimiento y producción de biomasa incluida en la dieta para ovinos y bovinos, presenta una adecuada composición química y metabolitos secundarios que pueden modificar la utilización digestiva de los rumiantes. Esta planta permite su empleo para la manipulación de la ecología ruminal, la reducción de la población de metanógenos y protozoos, así como para incrementar la población de bacterias celulolíticas, cuando se utiliza a razón de 10 % de la materia seca total (Ruíz *et al.*, 2014).

#### **2.4.3. *Cosmos bipinnatus***

*C. bipinnatus* es una hierba anual de entre 0.3 hasta 1.5m de altura, originaria de México y del sudoeste de los Estados Unidos. Se encuentra ampliamente cultivada, y crece adventicia en las Antillas, Centroamérica, Sudamérica y Asia, en terrenos modificados y en bordes de caminos. En la región rioplatense se cultiva en parques y jardines. Florece desde la primavera

hasta los comienzos del otoño. Es una planta con un amplio rango de adaptación, puede crecer en suelos arenosos y ricos en materia orgánica, así como en suelos pobres de nutrientes y secos, resiste altas temperaturas y humedad elevada (Gioanetto *et al.*, 2010). Su principal uso es ornamental, existen diferentes variedades ornamentales de esta planta: blanca, rosa, anaranjada y morada (Hurrell *et al.*, 2007).

Las malezas, como *C. bipinnatus*, son plantas forrajeras de buena calidad ya que cumplen con la mayoría de los valores recomendados para el mantenimiento del ganado. A pesar del bajo valor de Ca:P, *C. bipinnatus* demostró no sólo buenos niveles de minerales, fibras y proteínas, sino también un alto contenido de compuestos fenólicos antioxidantes, representa una fuente natural de agentes antioxidantes (Gutiérrez *et al.*, 2008) y contra daños oxidativas al ADN (Jang *et al.*, 2008), esta especie contienen taninos astringentes.

Como uso en la alimentación de bovinos de leche, dicha especie mostró una disminución en la producción de metano del 16% comparada con dietas que no contenían esta arvense, así mismo la producción y composición de leche y el consumo de materia seca no se vio afectado por el uso de *C. bipinnatus* (Hernández Pineda, 2017).

## **2.5. METABOLITOS SECUNDARIOS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES**

Los metabolitos secundarios son sustancias químicas fabricadas por las plantas, se han identificado más de 200,000 moléculas de estas sustancias (Hartmann, 2007) ; dentro de sus funciones se encuentra la adaptación de las plantas al medio ambiente y de forma indirecta participan en procesos intrínsecos como el crecimiento, el desarrollo y la reproducción (Amlan, 2011; Martínez-Loperena *et al.*, 2011; Bodas *et al.*, 2012), adicionalmente, estos suelen tener efectos biológicos en otros seres vivos (Bodas *et al.*, 2012). La cantidad de compuestos va a depender de la especie de planta, así como de las condiciones climáticas y de estrés de la planta, entre esos factores podemos mencionar tanto la falta como el exceso de lluvia, las cantidades de sol que recibe, el clima de la región donde se encuentra el cultivo y el tipo de suelo (Garrido *et al.*, 2013); así como del estado fenológico de la planta.

La clasificación de estos compuestos es compleja, una agrupación general tiende a ser la de los alcaloides, fenoles, lectinas, saponinas y terpenos (Makkar *et al.*, 2007).

Diversos autores como Tavendale *et al.*, 2005; Goel *et al.*, 2008; Jayanegara *et al.*, 2009; Gurbuz, 2009; Moreira *et al.*, 2013; Tan *et al.*, 2011 mencionan que los metabolitos secundarios, especialmente los taninos poseen características que intervienen positivamente a nivel ruminal, tanto nutricionalmente como en la productividad y además tienen potencial para disminuir efectos nocivos en el ambiente, producto de la fermentación ruminal teniendo beneficios en la salud animal, ya que estos compuestos protegen la degradación de la proteína en el rumen permitiendo su absorción a nivel intestinal (Dijkstra *et al.*, 2002; Makkar, 2003; Reed *et al.*, 2000). En los últimos años el estudio de metabolitos secundarios relacionado con la alimentación animal ha despuntado, especialmente en lo relacionado con los efectos en la fermentación ruminal, tóxicos y nutricionales en el ganado (Makkar *et al.*, 2007; Wencelová *et al.*, 2015).

Sin embargo, también están relacionados con efectos tóxicos y antinutricionales para el ganado. Estos efectos pueden clasificarse en dos grupos (Reed *et al.*, 2000):

- Compuestos tóxicos: están presentes en plantas a bajas concentraciones (menos de 20 g Kg<sup>-1</sup> MS); tienen efectos psicológicos negativos y cuando son absorbidos provocan problemas neurológicos, y daños más severos como falla reproductiva, gangrena y muerte. Ejemplos de estas sustancias son alcaloides, saponinas, glucósidos cianogénicos y muchos otros.
- Compuestos no tóxicos: estos disminuyen la digestibilidad y palatabilidad de las plantas. El sitio primario de la actividad es el tracto digestivo o por órganos sensoriales asociados con el comportamiento alimentario. Incluye: taninos, lignina y terpenoides volátiles.

### **2.5.1. FENOLES Y TANINOS EN LA NUTRICIÓN DE LOS RUMIANTES**

Los compuestos fenólicos son sustancias complejas que se encuentran comúnmente en las especies forrajeras utilizadas en la alimentación de animales de producción pastoril especialmente en árboles, arbustos, frutas, leguminosas y arvenses. La concentración de estas

sustancias es muy variable, dependiendo de la especie, tipo de tejido, cultivo, estado de desarrollo y condiciones ambientales. La presencia de fenoles se ha asociado con la prevención del pastoreo al inicio de la estación vegetativa (Gutman *et al.*, 2000), así como se relacionan con el color, características sensoriales (sabor y astringencia), características nutrimentales y propiedades antioxidantes (Kähkönen *et al.*, 2001; Scalbert *et al.*, 2005, Sooberate *et al.*, 2005).

Los taninos son sustancias polifenólicas con diferentes pesos moleculares y complejidad, siendo clasificadas en taninos hidrolizables (TH) y taninos condensados (TC). Los hidrolizables son potencialmente tóxicos para animales rumiantes debido a las sustancias que originan cuando se degradan en el rumen, y aunque los TC son considerados no tóxicos para este tipo de animales, en altas concentraciones pueden producir lesiones en la mucosa intestinal, disminuyendo la absorción de nutrientes; por el contrario, en bajas concentraciones producen efectos beneficiosos para el ganado (Torres-Acosta *et al.*, 2012).

La diferencia entre los efectos tóxicos y benéficos dependerá de la dosis, la concentración en la planta y estructura de los compuestos activos (Hoste *et al.*, 2006); así como, de otros factores como especies animales, el estado fisiológico de la planta y la composición de la dieta (Makkar, 2003):

### **Efectos positivos**

- Los taninos tienen capacidad de formar complejos, principalmente con las proteínas en el rumen, llamado complejo tanino-proteína el cual previene que la proteína sea atacada por los microorganismos ruminales, evitando así su desnaturalización en el rumen. Este proceso es benéfico para el animal puesto que aprovecha mejor la proteína ingerida a nivel intestinal. (Mueller-Harvey, 2006). También forman complejos con carbohidratos, moléculas de paredes celulares bacterianas y enzimas involucradas en la digestión (Reed, 1995; Barry *et al.*, 2003).
- La actividad antimetanogénica de los taninos se ha atribuido principalmente al grupo de los TC (Piluzza *et al.*, 2013). Además, suelen reducir la emisión de metano y amoníaco (Tiemann *et al.*, 2006), tienen un efecto antihelmíntico (Salem, 2012) y antitimpánico (Torres-Acosta *et al.*, 2008) y han sido probados por sus beneficios nutricionales (Mueller-Harvey, 2006).

- Los extractos de algunas plantas poseen propiedades antimicrobianas contra gran variedad de microorganismos como protozoarios, bacterias, hongos y virus (Gutiérrez *et al.*, 2008) y pueden ser incluidos en la alimentación animal con el objetivo de mejorar la utilización de los alimentos, la salud animal y se han investigado como potenciales modificadores del rumen. La defaunación en el rumen se ha considerado como una alternativa para reducir la metanogénesis, puesto que se han descrito interacciones específicas de los protozoos ciliados con bacterias metanogénicas endo y ectosimbióticas (Leng, 2014).
- Makkar *et al.* (1995), sugieren que diferentes dosis y diferentes fuentes de taninos vegetales podrían tener efectos variables sobre la digestibilidad de materia seca *in vitro*; en dosis que no superen el 5% de compuestos secundarios se muestran resultados positivos para la digestibilidad (Wencelová *et al.*, 2015).

### **Efectos negativos**

- Se conoce que los taninos hidrolizables son compuestos tóxicos para los rumiantes. Las lesiones principales asociadas con dicha toxicidad son gastroenteritis hemorrágica, necrosis hepática y daño renal con necrosis tubular proximal (Patra y Saxena, 2010).
- Las concentraciones de taninos y fenoles superiores al 5% en una dieta podrían afectar de forma negativa el consumo voluntario del animal, así como en pruebas *in vitro* e *in vivo* en porcentajes superiores han demostrado efectos negativos en la utilización de nutrientes del alimento, reducen la digestibilidad de materia seca, materia orgánica, fibra, proteína y carbohidratos (Reed, 1995), provocan intoxicación, afectan negativamente la fermentación ruminal, interfieren con la producción de ácidos grasos volátiles (Pinto-Ruiz *et al.*, 2009) y por tanto la productividad animal y en grandes cantidades pueden causar la muerte (Reed *et al.*, 2000).
- Por otro lado, Aschfalk *et al.*, (2000) reportan que plantas con un contenido de taninos entre 5.8% y 8% son evitadas para su ingestión por los animales, particularmente ovejas, debido a su baja palatabilidad. Por el contrario, aquellas de bajo contenido (0.2%-0.4 %) gozan de buena aceptabilidad.

- Makkar (2003) menciona que valores superiores al 4.5% en fenoles y 2% de taninos fenólicos en forrajes tropicales, respectivamente, pueden producir efectos negativos significativos en los rumiantes (García y Medina, 2006).

La tolerancia a los taninos varía con las especies rumiantes y puede aumentar con una dieta alta en proteínas (Makkar, 2003). Recientemente, se ha sugerido que el efecto negativo de los taninos presentes en algunos forrajes puede disminuir si este es consumido en bajas cantidades y mezclados con otros forrajes (Ramírez, 2009).

### **2.5.2. ALCALOIDES EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES**

Los alcaloides son una gran familia de más de 15.000 metabolitos secundarios que tienen en común tres características: son solubles en agua, contienen al menos un átomo de nitrógeno en la molécula y exhiben actividad biológica (Ávalos García y Pérez-Urria, 2009). Existen varios tipos de alcaloides tóxicos para herbívoros que protegen a la planta huésped (Bush *et al.*, 1997) entre ellos la ergovalina es un alcaloide tóxico para el ganado, mientras que la peramina es tóxica para insectos, la concentración de estos alcaloides en la planta depende del genotipo del hongo y de la planta, así como de las condiciones ambientales (Schardl *et al.*, 2013).

La concentración de ergovalina parece ser más dependiente de factores ambientales, ya que una misma planta varía en la concentración de dicho alcaloide dependiendo de la parcela experimental, y por tanto las condiciones ambientales (Vázquez de Aldana *et al.*, 2010). De la misma forma depende del estrés al que esté sometida la planta; es decir este alcaloide aumenta como protección contra ganado (Bony y Delatour, 2001) o en condiciones de estrés ambiental, como por ejemplo la sequía.

Zabalgogeoazcoa y Bony (2008), indican que niveles superiores a 400 µg/kg en concentración de ergovalina son considerados como crítico en la dieta y se pueden observar síntomas clínicos de toxicidad en ganado vacuno.

## 2.6. MINERALES Y ADITIVOS EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

Los animales rumiantes son relativamente únicos en el reino animal, tienen solo cinco requerimientos clave de nutrientes: proteína cruda, energía (en forma de fibra), grasa, vitaminas y minerales solubles en agua. En muchas situaciones, la falta de enfoque para la implementación en estos ingredientes básicos de la dieta ha resultado en un rendimiento sub óptimo (McGrath *et al.*, 2017). Además de estos nutrientes existen los aditivos; los cuales se definen como ingredientes dietéticos o modificadores de consumo que proporcionan una respuesta deseable en animales en un papel no nutritivo. Varios aditivos para piensos contienen nutrientes; sin embargo, su función no va enfocada a satisfacer los requerimientos nutricionales de un animal, sino que son utilizados para alterar el metabolismo ruminal o post-ruminal, mejorando así la utilización de nutrientes y la productividad animal (McGrath *et al.*, 2017), estos son: amortiguadores del pH, enzimas exógenas, adrenérgicos, antibióticos, pre y probióticos, levaduras, entre otros. Los aditivos ofrecen la posibilidad de aumentar la eficiencia de la alimentación y la producción animal.

La insuficiencia de energía y proteína es a menudo responsable de la producción animal subóptima. Sin embargo, los desbalances de minerales ya sea por deficiencia o exceso han sido considerados responsables de la baja producción y problemas reproductivos en rumiantes. Los elementos minerales son elementos esenciales para la nutrición del ganado y muchas veces los forrajes pueden satisfacer los requerimientos minerales. A pesar de que el agua no es fuente importante de estos elementos todos los elementos se encuentran en cierto nivel en este líquido, por otro lado, los animales en pastoreo suelen consumir alguna cantidad de suelo lo que puede provocar consumos excesivos de algunos minerales (McDowell *et al.*, 1993).

El calcio (Ca) y el fósforo (P) se encuentran entre los minerales más importantes en la vaca lechera con muchas funciones estructurales y bioquímicas. Constituyen la mayoría de la estructura del esqueleto, juegan un papel importante en el control muscular, la producción de energía y la inmunidad, entre otros roles (McDowell *et al.*, 1993).



**Tabla 1. Requerimientos minerales en la alimentación de ovinos**

Mineral/rango	Funciones principales	Interrelaciones y toxicidades
<b>Macronutrientes</b>		
Calcio (Ca) 0.20 – 0.82 %	Formación de huesos y dientes; función en las neuronas; contracción muscular; coagulación sanguínea; permeabilidad celular; esencial para la producción de leche.	Vitamina D envuelta en absorción y deposición ósea; exceso de P y Mg reducen la absorción; relación Ca:P no debe estar por encima de 7:1.
Magnesio (Mg) 0.12 – 0.18 %	Esencial para el desarrollo normal esquelético, debido a que forma parte del hueso; activador enzimático; primordialmente en el sistema glicolítico; ayuda a disminuir la irritabilidad de los tejidos.	Exceso descontrola el metabolismo de Ca y P; toxicidad no es común.
Fósforo (P) 0.16 – 0.38 %	Formación de huesos y dientes; fosforilización; ligamentos de fosfato de alta energía; PO <sub>4</sub> mayor radical aniónico del fluido intracelular; PO <sub>4</sub> es importante en el balance de ácido-base. Componente del ARN, DNA y muchos sistemas enzimáticos.	Vitamina D envuelta en reabsorción renal y depósito de hueso; exceso de Ca y Mg causa reducción de absorción; relación Ca:P no debe ser menos de 1:1 o más de 7:1.
Potasio (K) 0.50 – 0.80 %	Catión mayor del fluido intracelular donde está involucrado en la regulación de la presión osmótica y el balance de ácido-base; actividad muscular; requerido en reacción enzimática de creatina; influencia en el metabolismo de carbohidratos.	Niveles excesivos de K interfieren con la absorción del Mg; deficiencia de Mg disminuye retención de K, resultando en deficiencia de K.
Sodio (Na) 0.09 – 0.18 %	Catión mayor del fluido extracelular donde está involucrado en la regulación de la presión osmótica y el balance de ácido-base; preservación de la irritabilidad normal de la célula muscular; permeabilidad muscular.	Toxicidad por sal, la cual es acentuada con la restricción del consumo de agua, ocurre con frecuencia.
Azufre (S) 0.14 – 0.26 %	Parte de aminoácidos con azufre; grupo -SH tiene función en respiración de tejidos; parte de biotina; tiamina, coenzima e insulina.	Relacionado con Cu y Mo metabolismo y antagonista a Se.

		Generalmente toxicidad no es problema.
<b>Micronutrientes</b>		
Cobalto (Co) 0.10 -0.20 ppm	Forma parte de vitamina B <sub>12</sub> . Microorganismos ruminales usan Co para la síntesis de vitamina B <sub>12</sub> y crecimiento de las bacterias. Parte de adenosinacobalamina y metinacobalamina.	Toxicosis por vitamina B <sub>12</sub> no es común.
Cobre (Cu) 7 – 11 ppm	Tirosina en síntesis de hemoglobina; formación ósea; mantenimiento de mielina de los nervios; pigmentación del pelo.	Un exceso de Mo en presencia de S causa una condición curable con administración de Cu. El exceso de cobre es tóxico, se acumula en el hígado y puede producir la muerte.
Hierro (Fe) 30 – 50 ppm	Respiración celular (hemoglobina, citocromas, mioglobina).	Cu es requerido para el metabolismo adecuado de Fe, mucho Fe puede interferir con P, Cu y Se.
Manganeso (Mn) 20 – 40 ppm	Esencial para la formación ósea (como parte de la matriz orgánica). Activador y constituyente de sistemas enzimáticos; metabolismo de aminoácidos y síntesis de ácidos grasos.	Exceso de Ca y P reduce absorción, generalmente Mn no es tóxico en cantidades moderadas.
Molibdeno (Mo) 5 – 20 ppm	Parte de varias enzimas; importante para el metabolismo de purinas y transporte de electrones.	Niveles tóxicos de Mo interfieren con el metabolismo de Cu, incrementando su requerimiento.
Zinc (Zn) 1000 ppm	Parte o cofactor de varios sistemas enzimáticos, incluyendo peptidasas y carbonicanhydrase; necesario para el hueso y para la síntesis y metabolismo de la proteína.	Altos niveles de Zn pueden acentuar las deficiencias de Fe y Cu.

Fuente: adaptado de McDowell *et al.*, (1993).

## 2.7.CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS ALIMENTOS

Los compuestos fenólicos son reconocidos por sus propiedades antioxidantes (Scalbert *et al.*, 2005, Sooberate *et al.*, 2005; Kaisoon *et al.*, 2011) de la misma forma los flavonoides que contienen unidades de ácido gálico, quercetina y antocianinas totales tienen alta capacidad antioxidante (Katiki *et al.*, 2013). Los antioxidantes están vinculados a la neutralización de los radicales libres excesivos en el cuerpo, provocando mecanismos antioxidantes internos y la estimulación del sistema inmune.

Aunque la actividad antioxidante de los compuestos naturales se ha asociado con la salud humana, su papel en la nutrición animal sigue siendo un tema de interés actual. Entre los pocos datos disponibles, se ha documentado que los metabolitos reactivos del oxígeno pueden contribuir a la mastitis, edema de la ubre y el rendimiento reproductivo subóptimo del ganado lechero (Gohlke *et al.*, 2013). Además, se ha considerado que la neumonía y la enteritis en animales de granja son una consecuencia del estrés oxidativo (Lykkesfeldt y Svendsen, 2007).

La presencia de antioxidantes y el perfil de ácidos grasos pueden resultar variables de gran interés debido a la transferencia de parte de estos a los productos ganaderos finales (carne y productos lácteos). La carne es considerada como un alimento nutritivo para el consumo humano con una alta calidad de proteínas, vitaminas y minerales. Sin embargo, la auto oxidación de los lípidos y la producción de radicales libres en la carne, afectan el sistema biológico principalmente al producir un deterioro oxidativo y desarrolla mal sabor en los productos cuando se expone al oxígeno o la luz (Emami *et al.*, 2015). Así, la presencia de compuestos antioxidantes en los productos cárnicos ayuda a incrementar su vida útil y prolongar su conservación (Grusak y DellaPenna, 1999). Muchas sustancias sintéticas y naturales se han investigado como antioxidantes potenciales de prevenir la oxidación de lípidos. La tendencia es a disminuir el uso de antioxidantes sintéticos debido a preocupaciones de los consumidores sobre la seguridad y la toxicidad (Emami *et al.*, 2015). La industria ha dirigido sus estudios en compuestos bioactivos como como una estrategia de alimentación para mejorar la calidad de los productos de rumiantes mediante la mejora de la capacidad antioxidante y también para reducir el costo de producción. Los polifenoles

inhiben la peroxidación lipídica, actuando como eliminadores de peroxilo-radical de rotura de cadena, y pueden proteger la carne de la oxidación (Emami *et al.*, 2015).

Otros estudios que se han realizado con diversas plantas y alimentos con alto contenido de antioxidantes, por ejemplo, la suplementación con granada aumentó el contenido fenólico total y la actividad antioxidante de la carne de corderos (Kotsampasi *et al.*, 2014) y en la leche de ovinos; Qwele *et al.*, (2013) informaron de que los valores de FRAP y el contenido fenólico total de músculo de cabras suplementada con hojas de *Moringa oleifera* se incrementó significativamente; en ovejas alimentadas con taninos de quebracho y aceites esenciales de romero y artemisa mejoraron la capacidad antioxidante del plasma de hígado y músculo (Aouadi *et al.*, 2014); taninos de quebracho (95.7 g / kg de DM) aumentaron férrico-reducción de la potencia antioxidante en el hígado y la sangre de oveja (Oh *et al.*, 2017); Zhong *et al.*, (2011) informaron también que las catequinas del té mejora el estado antioxidante por reductor oxidado en la sangre de las cabras; el aceite de enebro (0.4-2 ml / kg de DM, que contiene 89.7%  $\alpha$ -pineno) aumento de la actividad de la enzima superóxido dismutasa en cabras en crecimiento y una mezcla de polvos de hierbas (*fruticosa Woodfordia*, *Solanum nigrum*, y *Trigonella foenum-graecum*) que contiene taninos hidrolizables, saponinas esteroides, y glicoalcaloides mejoraron la actividad antioxidante en la sangre de las cabras (Oh *et al.*, 2017).

Los antioxidantes son la base de la inmunidad y la salud. Permiten a los rumiantes canalizar los nutrientes a la producción y no a superar algunos problemas de salud prevenibles. La salud y la producción de rumiantes son cruciales para un sistema de producción animal sostenible, y esta área de investigación atrae interés internacional, especialmente en relación con los mecanismos por los cuales el equilibrio oxidante/antioxidante puede influir en el metabolismo y la salud (McGrath *et al.*, 2017). Los oxidantes desempeñan un papel central en la función celular normal, proporcionando un circuito de retroalimentación importante entre la actividad metabólica y la regulación de las funciones celulares. Estrés oxidativo surge debido a un desequilibrio entre pro-oxidantes y antioxidantes, que puede ocurrir en circunstancias de mayor utilización de antioxidantes exógenos y endógenos, capacidad antioxidante deteriorada o función inmune (McGrath *et al.*, 2017). Teniendo en cuenta la complejidad de numerosas interacciones entre antioxidantes y sistemas corporales (genoma,

proteoma y metaboloma), es concebible que sea necesario un análisis exhaustivo de las interacciones antioxidante-animal para lograr una comprensión más profunda de los efectos de la administración de suplementos antioxidantes en las dietas de rumiantes (McGrath *et al.*, 2017).

La actividad antioxidante es un parámetro que mide el grado en que el compuesto antioxidante evita que su sustrato se oxide. Existen diversos métodos para determinar la capacidad antioxidante, en función de la información que se desea obtener (Sánchez-Moreno, 2002):

- **Determinación directa:** El radical se emplea como un factor de cuantificación (produce una señal analítica). La adición del antioxidante, antes o después de la generación del radical, provoca una disminución de la señal. En el ensayo de post-adición se forma el radical en ausencia de la muestra y así, cuando se añade la sustancia antioxidante se produce un descenso en la señal debido a la disminución de la concentración del radical. En ensayos de inhibición, la muestra se añade a los sustratos de oxidación antes que sea generado el radical, La reacción comienza con la adición del oxidante (ABTS $\bullet$ +, DPPH, etc).
- **Determinación indirecta:** La presencia de radicales libres produce la pérdida o aparición de un reactivo, por tanto, en presencia de un antioxidante se provoca el aumento o disminución de la señal (métodos, ORAC, FRAP, etc).

**Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC):** El ensayo ORAC, basado en la neutralización de un oxidante, es un indicador fiable de la capacidad antioxidante de las plantas. El método ORAC consiste en medir la disminución en la fluorescencia (FL) de una proteína como resultado de la pérdida de su conformación cuando sufre daño oxidativo causado por una fuente de radicales peróxidos (ROO). El método mide la capacidad de los antioxidantes en la muestra para proteger la proteína del daño oxidativo. La proteína usada es la fluoresceína El mecanismo de la reacción se basa en la transferencia de un átomo de hidrogeno del antioxidante al radical libre. Por esto, se utiliza el radical iniciador, el AAPH, para generar el radical peroxil ROO. Un mol de AAPH, pierde un mol de nitrógeno, para generar dos moles de radical AAPH a una tasa constante. En una solución saturada de aire, el radical AAPH reacciona rápidamente con el oxígeno para dar un radical peroxil más

estable, ROO. La pérdida de fluorescencia de la FL es el indicador de la extensión de la oxidación con el radical peroxil. En presencia de un antioxidante, ROO capta, preferiblemente, un átomo de hidrógeno del antioxidante estable. Como consecuencia, la disminución de la fluorescencia de la FL por acción del radical peroxil es disminuida o inhibida (Álvarez *et al.*, 2011).

**Método FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power):** En este método se determina la capacidad antioxidante de forma indirecta. Se basa en el poder que tiene una sustancia antioxidante para reducir el  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  que es menos antioxidante. El complejo férrico-2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) incoloro es reducido al complejo ferroso coloreado. Se trata de un método espectrofotométrico ya que se mide la absorbancia del  $\text{Fe}^{2+}$ . Así, cuanto más antioxidante es la sustancia objeto de estudio, mayor es la reducción y mayor la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  y más alta la señal de absorbancia. El complejo va a poder ser reducido por productos con potenciales redox menores a 0,7 V (potencial redox del  $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ). Debido a que el potencial redox del  $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ es comparable con el del ABTS se pueden analizar compuestos similares con ambos métodos, aunque las condiciones de la reacción sean distintas. El mecanismo del FRAP es de transferencia de electrones, a diferencia de otros métodos donde se produce captura de radicales libres, según esto, el FRAP puede ser útil, en combinación con otros métodos, en la determinación de la capacidad antioxidante de productos que contengan distintos tipos de antioxidantes.

## 2.8. IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN DE ALIMENTOS

El uso de forrajes en rumiantes permite una producción animal a bajo costo y por su alta producción de biomasa, representan una opción para mejorar la productividad. Sin embargo, la variedad de especies de dichos alimentos brinda la posibilidad de estudio de la composición nutricional, digestibilidad y aceptabilidad de los alimentos, especialmente en forrajes tropicales (Silva Bueno *et al.*, 2010), con el fin de estimar los nutrientes y la cantidad aprovechada por el animal (Ortega-Aguirre *et al.*, 2015).

La evaluación de alimentos para ganado está definida como el uso de métodos que describen los alimentos con respecto a su disponibilidad y diferentes niveles de rendimiento animal. La

importancia práctica de esta evaluación está relacionada con la eficiencia en la utilización de los alimentos, permitiendo que el productor tenga como entrada una adecuada nutrición animal y como producto final el retorno financiero (Dijkstra *et al.*, 2005). La caracterización nutricional de los alimentos es muy general, sin embargo, existe una herramienta que permite la caracterización más detallada de los alimentos y forrajes; esta es la determinación de la cinética de fermentación ruminal a través de la técnica de producción de gas *in vitro* y la determinación de la digestibilidad a partir de la misma. Lo anterior permitirá desarrollar mejores estrategias de alimentación, que permitan hacer uso racional de los recursos disponibles y al mismo tiempo mejoren la respuesta animal y el margen de ganancia de los productores. En los sistemas de evaluación de alimentos, la cantidad de energía, proteína, vitaminas y minerales disponibles para la absorción del tracto gastrointestinal del animal está representado por la cantidad de requerimientos que el animal necesita para su mantenimiento (Dijkstra *et al.*, 2005).

El conocimiento de la digestibilidad de los alimentos, en una especie animal, es básico para establecer el valor nutritivo de los ingredientes, por lo tanto, para la formación de raciones; por lo que se han propuesto métodos alternos para calcular la digestibilidad *in vitro* (Brochi-Brum, et al., 1999).

La técnica de producción de gas, miden la fermentación microbiana de los alimentos y la producción de gas que es formado directamente por los microorganismos e indirectamente por la interacción de los ácidos grasos volátiles (AGV's) y el buffer (Theodorou *et al.*, 1994).

Cabe destacar que la población microbiana ruminal se ve afectada por numerosos factores, así la procedencia del inóculo ruminal. Se considera que es la mayor fuente de variación en la determinación de la digestibilidad, degradabilidad y producción de gas *in vitro* (Nagadi *et al.*, 2000).

### **2.8.1. EVALUACIÓN DE ALIMENTOS A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE GAS *in vitro***

Es una prueba que ha sido usada para la evaluación de alimento para ganado, principalmente porque pueden estimarse las tasas de fermentación vía acumulación de gas. Aunque los

productos de desecho, gases fermentados principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>); representan parte del alimento que ha sido degradado, el uso de esta técnica liga precisamente los productos de desecho con los productos fermentados como son los ácidos grasos de enlaces corto y o biomasa microbial (Blümmel *et al.*, 1999). La técnica de producción de gas *in vitro* originalmente desarrollada por Menke *et al.*, (1979), se ha utilizado para determinar el valor nutritivo de los forrajes. El principio fundamental de la técnica es que la cantidad de gas liberada, cuando una muestra de alimento es incubada *in vitro* con líquido ruminal, es directamente proporcional con la digestibilidad o la degradación del sustrato de la muestra y por lo tanto con el valor energético del alimento (Menke *et al.*, 1979; Menke y Stengass, 1988; Khazaal *et al.*, 1993; Krishnamoorthy *et al.*, 1995). La tasa y producción de gas pueden relacionarse con la tasa y degradación del sustrato. La determinación de proteína cruda, grasa cruda y nitrógeno en la evaluación hacen una estimación más adecuada para los forrajes que otros métodos como los de Tilley y Terry, (1963).

Herrero *et al.*, (1996) sugieren que esta técnica provee mejores predicciones de digestibilidad *in vitro* y predicción del valor energético de los forrajes que otras técnicas *in vitro* y puede ser usada para representar la dinámica de fermentación de las muestras incubadas. La importancia de esta técnica es que permite conocer las características de degradación de la materia seca, la ingesta del forraje y el comportamiento animal (Kibon y Ørskov, 1993); es decir, la cinética de degradación, así como también la evaluación de la tasa de degradación de los alimentos en sus diferentes componentes (Mertens y Weimer, 1998). La producción de gas se ha usado para determinar directamente el contenido de energía metabolizable de los forrajes y la digestibilidad de la materia orgánica a través de ecuaciones (Menke *et al.*, 1979; Menke y Stengass, 1988).

La base teórica está en que la prueba de producción de gas *in vitro* producido cuantitativa y cualitativamente, de acuerdo con la estequiometría de Wolin, la cantidad de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> fermentado podría ser exactamente calculada por la cantidad y proporción de acetato, propionato y butirato presentes en el medio de incubación. Al adicionar CO<sub>2</sub> se produce AGV's del buffer y cerca del 54% del volumen total de gas es atribuido a esta reacción del buffer; suponiendo que 1 mmol de AGV's libera 1 mmol de CO<sub>2</sub> del buffer de bicarbonato



dentro de la fase de gas. Bajo este método se tiene que después de 24 hrs de incubación los alimentos producen un promedio de 1.08 mmol de AGV's compuesto por 0.67 de acetato, 0.21 de propionato, 0.11 de butirato y 0.01 de isobutirato. Después de 48 hrs la producción media de AGV's fue de 1.27 mmol con un modelo similar de ácidos grasos individuales después de las 24 hrs (Blümmel *et al.*, 1999).

### 3. JUSTIFICACIÓN

En el estado de México como en gran parte del país se encuentran diseminadas tres especies de arvenses: *Tagetes lucida*, *Cosmos bipinnatus* y *Tithonia tubiformis* (CONABIO, 2017) como invasoras en terrenos agrícolas, pese a la amplia distribución de dichas plantas, la información en cuanto a su uso como forraje es escasa. El conocimiento del valor nutritivo de los alimentos es fundamental, por lo cual no es suficiente con los análisis químicos, también es necesario considerar que la respuesta productiva de los animales (Bondi, 1989; Church y Pond, 2006). La investigación planteada contribuirá a ampliar el conocimiento de la calidad nutritiva de arvenses o alimentos no convencionales y su efecto al incluirlas en dietas, sobre el rendimiento productivo de los ovinos en sistemas producción campesina.

#### **4. HIPÓTESIS**

El uso de arvenses *Tagetes lucida*, *Cosmos bipinnatus* y *Tithonia tubiformis* en un nivel adecuado de inclusión en dietas para ovinos, mejora la digestibilidad de los alimentos y la calidad nutritiva de las dietas.

## 5. OBJETIVO

El objetivo es caracterizar tres especies de arvenses (*Tagetes lucida*, *Cosmos bipinnatus* y *Tithonia tubiformis*) tanto en un nivel nutricional como los efectos sobre la fermentación ruminal y de la misma forma evaluar la influencia sobre la capacidad antioxidante.

### 5.1.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Realizar el análisis bromatológico de las tres especies de arvenses, para conocer su calidad nutritiva.
- ❖ Determinar el contenido mineral por especie y por tratamiento.
- ❖ Calcular el contenido de metabolitos secundarios, para conocer su efecto sobre la fermentación ruminal.
- ❖ Evaluar la actividad antioxidante de las tres especies de arvenses y de su inclusión en la dieta.
- ❖ Realizar un experimento *in vitro* para determinar la calidad nutricional, evaluar la cinética de fermentación ruminal y digestibilidad de la inclusión de 3 especies de arvenses.
- ❖ Realizar un experimento *in vitro* para observar la cinética de fermentación de diferentes niveles de inclusión de arvenses en la dieta.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Experimento 1

#### 6.1.1. Área de estudio y colecta de muestras

En periodo de lluvias y posterior a ellas durante los meses de agosto a noviembre del 2016, a una altitud promedio de 2,600 metros sobre nivel del mar entre las coordenadas 19°27'09" de latitud norte y 99°46'58" de longitud oeste, con un clima templado sub-húmedo y una temperatura media anual es de 13.7°C y precipitación media anual de 1,000 a 1,200 mm; se obtuvieron muestras de la parte aérea en floración de tres especies de arvenses: *Tagetes lucida*, *Cosmos bipinnatus* y *Tithonia tubiformis* de acuerdo con su disponibilidad en el Valle de Toluca y sur del Estado de México. Para *T. lucida* se colectó 1 muestra de Tlachaloya, 2 de Ixtlahuaca, 1 de Aculco y 2 de Ixtapan de la Sal; para *C. bipinnatus* 2 de Toluca, 1 de Ixtlahuaca y 2 de Aculco; para *T. tubiformis* se colectaron 3 muestras del municipio de Atlacomulco, 1 de Aculco, 3 de Tonalico, 1 de Toluca, 1 de Villa Guerrero. De cada especie se hizo un pool de todas las muestras en igual proporción.

#### 6.1.2. Análisis químico y determinación de metabolitos secundarios

Posteriormente a la colecta, se procedió al secado de las muestras separadas por especie en una secadora botánica a aproximadamente 30°C durante 72 h., para evitar la desnaturalización de los metabolitos secundarios. Seguido del secado, se molieron en un molino Willey a 1 mm de grosor. Posteriormente se realizaron cuatro tratamientos: T0= 0%, T1=5% Ti, T2 =5% C y T3= 5% Ta con la inclusión de tres arvenses *Tithonia* (Ti), *Cosmos* (Co) y *Tagetes* (Ta) como aditivos en una dieta base de rastrojo de maíz (12%), alfalfa (47%), maíz molido (7%), soya (22%), melaza (2%) diluida en agua (1:1), urea (2%) y minerales. El porcentaje de inclusión de los ingredientes se ajustó a las necesidades energéticas y de proteína de los ovinos.

Muestras de los cuatro tratamientos y de las arvenses fueron analizadas para determinar su contenido proteína cruda por el método Kjeldahl (N multiplicado por 6.25) con los procedimientos de AOAC (1990). La fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA) se determinaron según Van Soest *et al.*, (1991) por el método de micro-bolsas

(ANKOM, 2005); cenizas y minerales (P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Cu y Zn) mediante la técnica propuesta por Duque Macías (1971).

La cuantificación de fenoles totales (FT) y taninos totales (TT) se calculó por el método Folin-Ciocalteu (Makkar, 2003) y FT se expresa como el equivalente de  $\mu$ moles equivalentes de ácido gálico/g y TT en % utilizando una curva de calibración; el contenido de taninos condensados (TC) fue determinado mediante la técnica de Butanol-HCl/Fe<sup>3+</sup> (Makkar *et al.*, 2007) y los alcaloides (ergovalina y ergotamina) siguiendo el procedimiento descrito por Hill *et al.* (1993) y Yue *et al.* (2000). Todos los análisis químicos se realizaron por triplicado.

Para la identificación de componentes fenólicos 500mg de muestra fueron sometidas a irradiación por ultrasonido utilizando 5ml metanol (CH<sub>3</sub>OH) al 70% como disolvente extractor, posteriormente se concentraron los extractos en un concentrador de vacío hasta completar la evaporación del disolvente y se diluyó el sobrante en 1 ml de CH<sub>3</sub>OH. Para el análisis cromatográfico, se usó un equipo HPLC Waters 2695 con un detector ultravioleta (Waters 996). Se utilizó una columna C18 (150mm  $\times$  3.9mm y 5,0 $\mu$ m tamaño de partícula); para la fase móvil se usó ácido acético 2 % (disolvente A) y metanol grado HPLC (disolvente B). El análisis se realizó según un método de gradiente con un caudal de 0,6 mL/min la señal fue monitoreado a 260 nm y 330 nm y compuestos fenólicos fueron identificadas comparando los tiempos de retención y espectros UV con esas normas y se cuantificaron utilizando curvas de calibración externa estándar los estándares de cafeico, p-coumaric, ferulic, galas, protocatechuic, sinapic, syringic, vanillis y ácidos clorogénicos fueron adquiridos de Acrós-Organics.

### **6.1.3. Actividad antioxidante**

La capacidad antioxidante de los extractos de plantas se midió por el ensayo ORAC, utilizando un lector de fluorescencia FLUOstar® Omega Omega (BMG Labtech, Germany) fijado en 485 nm para la excitación y 520 nm para la emisión; el ensayo se realizó siguiendo el método descrito por Mellado-Ortega *et al.*, (2017). El oxidante usado fue 2,2'-azobis (2-methyl-propanimidamide) dihydrochloride (APPH) y la curva estándar se generó utilizando Trolox con los resultados expresados como micromoles de equivalentes de Trolox por gramo de muestra.

#### 6.1.4. Producción de gas *in vitro* (PGIV) y digestibilidad *in vitro* (DIV)

Para determinar la cinética de fermentación y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (MS) y materia orgánica (MO), se utilizó la técnica de producción de gas siguiendo la metodología propuesta por Theodorou *et al.*, (1994). El inóculo se obtuvo de tres ovinos a los cuales se le ofreció una dieta compuesta de 60% Forraje (maíz), 32% maíz molido (grano), 1% soya, 6% melaza, 1% urea y 2% sales. El líquido ruminal fue transportado al laboratorio en termos previamente estabilizados a 39°C y se saturó con CO<sub>2</sub>. Se pesaron aproximadamente 0.999 mg de los tratamientos en botellas de vidrio con 90ml de solución amortiguadora y 10 ml de líquido ruminal, los cuales fueron incubados a 39°C en baño María. Se realizaron tres corridas, teniendo por corrida un total de 3 frascos por muestra y 4 frascos como blancos (sin sustrato). El volumen de gas fue registrado con un transductor de presión Lutron modelo PS-9302; cada hora durante las primeras ocho horas posteriormente a las 12, 16, 20, 24, 28, 36, 44, 52, 72, 84, 96 y 120 horas post incubación. Finalizado el periodo de incubación, se aplicó la técnica de Pell y Shofield (1993) a los residuos sobrantes para determinar la DIVMS, DIVMO y la DIVFDN.

El volumen acumulado de gas de cada una de las botellas se ajustó al modelo matemático propuesto por Jessop y Herrero (1996):

$$GP = a \times (1 - \exp(-ca + t)) + b \times (1 - \exp(-cb \times (t - \text{lag}))) \times (t > \text{lag}) \times -1$$

Donde: PG es la producción acumulada de gas (ml), *a* es la producción de gas a partir de la fermentación (ml) de la fracción soluble de los carbohidratos, *b* es la producción potencial de gas (ml) a partir de la fracción insoluble pero potencialmente degradable, *ca* es la tasa de fermentación de la fracción *a*, *cb* la tasa de fermentación de la fracción *b*, *lag* es el tiempo en horas antes de iniciar la fermentación de la FDN y *t* es el tiempo de incubación.

Para el ajuste de las curvas de producción de gas se utilizó el programa Grafit v3. La energía metabolizable se calculó a partir de la fórmula de la AFRC (1993):

$$EM = 0.0157 \times \text{dMO}$$

Donde: EM: energía metabolizable (MJ/Kg MS); dMO: digestibilidad de la materia orgánica (g/Kg de MS).

### **6.1.5. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (Steel y Torrie, 1997), el modelo general lineal fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:  $Y_{ij}$ : variable respuesta;  $\mu$ = media general,  $T_i$ = efecto del tratamiento (tres especies de arvenses) y  $e_{ij}$ = es el error experimental.

### **6.1.6. Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos fueron procesadas en el programa SAS (200”) se analizaron mediante un análisis de varianza. Cuando existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey.

## **6.2. Experimento 2**

### **6.2.1. Formulación de dietas con la inclusión de las especies de arvenses**

Se formulo una dieta base ajustada a las necesidades energéticas y de proteína de los ovinos, compuesta por rastrojo de maíz (40%), alfalfa (15%), maíz molido (12%), soya (23%), melaza (10%) diluida en agua (1:1), y minerales.

Los niveles de inclusión de arvenses para cada tratamiento fueron 10% 15% y 20% de MS, sustituyendo 5% de alfalfa y el resto de rastrojo de maíz (5, 10 y 15 % respectivamente para cada nivel de inclusión). Se utilizaron las mismas especies de arvenses que en el experimento 1. Para finalizar con cuatro tratamientos por especie y tres niveles de inclusión DB: dieta base; Co10, Co15, Co20: *C. bipinnatus* con 10, 15 y 20 % de inclusión en la dieta base; Ti10, Ti15, Ti20: *T. tubiformis* con 10, 15 y 20 % de inclusión en la dieta base y Ta10, Ta15, Ta20: *T. lucida* con 10, 15 y 20 % de inclusión en la dieta base.

### **6.2.2. Producción de gas *in vitro* (PGIV) y digestibilidad *in vitro* (DIV)**

Para determinar la cinética de fermentación y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (MS) y materia orgánica (MO), se utilizó la técnica de producción de gas siguiendo la metodología propuesta por Theodorou et al., (1994) descrito anteriormente en el Experimento 1.



### **6.2.3. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (Steel y Torrie, 1997), el modelo general lineal fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:  $Y_{ij}$ : variable respuesta;  $\mu$ = media general,  $T_i$ = efecto del tratamiento (tres especies de arvenses) y  $e_{ij}$ = es el error experimental.

### **6.2.4. Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos fueron procesadas en el programa SAS (200”) se analizaron mediante un análisis de varianza. Cuando existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Carta de recepción del artículo

Successfully received: submission Evaluation of nutritional quality and antioxidant activity of three weed species used as feed additives for sheep livestock for Animal Feed Science and Technology

Animal Feed Science and Technology <EvisSupport@elsevier.com>

jue 03/05, 12:24 p.m.

Julieta Gertrudis Estrada Flores

*This message was sent automatically. Please do not reply.*

Ref: ANIFEE\_2018\_535

Title: Evaluation of nutritional quality and antioxidant activity of three weed species used as feed additives for sheep livestock

Journal: Animal Feed Science and Technology

Dear Dr. Estrada Flores,

Thank you for submitting your manuscript for consideration for publication in Animal Feed Science and Technology . Your submission was received in good order.

To track the status of your manuscript, please log into

EVISE® at: [http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRN\\_L\\_ACR=ANIFEE](http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRN_L_ACR=ANIFEE) and locate your submission under the header 'My Submissions with Journal' on your 'My Author Tasks' view.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Animal Feed Science and Technology

#### **Have questions or need assistance?**

For further assistance, please visit our [Customer Support](#) site. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about EVISE® via interactive tutorials. You can also talk 24/5 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

-----

## 7.2 Manuscrito

### **Evaluation of nutritional quality and antioxidant activity of three weed species used as feed additives for sheep livestock**

Lucero Karen *Diaz-Medina*<sup>1</sup>, Carlos M. *Arriaga-Jordán*<sup>1</sup>, Luis *Brunett-Pérez*<sup>1</sup>, Beatriz R. *Vázquez-de-Aldana*<sup>2</sup> y Julieta Gertrudis *Estrada-Flores*<sup>1\*</sup>

1. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Instituto Literario # 100, Col. Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México.

2. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Cordel de Merinas 40-52; 37008 Salamanca, España.

**\*Corresponding Author: Julieta Gertrudis Estrada-Flores**

Tel. and fax: +52(722) 2965552, E-mail: [jgestradaf@uaemex.mx](mailto:jgestradaf@uaemex.mx)

**Article title:** Evaluation of nutritional quality and antioxidant activity of three weed species used as feed additives for sheep livestock

## **ABSTRACT**

Sheep farming is an important economic activity in rural production systems in the Central Highlands of Mexico. Feeding is mainly based on grazing on natural pastures and semi-stabled feeding. Additional food sources are necessary to improve the productive efficiency of rural production systems. The use of weed species to feed ruminants is one alternative to the use of conventional feedstuffs and also represents an opportunity to manage invasive plants on agricultural lands. The objective of the present study was to generate greater knowledge on the use of weeds as feedstuffs for ruminants. Three weed species (*Tithonia tubiformis*, *Cosmos bipinnatus*, and *Tagetes lucida*) and four treatments (T0=control diet, T1=diet+5% *T. tubiformis*, T2=diet+5% *C. bipinnatus*, and T3=diet+5% *T. lucida*) were evaluated. Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and crude protein (CP) were determined by conventional methods and mineral contents by inductively coupled plasma (ICP) analyses. In addition, secondary compounds, including total phenols (TP), total tannins (TT), condensed tannins (CT), and phenolic compounds were determined by high-performance liquid chromatography (HPLC), and total antioxidant activity was determined by measuring the oxygen radical absorbance capacity (ORAC). Rumen fermentation kinetics and *in vitro* digestibility of dry matter (IVDMD), organic matter (IVOMD), and NDF (IVNDFD) were also determined per treatment and species using the *in vitro* gas production technique. *T. tubiformis* had the highest CP and TP contents ( $P<0.05$ ), and *C. bipinnatus* had the highest fiber and CT contents ( $P<0.05$ ). The inclusion of *T. lucida* in the diet resulted in an 18% increase in TP content and a 30% increase in antioxidant activity in comparison to

the control diet. No significant differences ( $P>0.05$ ) were found in the parameters of rumen kinetics, IVDMD, IVOMD, IVNDFD, or metabolizable energy, indicating that the tested weeds can be used as additives to increase antioxidant activity in the sheep diet without negatively affecting animal well-being or productivity.

**Keywords: phenols, metabolites, weeds, *in vitro* gas production, antioxidants.**

## 1. INTRODUCTION

In central Mexico, sheep livestock mainly graze on native pastures or are fed in semi-stabled feeding systems (Estrada-Flores *et al.*, 2006; Martínez-Hernández *et al.*, 2014). It is necessary to search for additional feed sources of high nutritional quality that are economically accessible and easy to acquire to improve the productive efficiency of rural sheep farming systems (Blanco and Leyva 2007; Sanginés-García *et al.*, 2014).

In traditional Mexican livestock farming, the aboveground parts of many weeds are used as forage for livestock playing an important role in the economy of families who practice small-scale livestock farming (Gutiérrez *et al.*, 2008). However, these plants generally have a high content of secondary metabolites such as polyphenols and alkaloids, which can have both positive and negative effects on rumen fermentation (Makkar, Siddhuraju and Becker, 2007; Wanapat *et al.*, 2015). On the one hand, the inclusion of these compounds in the diet has been associated with improved nutrition and beneficial effects on animal health (Makkar, 2003; Martínez-Loperena *et al.*, 2011); these compounds are a natural source of antioxidants (Gutiérrez *et al.* 2008), which can decrease oxidation in foods of animal origin and improve the health of ruminants (Emami *et al.*, 2015; Oh *et al.*, 2017). But on the other hand, the

inclusion of high concentrations of these compounds may have negative effects, including decreased digestibility and palatability of feed, as well as intoxication (Reed, 1995).

*Tagetes lucida*, *Cosmos bipinnatus*, and *Tithonia tubiformis* are considered invasive in agricultural lands. These weeds are distributed throughout central Mexico and other areas of Mexico at an average altitude of 2,600 m (CONABIO, 2006). . In general, weed species negatively affect crops and generate significant decreases in yield. However, these species also represent an alternative resource and a source of food for livestock (Blanco and Leyva, 2007; Zamorano, 2006) because of their high rates of fermentation, high protein content, and adequate mineral levels (Matías, 2013).

The objective of the present study was to evaluate the nutritional value of *Tagetes lucida*, *Cosmos bipinnatus*, and *Tithonia tubiformis* weed species and their inclusion as additives in the sheep diet based on their chemical composition, rumen fermentation, and antioxidant capacity.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

### *2.1 Study area and sample collection*

Samples were collected from the aerial parts of three weed species, *T. tubiformis*, *C. bipinnatus*, and *T. lucida*, at flowering stage, in Valle de Toluca, State of Mexico, Mexico. The study area was located between the coordinates 19°27'09" N and 99°46'58" W at an average altitude of 2,600 m. The climate is temperate sub-humid climate with an average annual temperature of 13.7 °C and an average annual rainfall of 1,000 to 1,200 mm. The samples were collected during and at the end of the rainy season from August to November 2016.

## 2.2 Chemical analysis and determination of secondary metabolites

The samples were dried separately by species in a botanical oven at approximately 30 °C for 72 h and then they were ground in a Wiley mill with a 1-mm sieve. The weeds *T. tubiformis* (Ti), *C. bipinnatus* (Co), and *T. lucida* (Ta) were tested as diet additives in four treatments at different concentrations: T0=0%, T1= 5% Ti, T2 = 5% Co, and T3= 5% Ta. These additives were added to a sheep diet based on maize stubble (12%), alfalfa hay (47%), ground maize grains (7%), soybean paste (22%), and molasses (2%) diluted in water (1:1), urea (2%), and mineral salts. The percentages of the ingredients were decided based on the energetic and protein requirements of sheep.

Samples of the four treatments and the three weed samples were analyzed to determine their crude protein (CP) content by the Kjeldahl method following the guidelines of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (1990). Neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined by the micro-bag method (ANKOM, 2005) according to Van Soest *et al.* (1991). For ash and mineral content, samples were calcined (450°C) for 8 h and ashes were dissolved in HCL:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O (1:1:8). The concentrations of P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Cu, and Zn were determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES, Varian 720-ES).

Total phenolic compounds (TP) and total tannins (TT) were quantified using the Folin-Ciocalteu method (Makkar, 2003) wherein TP was expressed as  $\mu\text{mol}$  gallic acid equivalents per gram and TT as a percentage based on the calibration curve. Condensed tannins (CT) were determined by the Butanol-HCl/Fe<sup>3+</sup> technique (Makkar *et al.*, 2007) and alkaloids

(ergotamine) following the procedure described by Hill *et al.* (1993) and Yue *et al.* (2000).

All chemical analyses were performed in triplicate.

For the identification of phenolic compounds, 500 mg of sample was extracted with 5 ml of 70% methanol (CH<sub>3</sub>OH) in an ultrasound bath. The extracts were filtrated and concentrated in a rotatory vacuum evaporator; the residue was dissolved in 1 ml of MeOH. High-performance liquid chromatographic (HPLC) analyses were performed using a Waters 2695 separations module equipped with detector photodiode array detector (Waters 996), with a Symmetry C18 column (150 × 3.9 mm and 5.0- $\mu$ m particle size). The mobile phase consisted of 2% acetic acid (solvent A) and HPLC-grade methanol (solvent B) were used. The analysis was carried out according to a gradient method using a flow rate of 0.6 mL/min. The signal was monitored at 260 nm and 330 nm and phenolic compounds were identified by comparing their retention times and UV spectra with those of standards and were quantified using external standard calibration curves. The standards for caffeic, p-coumaric, ferulic, gallic, protocatechuic, sinapic, syringic, vanillic and chlorogenic acids were purchased from

### Acrós-Organics. 2.3 Antioxidant activity

The antioxidant activity of the plant extracts was measured by oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assays using the FLUOstar<sup>®</sup> Omega fluorescence microplate reader (BMG Labtech, Germany) set at an excitation wavelength of 485 nm and an emission wavelength of 520 nm. The assay was performed following the method described by Mellado-Ortega *et al.* (2017). The oxidative agent was 2,2'-azobis (2-methyl-propanimidamide) dihydrochloride (APPH), and the standard curve was generated using Trolox. The results were expressed as  $\mu$ mol Trolox equivalents per gram of sample.



#### 2.4 *In vitro* gas production and digestibility

To determine the fermentation kinetics and the *in vitro* digestibility of dry matter (IVDMD) and organic matter (IVOMD), the gas production technique following the method proposed by Theodorou *et al.* (1994) was used. The inoculum was obtained from three sheep offered a diet of 60% forage (maize stubble), 32% ground maize grains, 1% soybean paste, 6% molasses, 1% urea, and 2% salts. Ruminal liquid was transported to the laboratory in previously stabilized thermoses at 39 °C and was saturated with CO<sub>2</sub>. Approximately 0.999 mg of each treatment was weighed in a glass bottle with 90 ml of buffer solution and 10 ml of rumen liquid; the bottles were incubated at 39 °C in a double-boiler water bath. Three runs were performed. Each run included three bottles per sample and four control bottles (without substrate). The volume of gas was recorded with a Lutron pressure transducer model PS-9302 each hour during the first eight hours and then at 12, 16, 20, 24, 28, 36, 44, 52, 72, 84, 96, and 120 h post incubation. After the incubation period, the Pell and Shofield technique (1993) was used to determine the IVDMD, IVOMD, and the *in vitro* digestibility of NDF (IVNDFD) in the remaining residues.

The accumulated volume of gas in each bottle was adjusted according to the mathematical model proposed by Jessop and Herrero (1996):  $GP = a \times (1 - \exp(-c_a t)) + b \times (1 - \exp(-c_b \times (t - \text{lag}))) \times (t > \text{lag}) - 1$ , where GP is the accumulated gas production (ml),  $a$  is the gas production resulting from fermentation (ml) of the soluble fraction of carbohydrates,  $b$  is the potential gas production (ml) resulting from the insoluble but potentially degradable fraction,  $c_a$  is the rate of fermentation of fraction  $a$ ,  $c_b$  is the rate of fermentation of fraction  $b$ ,  $\text{lag}$  is time in hours before NDF fermentation begins, and  $t$  is incubation time. To adjust the gas production curves, Grafit software v3 was used. The metabolizable energy (ME) was estimated based

on the formula provided by the AFRC (1993):  $ME=0.0157*DOM$ , where ME is expressed in MJ/kg DM and DOM is the digestibility of organic matter (g/kg DM).

### 2.5 Experimental design and statistical analysis

A completely random statistical design was implemented (Steel and Torrie, 1997) in addition to a general liner model, as follows:  $Y_{ij}=\mu+T_i+e_{ij}$ , where  $Y_{ij}$  is the response variable,  $\mu$  is the overall average,  $T_i$  is the treatment effect (three weed species), and  $e_{ij}$  is the experimental error. The results were evaluated by variance analyses in the SAS software (2007). When significant differences were present ( $P<0.05$ ), the averages of the treatments were compared by Tukey tests.

## 3. RESULTS

### 3.1 Chemical composition

The results for the chemical composition of the three analyzed weed species and treatments are shown in Table 1. *T. tubiformis* had the highest nutritional quality, including a CP content 41% higher and NDF 34% lower compared to *C. bipinnatus* and *T. lucida*, respectively. The T2 treatment had the best nutritional attributes and the greatest CP content ( $P<0.05$ ).

Significant variation ( $P<0.05$ ) in mineral content was observed among the weed species. *Cosmos bipinnatus* had the highest Ca and Cu content, *T. lucida* the highest Mn content, and *T. tubiformis* the highest Na, Al, and Fe content (Table 1).

### 3.2 Secondary metabolites and antioxidant activity

*Tagetes lucida* and *C. bipinnatus* presented differences in TP and CT contents (Table 2) which were also reflected between treatments ( $P<0.05$ ). The TP content of *C. bipinnatus* and

*T. lucida* was 11% and 18% higher, respectively, than that of the control diet and was also 17% and 25% higher, respectively, than that of *T. tubiformis*. With respect to alkaloids, ergotamine were not found, eliminating the possibility of intoxication by these compounds.

The most abundant phenolic compounds in the three weed species were hydroxybenzoic acid and coumaric acid as well as caffeic acid and ferulic acid for *T. lucida* (Table 3). Antioxidant activity differed significantly ( $P < 0.05$ ) between weed species and treatments. *Tagetes lucida* (T3) had the highest antioxidant activity, which was 30%, 27%, and 15% higher than that of T0, T1, and T2, respectively. *Cosmos bipinnatus* (T2) had the second highest antioxidant activity, which was 13% higher than T0 and 10% higher than T1. Figure 1 shows the relationship between TP content and antioxidant activity showing that the higher the phenolic content increases the antioxidant activity.

### 3.3 *In vitro* gas production and digestibility

The results for fermentation kinetics are presented in Table 4. *Cosmos bipinnatus* (T2) and *T. tubiformis* (T) significantly differed ( $P < 0.05$ ) in gas production resulting from the fermentation of the *a* fraction. *Tagetes lucida* showed a greater gas production (ml gas/g DM) from the insoluble fraction (*b*), although no significant differences were found among treatments. The rate of  $c_a$  fermentation was higher for *T. tubiformis* with respect to the control and highest for *C. bipinnatus*. For  $c_b$ , the three species presented differences ( $P < 0.05$ ), although not when included in the diet treatments. The *lag* time (incubation time required for the fermentation of the NDF to begin) did not significantly vary ( $P > 0.05$ ) among treatments and was similar to the time required for fermentation to begin in the rumen.

After 120 h of incubation (Table 5), the inclusion of three weed species in the diet led to significant effects ( $P>0.05$ ) on the IVDMD, IVOMD, and IVNDFD as well as ME. Overall, the ME, IVDMD, IVOMD, and IVNDFD of *T. lucida* and *C. bipinnatus* varied from 9.02 to 10.92 MJ/kg DM, 578.65 to 700.01 g/kg DM, 574.56 to 696.06 g/kg DM, and 255.47 to 533.50 g/kg DM, respectively.

#### **4. DISCUSSION**

##### *4.1 Chemical composition*

The CP content of *T. tubiformis* was above 75 g/kg DM, the minimum for ensuring the adequate functioning of rumen microorganisms (Van Soest, 1994). However, the CP content of *T. lucida* and *C. bipinnatus* was below the required value. The CP of *C. bipinnatus* was slightly lower than that reported in Martínez-Loperena *et al.* (2011), while *T. tubiformis* and *C. bipinnatus* had a similar CP content (Martínez-Loperena *et al.*, 2011) and were described as good quality forage plants that comply with the recommended values for raising livestock (Gutiérrez *et al.*, 2008). *Tithonia tubiformis* had a similar NDF, a greater ADF, and a lower CP contents than *Tithonia diversifolia*, a species which has shown to be of good quality for livestock consumption (García *et al.* 2008; Naranjo and Cuartas, 2011). With respect to mineral content, in the present study, *T. tubiformis* has a higher Mg and Fe content and *C. bipinnatus* a higher Ca content than previously reported for these plants; the other minerals were slightly low (Gutiérrez *et al.*, 2008) but within the ranges required for raising livestock (NRC, 1996).

#### 4.2 Secondary metabolites and antioxidant activity

Jouany and Morgavi (2007) recommended that animal diets be supplemented with plants with high contents of CP, minerals, and bioactive compounds such as phenols to improve rumen fermentation. In the present study, the evaluated plants were low in CP except for *T. tubiformis*. However, the plants were also high in phenols and tannins without being toxic for livestock (Makkar *et al.*, 2007). Values below the ranges reported as counterproductive were found for the digestibility of DM, OM, fiber, and CP as well as for acceptability by animals (Aschfalk *et al.*, 2000; Andrade-Rivero *et al.*, 2012).

Phenolic compounds are associated with antioxidant activity (Kaisoon *et al.*, 2011) and manifest as an increase in antioxidant capacity. The treatments including *T. lucida* and *C. bipinnatus* (T and T) had a higher quantity of TP compared with the *T. tubiformis* treatment and therefore presented more antioxidant capacity (Figure 1).

Several studies on the use of antioxidants in the diet of ruminants report that greater antioxidant activity in the diet improves animal health because oxidative stress is reduced (Emami *et al.*, 2015; Oh *et al.*, 2017; McGrath *et al.*, 2017). In addition, lipid peroxidation and endogenous antioxidant levels increase. In particular, *T. lucida* showed high antioxidant activity similar to other species of the family (Kaisoon *et al.*, 2011; Ingkasupart *et al.*, 2015). However, phenolic composition depends on plant species but also on additional factors such as phenological stage, environmental conditions, and even the management of animal feed. Therefore, to better understand the effect of phenols on nutrition and animal metabolism, it is necessary to identify the chemical composition of phenolic compounds (Aguiar *et al.*, 2013).

### 4.3 *In vitro* gas production and digestibility

*Tagetes lucida* produced a greater quantity of gas than *C. bipinnatus* and *T. tubiformis*, reflecting a higher degree of degradability (Getachew *et al.*, 1998). This may be due to the lower quantity of fibers in *T. lucida* versus the other species (Fievez *et al.*, 2005). The inclusion of *T. lucida* in the control diet led to an increase in the total volume of produced gas; similar results were obtained in another study that included weeds in a livestock diet based on maize stubble (Martínez-Loperena *et al.*, 2011).

With respect to the soluble fraction (*a*), *C. bipinnatus* presented the best results. This latter species had the highest soluble carbohydrate content, leading to an increase in the rate of fermentation of the soluble fraction (*c<sub>a</sub>*). In this regard, a higher carbohydrate content could favor microbial growth (Van-Soest, 1994). Martínez-Loperena *et al.* (2011) indicate that higher contents of NDF correspond with a decrease in the *a* fraction. However, in the present study, *C. bipinnatus* had the highest fiber content compared to *T. lucida* and *T. tubiformis*.

The digestibility of DM is an indicator of feed quality. Forage is considered good quality if this parameter is equal to or greater than 700g/kg DM (Chamberlain and Wilkinson, 2002). In the present study, only *C. bipinnatus* reached this level of digestibility, followed by *T. tubiformis*, which had a digestibility value slightly below the recommended value.

*Tagetes lucida* had a very low digestibility of NDF that may be related to the effects of some tannins on fiber fermentation. Specifically, tannins may form complexes with lignocelluloses or inhibit cellulolytic microorganisms (Mc-Sweeney *et al.*, 2016). *Cosmos bipinnatus* and *T. tubiformis* had a higher IVDMD than that reported in Martínez-Loperena *et al.* (2011) for another species of the same family used as forage. Significant differences ( $P>0.05$ ) in

IVDMD were not presented among the treatments, although the treatment (T0) without weeds had greater digestibility. The diet containing *C. bipinnatus* was the least digestible despite presenting better IVDMD, IVOMD, and IVNDFD upon separately evaluating the plant species per parameter.

## 5. CONCLUSIONS

Significant differences in rumen kinetics, IVDMD, IVOMD, and IVNDFD were not found between different diet treatments including *Tithonia tubiformis*, *Cosmos bipinnatus*, and *Tagetes lucida* in a typical sheep diet. These weed species can be used as additives in sheep diets up to 5%. The secondary compounds of these weeds have beneficial nutritional properties and increase antioxidant activity without negatively affecting animal well-being and productivity. The search for non-conventional alternative feed sources with good nutritional properties and additional source of minerals such as Ca and Al; is indispensable for improving the efficiency of animal production (Melesse, 2012; Zhou *et al.*, 2012).

## ACKNOWLEDGMENTS

The present research study was carried out with financial support from the Autonomous University of the State of Mexico (Universidad Autónoma del Estado de México [UAEM]) through project UAEM 4334/2017/CI. Additional financial support was provided by Ministry of the Economy and Competitiveness (Ministerio de Economía y Competitividad) of Spain through the National Program I+D+I (Programa Nacional I+D+I) (AGL2016-76035-C2-1-R). The first author thanks the National Council of Science and Technology (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT]) of Mexico for the scholarship provided for her postgraduate studies. The authors also thank the Institute of Agricultural,

Livestock, and Rural Sciences (Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales [ICAR]) of the Autonomous University of the State of Mexico (Universidad Autónoma del Estado de México) and the Institute of Natural Resources and Agrobiology of Salamanca (Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca [IRNASA-CSIC]) in Spain.

## REFERENCES

- AFRC. Animal and Food Research Council. Energy and protein requirements of ruminants, CAB International; Wallingford, UK. 1993 S.
- Aguiar de, S.C., Zeoula, L.M., Franco, S.L., Peres, L.P., Arcuri, P.B., Forano, E., 2013. Antimicrobial activity of Brazilian propolis extracts against rumen bacteria *in vitro*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29 (10), pp. 1951-1959
- Andrade-Rivero, E., Martínez-Campos, A.R., Castelán-Ortega, O.A., Ríos-Quezada, J., Pacheco-Ortega, Y., Estrada-Flores, J.G., 2012. Methane production utilizing tanniferous plants as substrate in ruminal fermentation *in vitro* and effect of phenolic extracts on ruminal microflora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15, pp.301–312.
- Ankom. Procedures (for NDF and ADF) [Internet]. Ankom Technology Method; 2005 [cited 2017 January 20]. Available from: <http://www.ankom.com/>
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th Ed Association of official Agricultural Chemists, Washington.
- Aschfalk, A., Steingass, W., Muller, W., Drochner, W., 2000. Acceptance and Digestibility of Some Selected Browse Feeds with Varying Tannin Content as Supplements in Sheep Nutrition in West Africa. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 47(9), pp.513–524.
- Blanco, Y., Leyva, Á., 2007. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), pp.21–28.
- Chamberlain, A.T., Wilkinson, 2002. Alimentación de la vaca lechera. Acribia Zaragoza, España.
- Duque Macías, F., 1971. Determinación conjunta de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu Y Zn en plantas. *An. Edafol. Agrobiol.*, 30, pp.207-229.
- Emami, A., Ganjkanlou, M., Fathi Nasri, M.H., Zali, A., Rashidi, L., 2015. Pomegranate



seed pulp as a novel replacement of dietary cereal grains for kids. *Small Ruminant Research*, 123(2–3), pp.238–245.

Estrada-Flores, J.G., González-Ronquillo, M., Mould, F.L., Arriaga-Jordán, C.M., 2006. Chemical composition and fermentation characteristics of grain and different parts of the stover from maize land races harvested at different growing periods in two zones of central Mexico. *Animal science*, 82(6), pp.845–852.

Fievez V., Babayemi O.J., Demeyer D., 2005. Estimation of direct and indirect gas production in syringes: A tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities. *Animal Feed Science and Technology*, 123-124 part 1, pp.197-210

García, D.E., Medina, M.G., Clavero, T., Humbría, J., Baldizán, A., Domínguez, C., 2008. Preferencia de árboles forrajeros por cabras en la zona baja de los andes venezolanos. *Revista científica, FCV-LUZ*, XVIII(5), pp.549–555.

Getachew, G., Blummel, M., Makkar, H.P.S., Becker, K., 1998. In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 72(3-4), pp.261–281.

Grafit. 1992. Version 3. Data Analysis and Graphics Program. Erithacus Software Ltd.

Gutiérrez, D., Mendoza S., Serrano V., Bah, M., Pelz, R., Balderas, P., León, F., 2008. Proximate composition, mineral content, and antioxidant properties of 14 Mexican weeds used as fodder. *Weed Biology and Management*, 8(4), pp.291–296.

Hill N.S., Rottinghaus G.E., Agee C.S., Schultz L.M., 1993. Simplified sample preparation for HPLC analysis of ergovaline in tall fescue. *Crop Science* 33, pp 331-333.

Ingkasupart, P., Manochai, B., Song, W.T., Hong, J.H., 2015. Antioxidant activities and lutein content of 11 marigold cultivars (*Tagetes* spp.) grown in Thailand. *Food Science and Technology (Campinas)*, 35(2), pp.380–385.

Jessop, N.S., Herrero, M., 1996. Influence of soluble components on parameter estimation using the in vitro gas production technique. *Animal Science*, 62, pp.626-627.

Jouany J.P., Morgavi D.P., 2007. Use of ‘natural’ products as alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. *Animal* 1(10), pp.1443-1466

Kaisoon, O., Martínez-Campos, S., Castelán-Ortega, O.A., Ríos-Quezada, J., Pacheco-Ortega, Estrada-Flores, J.G., 2011. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible

flowers from Thailand. *Journal of Functional Foods*, 3(2), pp.88–99.

Makkar, H.P.S., Siddhuraju, P., Becker, K., 2007. *Plant Secondary Metabolites*, vol 393.

Makkar, H., 2003. Chemical, Protein Precipitation and Bioassays for Tannins, Tannin Levels and Activity in Unconventional Feeds, and Effects and Fate of Tannins. In *Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage*. pp. 1–42.

Martínez-Hernández, J., Arriaga-Jordán, C.M., González-Rebeles Islas, Estrada-Flores, J.G., 2014. Evaluación de la productividad primaria durante la época de secas en el área de protección de flora y fauna “nevado de toluca” México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(2), PP. 299-302.

Martínez-Loperena, R., Castelán-Ortega, A., González-Ronquillo, M., Estrada-Flores, J.G., 2011. Nutritive value, in vitro, in vitro fermentation and secondary metabolites of weeds and maize straw used for feeding dairy cattle. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, pp.525–536.

McGrath, J., Duval, S.M., Tamassia, L.F.M., Kindermann, M., Stemmler, R. T., Gouvea de, V.N., Acedo, T.S., Immig, I., Williams, S.N., Celi, P., 2017. Nutritional strategies in ruminants: A lifetime approach. *Research in Veterinary Science*, (August).

McSweeney, C.S., Palmer, B., McNell, D.M., Krause, D.O., 2001. Microbial enteraction with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 91(1-2), pp.83-93.

Melesse, A., 2012. The feeding value of deseeded pods from *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera* as evaluated by chemical analyses and in vitro gas production. *Journal of Animal Science*, 21, pp.537–550.

Mellado-Ortega, E., Zabalgogezcoa, I., Vázquez de Aldana, B.R., Arellano, J.A., 2017. Solutions to decrease a systematic error related to AAPH addition in the fluorescence-based ORAC assay. *Analytical Biochemistry*, 519, pp.27–29.

Naranjo, J.F., Cuartas, C.A., 2011. Nutritional characterization and ruminal degradation kinetics of some forages with potential for ruminants supplementation in the highland tropics of Colombia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), pp.1900–9607.

Ndagurwa, H.G.T., Dube, J.S., 2013. Nutritive value and digestibility of mistletoes and woody species browsed by goats in a semi-arid savanna, southwest Zimbabwe. *Livestock Science*, 151(1-3), pp.163–170.

- NRC, 1996. National Research Council. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academic Press, Washington, DC.
- Oh, J., Wall, E.H., Bravo, D.M., Hristov, A.N., 2017. Host-mediated effects of phytonutrients in ruminants: A review 1. *Journal of Dairy Science*, 100(7), pp.5974–5983. 18.
- Pell, A.N. y Schofield, P., 1993. Computerised monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. *Journal Dairy Science*, 76, pp.1063-1073.
- Reed, J.D., 1995. Nutritional Toxicology Polyphenols in of Tannins and Related Forage Legumes. *Journal of Animal Science*, 73(5), pp.1516–1528.
- Sanginés García, L., Dávila Solarte, P., Solano, L., Pérez-Gil R.F., 2014. Forbs of co ee plantations : taxonomically identify , chemical evaluation and evaluate the behavior of free range lambs. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3), pp.249–260.
- Steel, R.G.D., Torrie, H., 1997. Bioestadística: Principios y procedimientos. 2da edición. McGraw-Hill, Mexico, 17, pp.539.
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., France, J., 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3-4), pp.185-197.
- Van Soest, P.J., 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed. Ithaca, USA: Cornell University Press.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), pp.3583-3597.
- Wanapat, M., Cherdthong, A., Phesatcha, K., Kang S., 2015. Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. *Animal Nutrition*, 1(3), pp.96–103.
- Yue Q., Johnson Cicalese J., Gianfagna T.J., Meyer W.A., 2000. Alkaloid production and chinch bug resistance in endophyte-inoculated chewings and strong creeping red fescues. *Journal of Chemical Ecology* 26, pp. 279-292
- Zhou B., Meng Q.X., Ren L.P., Shi F.H., Wei Z., Zhou Z.M., 2012. Evaluation of chemical composition, in situ degradability and in vitro gas production of ensiled and sun-dried mulberry pomace. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 21, pp.188-197

**Table 1. Chemical composition of weed species and diet treatment**

	<i>Tithonia tubiformis</i>	<i>Cosmos bipinnatus</i>	<i>Tagetes lucida</i>	SEM	P-value	T0	T1	T2	T3	SEM	P-value
<b>CP (g/kg)</b>	107.4 <sup>a</sup>	70.1 <sup>b</sup>	63.1 <sup>c</sup>	0.95	0.009	231	218.3	264.8	214.4	3.79	0.006
<b>NDF (g/kg)</b>	453.3 <sup>b</sup>	496.1 <sup>a</sup>	478.6 <sup>ab</sup>	4.42	0.021	368.8	361.5	349.6	379	3.63	0.165
<b>ADF (g/kg)</b>	323.6 <sup>b</sup>	407.6 <sup>a</sup>	342.5 <sup>b</sup>	8.12	0.013	240.7	241.7	249.9	254	15.66	0.987
<b>Ash (%)</b>	9.6 <sup>b</sup>	12.9 <sup>a</sup>	7.9 <sup>c</sup>	0.15	0.002	9.4	9.4	8.4	9.8	0.17	0.150
<b>Ca (g/kg)</b>	9.3 <sup>b</sup>	17.5 <sup>a</sup>	7.9 <sup>b</sup>	0.51	0.009	9.2	9.1	7.4	10.3	0.44	0.289
<b>K (g/kg)</b>	4.1	4.1	3.6	0.14	0.327	4.1 <sup>ab</sup>	4.3 <sup>a</sup>	3.4 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup>	0.06	0.017
<b>Mg (g/kg)</b>	1.4	1.9	1.7	0.06	0.097	1.4	1.4	1.2	1.5	0.04	0.061
<b>Na (g/kg)</b>	1.8 <sup>a</sup>	0.1 <sup>b</sup>	0.1 <sup>b</sup>	0.08	0.005	1.6	1.5	1.4	1.5	0.05	0.497
<b>P (g/kg)</b>	2.6	2.5	3.4	0.11	0.092	2.5 <sup>ab</sup>	2.9 <sup>a</sup>	2.0 <sup>b</sup>	3.1 <sup>a</sup>	0.06	0.011
<b>S (g/kg)</b>	2.4	2.3	1.9	0.09	0.192	163	142.6	126.8	139.1	0.06	0.074
<b>Al (mg/kg)</b>	230.2 <sup>a</sup>	131.6 <sup>b</sup>	102.6 <sup>b</sup>	5.55	0.005	2.3	2.5	1.9	2.6	8.81	0.587
<b>B (mg/kg)</b>	32.6	29.6	25.3	0.98	0.121	30.2 <sup>ab</sup>	33.1 <sup>a</sup>	23.4 <sup>b</sup>	33.8 <sup>a</sup>	0.65	0.015
<b>Cu (mg/kg)</b>	8.6 <sup>ab</sup>	11.0 <sup>a</sup>	6.6 <sup>b</sup>	0.36	0.035	8.4 <sup>ab</sup>	9.3 <sup>a</sup>	7.3 <sup>ba</sup>	10.0 <sup>a</sup>	0.14	0.011
<b>Fe (mg/kg)</b>	169.6 <sup>a</sup>	106.0 <sup>b</sup>	85.8 <sup>b</sup>	4.20	0.008	116.2	112.5	92.3	113.2	4.71	0.377
<b>Mn (mg/kg)</b>	52.2 <sup>b</sup>	35.7 <sup>b</sup>	183.5 <sup>a</sup>	3.56	0.001	45.2	59.6	43.3	58.5	2.22	0.117
<b>Zn (mg/kg)</b>	48.9	40.5	28.6	3.13	0.163	39.7	36	34.7	46	1.97	0.316

Different letters in the same row indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); T0: control treatment; T1: *T. tubiformis* treatment; T2: *C. bipinnatus* treatment; T3: *T. lucida* treatment; CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; SEM: standard error of the mean.

**Table 2. Secondary metabolite contents and antioxidant activity of weed species and diet treatment**

	Total phenolics	Total tannins	Condensed tannins	Ergotamine Alkaloid	Antioxidant activity (ORAC)
	μmol eq. gallic/g DM	mg eq. tannic/g DM			μmol eq. trolox/g DM
<i>Tithonia tubiformis</i>	86.95 <sup>c</sup>	9.4 <sup>b</sup>	0.13 <sup>b</sup>	ND	336.94 <sup>c</sup>
<i>Cosmos bipinatus</i>	241.97 <sup>b</sup>	19.2 <sup>a</sup>	2.24 <sup>a</sup>	ND	853.65 <sup>b</sup>
<i>Tagetes lucida</i>	369.27 <sup>a</sup>	2.5 <sup>c</sup>	0.14 <sup>b</sup>	ND	876.36 <sup>a</sup>
<b>P-value</b>	<0.0001	0.0045	<0.0001		<0.0001
<b>T0</b>	46.09 <sup>c</sup>	2.8	0.07 <sup>b</sup>	ND	197.09 <sup>d</sup>
<b>T1</b>	43.60 <sup>d</sup>	3.7	0.05 <sup>b</sup>	ND	201.94 <sup>c</sup>
<b>T2</b>	51.21 <sup>ab</sup>	2.1	0.14 <sup>b</sup>	ND	222.79 <sup>b</sup>
<b>T3</b>	54.62 <sup>a</sup>	1.8	0.60 <sup>a</sup>	ND	255.76 <sup>a</sup>
<b>P-value</b>	<0.0001	0.067	<0.0001	-	<0.0001

Different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05); T0: control treatment; T1 *T. tubiformis* treatment; T2: *C. bipinnatus* treatment; T3: *T. lucida* treatment; ORAC: oxygen radical absorbance capacity; ND: not detected; SEM: standard error of the mean.

**Table 3. Phenolic compounds per species and treatment**

Compound	<i>Tithonia tubiformis</i>	<i>Cosmos bipinnatus</i>	<i>Tagetes lucida</i>	T0	T1	T2	T3
(mg/kg DM)							
<b>Gallic a.</b>	50.4	3.5	3.5	3.5	49.3	45.1	3.5
<b>Protocatechuic</b>	56.9	55.2	53.1	15.1	41.2	187.6	188.9
<b>Protocatechuic a.</b>	128.6	237.8	181.3	174.1	8.2	1.7	6.7
<b>Caffeic a.</b>	2062.4	0	1556.3	0	126.1	119.6	91
<b>Ferulic a.</b>	38.7	165.6	310.2	6.5	6.5	6.5	6.5
<b>Hydroxybenzoic a.</b>	33.8	523.6	110.2	20.2	21.1	19.2	19.3
<b>Vanillic a.</b>	0.02	0.02	15.1	49.3	13.5	11.3	0.02
<b>Syringic a.</b>	77.9	11.3	12.2	76.9	0.9	0.9	0.9
<b>Vanillin a.</b>	0	76.5	0	0	0	0	0
<b>Coumaric a.</b>	229.9	376.2	273.5	6.1	6.1	6.1	6.1
<b>Benzoic a.</b>	0	172.4	0	0	0	555.8	0
<b>Cinnamic a.</b>	23.8	4.6	114.3	4.6	14.4	12.9	4.6

T1 *T. tubiformis* treatment; T2: *C. bipinnatus* treatment; T3: *T. lucida* treatment;

**Table 4. Parameters of *in vitro* rumen kinetics and fermentation per weed species and treatment**

	<i>a</i>	<i>ca</i>	<i>b</i>	<i>cb</i>	<i>lag</i>
<i>Tithonia tubiformis</i>	14.9 <sup>b</sup>	0.69 <sup>a</sup>	205.8 <sup>b</sup>	0.04 <sup>a</sup>	4.3 <sup>ab</sup>
<i>Cosmos bipinnatus</i>	40.3 <sup>a</sup>	0.46 <sup>b</sup>	217.1 <sup>b</sup>	0.03 <sup>b</sup>	4.7 <sup>a</sup>
<i>Tagetes lucida</i>	14.3 <sup>b</sup>	0.04 <sup>c</sup>	305.2 <sup>a</sup>	0.01 <sup>c</sup>	3.0 <sup>b</sup>
<b>SEM</b>	1.4	0.03	2.0	0.001	0.2
<b>P-value</b>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0364
<b>T0</b>	11.4 <sup>ab</sup>	0.44 <sup>c</sup>	220.7	0.049 <sup>ab</sup>	4.3
<b>T1</b>	12.2 <sup>a</sup>	0.45 <sup>bc</sup>	228.3	0.047 <sup>ab</sup>	4.2
<b>T2</b>	9.8 <sup>b</sup>	0.57 <sup>a</sup>	214.3	0.050 <sup>a</sup>	3.7
<b>T3</b>	9.5 <sup>b</sup>	0.50 <sup>ab</sup>	228.8	0.043 <sup>b</sup>	5.0
<b>SEM</b>	1.12	0.10	2.08	0.0005	0.17
<b>P-value</b>	0.8021	0.9624	0.1787	0.0335	0.2294

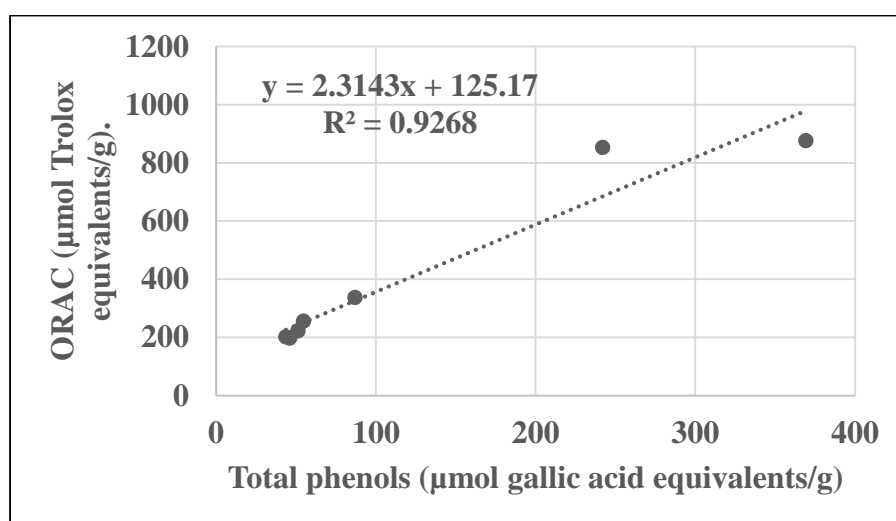
Different letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); T0: control treatment; T1: *T. tubiformis* treatment; T2: *C. bipinnatus* treatment; T3: *T. lucida* treatment; *a*: gas production at 4 h of fermentation (ml gas/g DM); *ca*: rate of fermentation of fraction *a*; *b*: gas production potential (ml gas/g DM) based on the insoluble but potentially degradable fraction; *cb*: rate of fermentation of fraction *b*; *lag*: time (h) before fermentation of NDF; SEM: standard error of the mean.

**Table 5. *In vitro* digestibility and metabolizable energy per species and treatment**

	IVDMD	IVNDFD g/kg DM	IVOMD	ME MJ/kg DM
<i>Tithonia tubiformis</i>	659.9 <sup>b</sup>	492.1 <sup>a</sup>	655.8 <sup>b</sup>	10.3 <sup>b</sup>
<i>Cosmos bipinnatus</i>	700.0 <sup>a</sup>	533.5 <sup>a</sup>	696.1 <sup>a</sup>	10.9 <sup>a</sup>
<i>Tagetes lucida</i>	578.7 <sup>c</sup>	255.5 <sup>b</sup>	574.6 <sup>c</sup>	9.0 <sup>c</sup>
SEM	2.6	9.1	3.5	0.1
P-value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
T0	829.8	421.7	816.4	12.8
T1	816.3	404.4	802.9	12.6
T2	788.3	375.6	774.8	12.2
T3	793.2	371.0	779.8	12.2
SEM	5.1	15.6	6.0	0.1
P-value	0.0425	0.6303	0.0985	0.0984

Different letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); T0: control treatment; T1: *T. tubiformis* treatment; T2: *C. bipinnatus* treatment; T3: *T. lucida* treatment; IVDMD: *in vitro* dry matter digestibility; IVOMD: *in vitro* organic matter digestibility; IVNDFD: *in vitro* neutral detergent fiber digestibility; ME: metabolizable energy; SEM: standard error of the mean.

**Figure 1. Relationship between phenolic content and antioxidant activity**



ORAC: oxygen radical absorbance capacity.

## 8. CONCLUSIÓN GENERAL

No se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) en los parámetros de cinética ruminal, DIVMS, DIVMO y DIVFND; lo que indica que se puede hacer uso de arvenses como aditivo incluidas hasta un 5% en la dieta, para aprovechar el contenido en compuestos secundarios de las especies arvenses y al mismo tiempo aumentar la actividad antioxidante sin comprometer la bienestar y productividad animal. Sin embargo, al incluirlas en un mayor porcentaje las digestibilidades tanto de MS, MO y FND se vieron afectadas. A mayor inclusión de *T. tubiformis* sobre la dieta base se aumentó el contenido de proteína. La búsqueda de fuentes de alimento alternativo no convencionales para la dieta de ovinos con buenas propiedades nutricionales y fuentes adicionales de minerales como Ca y Al, presentes en las especies evaluadas es indispensable para poder eficientizar la producción animal.



## 9. REFERENCIAS

- Acosta, de la L.L.; Hechevarría Sosa, I.; Rodríguez Ferradá, C.; Milanés Figueredo, M., .2011. Momento óptimo de plantación y de cosecha en *tagetes lucida* cav. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 16(2), pp.201–208.
- AFRC, 1993. Animal and Food Research Council. Energy and protein requirements of ruminants, CAB International; Wallingford, UK. 1993 S.
- Alexandratos, N. y Bruinsma, J., 2012. World agriculture towards 2030/2050, Roma.
- Álvarez, R.; Carvalho, C.; Sierra, J.; Lara, O.; Cardona, D. y Londoño, J. 2011. Citrus Juice Extraction Systems: Effect on Chemical Composition and Antioxidant Activity of Clementine Juice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 60, pp.774-781.
- Amlan, K. Patra, 2011. Effects of Essential Oils on Rumen Fermentation, Microbial Ecology and Ruminant Production. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, 6(5), pp.416–428.
- Ankom. Procedures (for NDF and ADF) [Internet]. Ankom Technology Method; 2005 [cited 2017 enero 20]. Available from: <http://www.ankom.com/>
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th Ed Association of official Agricultural Chemists, Washington.
- Aouadi, D.; Luciano, G.; Vasta, V.; Nasri, S.; Brogna, D.M.; Abidi, S.; Priolo, A. y Salem, H.B., 2014. The antioxidant status and oxidative stability of muscle from lambs receiving oral administration of Artemisia herba alba alba and Rosmarinus officinalis essential oils. Meat Science. 97, 237–243.
- Arias M. y Alonso A., 2002. Estudio sobre sistemas caprinos del norte de la provincia de Córdoba, Argentina. Archivos de Zootecnia. 51, pp.341-349.
- Arroyo, A.; Krishnamurthy, L.; Leos, J. A. y Lara, A., 2002. Diseño de tecnología silvopastoril asociando ovinos de pelo a plantaciones cítricas en Veracruz. En: L. Krishnamurthy y M. Uribe Gómez, edits. Tecnologías agroforestales para el desarrollo rural sostenible. primera ed. México: s.n., pp. 283-285.
- Aschfalk, A.; Steingass. H.; Muller, W. y Drochner, W., 2000. Acceptance and Digestibility of Some Selected Browse Feeds with Varying Tannin Content as Supplements in Sheep Nutrition in West Africa. Journal of Veterinary Medicine Series A, 47(9), pp.513–524.
- Ávalos García, A. y Pérez-Urria, E.C., 2009. Metabolismo secundario de plantas. Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal, 2(3), pp.119–145.
- Barreiro Perera, M., 1995. El Ganado Vacuno en México. Claridades Agropecuarias, pp.6–8. Available at: <http://www.infoserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?Numero=23>.

- Barry, T. N.; Min, B. R. y Attwood, W. C., 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 106, pp. 3-39.
- Blanco, Y. y Leyva, Á., 2007. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), pp.21–28.
- Blümmel, M.; Aiple, K.; Steingass, H. y Becker, K., 1999. A note on the stoichiometrical relationship of short chain fatty acid production and gas formation *in vitro* in feedstuffs of widely differing quality. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 81, pp.157-167.
- Bodas, R.; Prieto, N.; García-González, R.; Andrés, S. y Giráldez, F.G., 2012. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1–4), pp.78–93.
- Bondi, A. A., 1989. *Nutrición animal*. Zaragoza: Acribia, S. A.
- Bony, S. y Delatour, P., 2001. Relevance and impact of grass endophyte toxins in Europe. En: Paul, V.H.Y. y Dapprich, P.D. Edits. *The Grassland Conference 2000 Soest*, pp. 207-218. Soest, Germany: Paderborn University.
- Brochi-Brum, O.; Carro, M.D.; Valdés, C. y González, J.S., 1999. Digestibilidad *in vitro* de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Archivos de Zootecnia*, 58, pp.51-61.
- Bush, L.P.; Wilkinson, H.H. y Schardl, C.L., 1997. Bioprotective alkaloids of grass-fungal endophyte symbioses. *Plant Physiology*, pp.114(1), 1-7.
- Carvalho, P.C.F.; Nabinger, C.; Lemaire, G. y Genro, T.C.M., 2011. Challenges and opportunities for livestock production in natural pastures: the case of Brazilian Pampa Biome. *Proceedings of the IX International rangeland congress: diverse rangelands for a sustainable society.*, pp.9–15. Available at: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/907421/1/carvalhoetal.2011.pdf>.
- Castelán Ortega, O.; Matthewman, R.; González Martínez, E.; Burgos García, R. y de la Cruz Juárez D., 1997. Caracterización y evaluación de los sistemas campesinos de producción de leche. El caso de dos comunidades del Valle de Toluca. *CIENCIA ergo-sum*, 4(3), pp.316–326. Available at: <http://cienciaergosum.uaemex.mx/index.php/ergosum/article/view/4035>.
- Castillo Orona, I.; López Martínez, J.D.; Vázquez Vázquez, C.; Salazar Sosa, E. y Ramírez Ramírez, M.E., 2014. Análisis microeconómico de una unidad Representativa de producción de carne de ovino en el estado de México bajo un sistema de producción semi intensivo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, XVIII (34), pp.720–728.
- Céspedes, C.; Avila, J.; Martínez, A.; Serrato, B.; Calderón-Mugica, J.; Salgado-Garciglia, R., 2006. Antifungal and Antibacterial Activities of Mexican Tarragon (*Tagetes lucida*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, pp.3521- 3527.

- Chanthakhoun, V.; Wanapat, M.; Wachirapakorn, C. y Wanapat, S., 2011. Effect of legume (*Phaseolus calcaratus*) hay supplementation on rumen microorganisms, fermentation and nutrient digestibility in swamp buffalo. *Livestock Science*, 140, pp.17-23.
- Church, D. C. y Pond, W. G., 2006. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. D.F.: Limusa, Wiley.
- Cino, D.M.; Ruíz, T.E.; Martínez, Y.; Chongo, B. y Díaz, H., 2012. Harina de follaje de tithonia (*Tithonia diversifolia*) en dietas integrales para la alimentación de terneros lactantes. Resultados económicos preliminares. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(4), pp.435–440.
- CONABIO, 2017. Malezas de México. [Internet] Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/paginas/lista-plantas-abr2006.htm> [cited 2016 marzo 04].
- CONANP, 2015. Comisión nacional de áreas naturales protegidas. Definiciones de área natural protegida, tipos de áreas naturales y definición. [Internet] Available at: <http://www.conanp.gob.mx/regionales/> [cited 2016 septiembre 20].
- Dijkstra, J.; Mills, J.A.N. y France, J., 2005. Application of the gas production technique to feed evaluation systems for ruminants. *Journal animal science*, 123-124(Part. 1), pp. 561-578.
- Dijkstra, J., Mills, J. A. N., France, J. 2002. The role of dynamic modeling in understanding the microbial contribution to rumen function. *Nutrition Research Review*, 15:67-90.
- Duque Macías, F., 1971. Determinación conjunta de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu Y Zn en plantas. *An. Edafol. Agrobiol.*, 30, pp.207-229.
- Emami, A.; Ganjkanlou, M.; Fathi Nasri, M.H.; Zali, A. y Rashidi. L., 2015. Pomegranate seed pulp as a novel replacement of dietary cereal grains for kids. *Small Ruminant Research*, 123(2–3), pp.238–245.
- Estrada-Flores, J.G.; González-Ronquillo, M.; Mould, F. L. y Arriaga-Jordán, C. M., 2006. Chemical composition and fermentation characteristics of grain and different parts of the stover from maize land races harvested at different growing periods in two zones of central Mexico. *Animal science*, 82(6), pp.845–852.
- Estrada-Flores, J.G. 2005. Caracterización nutricional de maíz y arvenses utilizados en la alimentación del ganado en sistemas campesinos en dos zonas contrastantes del Estado de México. Tesis Doctoral en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México, pp 3-4.
- FAO, 2016. *Desarrollo agrícola sostenible para la seguridad alimentaria y la nutrición: ¿qué función desempeña la ganadería?*, Roma.
- FAO, 2008. *Ayudando a desarrollar una ganadería sustentable en Latinoamérica y el Caribe: lecciones a partir de casos exitosos*, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago.

- Figuroa Medina, M.; Zarate Escobedo, J.; Orozco Hernández, M.E.; Castelán Ortega, O.A. y Estrada Flores, J.G., 2016. El uso de la flora nativa en un sistema silvopastoril de selva baja caducifolia. In M. D. Báez Bernal et al., eds. *Innovación Sostenible en Pastos: hacia una Agricultura de Respuesta al Cambio Climático*. Lugo-A Coruña, pp. 33–35.
- García, A., Olaizola, A. y Bernués, A., 2009. Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems. *Animal*, 3(1), pp.152-165.
- García, D.E. y Medina, M.G., 2006. Valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootecnia Tropical*, 24(3), pp.233–250.
- García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B. y Avilés Nova, F., 2015. Dynamics and trends in dual purpose cattle management in southern estado de México. *Agrociencia*, 49(2), pp.125–139.
- Garnier, J.P., 2010. Análisis del mercado mundial de la carne de ovino. *Eurocarne*, 184, pp.115–122. Available at: <http://listas.eurocarne.com/boletin/imagenes/18409.pdf>.
- Garrido, B.M.; Bonier, M.; Sindy, C.P., Gaitán, I.C.; Cáceres, A. y Paredes, M.E., 2013. Pharmacognostic characters for the quality control of *Petiveria alliacea*, *Lippia graveolens*, and *Tagetes lucida*. *Dominguezia*, 29(2), pp.25–39.
- Gazzano S.M.I., 2014. Viabilidad de la ganadería familiar en áreas protegidas de humedales, en un contexto sinérgico de intensificación agraria e inundaciones: parque nacional esteros de farrapos-Uruguay. Tesis. D. en C: Universidad de Córdoba. Departamento de Ciencias Sociales y Humanidades. Instituto de Sociología y Estudios campesinos.
- Gibon, A., 2005. Managing grassland for production, the environment and the landscape. Challenges at the farm and the landscape level. *Livestock Production Science*, 96(1), pp.11–31.
- Gibson, R.S., 2011. Addressing micronutrient malnutrition to achieve nutrition security. In L. Thompson, B., Amoroso, ed. *Combating micronutrient deficiencies: food-based approaches*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 7–21. Available at: [https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=8lmlwvbgdwc&oi=fnd&pg=PA41&dq=Impact+agriculture+intervention+nutrition+outcome+Asia+%22agriculture+nutrition%22&ots=8fzukeppt&sig=ZP-suy6jsi45ael\\_eijmguxrjuy](https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=8lmlwvbgdwc&oi=fnd&pg=PA41&dq=Impact+agriculture+intervention+nutrition+outcome+Asia+%22agriculture+nutrition%22&ots=8fzukeppt&sig=ZP-suy6jsi45ael_eijmguxrjuy).
- Gioanetto, F.; Díaz Vilchis, J.T. y Quintero Sánchez, R., 2010. Manual de utilización de las malezas silvestres de Michoacán, Morelia Michoacán, México.
- Goel, G.; Makkar, H.P.S. y Becker, K., 2008. Effects of *Sesbania sesban* and *Carduus pycnocephalus* leaves and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Seeds and their extracts on partitioning of nutrients from roughage- and concentrate-based feeds to methane. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1–3), pp.72–89.
- Gohlke, A.; Ingelmann, C.J.; Nürnberg, G.; Weitzel, J.M. Hammon, H.M.; Görs, S.; Starke, A.; Wolfram, A. Y Metges, C.C., 2013. Influence of 4-week intraduodenal supplementation of quercetin on performance, glucose metabolism, and mRNA abundance of genes related to

glucose metabolism and antioxidative status in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96 (11), pp.6986-7000.

Grusak M.A. y DellaPenna D., 1999. Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. *Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, pp:133-161.

Gurbuz, Y., 2009. Efectos del contenido de taninos condensados de algunas especies de leguminosas en la emisión de gas metano. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(3), pp.265–272.

Gutiérrez, D.; Mendoza, S.; Serrano, V.; Bah, M.; Pelz, R.; Balderas, P. y León, F., 2008. Proximate composition, mineral content, and antioxidant properties of 14 Mexican weeds used as fodder. *Weed Biology and Management*, 8(4), pp.291–296.

Gutman M.; Perevolotsky A. y Sternberg M., 2000. Grazing effects on a perennial legume, *Bituminaria bituminosa* (L.) Stirton, in a mediterranean rangeland. *Cahiers Options Mediterr.* 45, 299–303.

Hartmann, T., 2007. From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry* 68, 2831–2846.

Hernández Cortázar, I.; Rejón Ávila, M.; Valencia Heredia, E. y Araujo Andrade, L., 2014. Sheep production investment analysis in the municipality of Tzucacab, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34, pp.677–687.

Hernández Pineda, G.S., 2017. Efecto de *Pithecellobium dulce*, *Tajetes erecta* y *Cosmos bipinnatus* sobre la emisión de metano y la producción de leche del ganado bovino. Tesis Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México.

Herrero, M.; Grace, D.; Njuki, J.; Johnson, N.; Enahoro, D.; Silvestri, S. y Rufino, M.C., 2012. The roles of livestock livestock in developing countries. Nairobi, International Livestock Research Institute.

Herrero, M.; Murray, I.; Fawcett, R. H. y Dent, J. B., 1996. Prediction of the *in vitro* gas production and chemical composition of kikuyu grass by near-infrared reflectance spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology*, Volumen 60, pp. 51-67.

Hill N.S., Rottinghaus G.E., Agee C.S., Schultz L.M., 1993. Simplified sample preparation for HPLC analysis of ergovaline in tall fescue. *Crop Science* 33, pp 331-333.

Hoste, H.; Jackson, F.; Athanasiadou, S.; Thamsborg, S.M. y Hoskin, S.O., 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends Parasitol.* 22, pp.253-261.

Hurrell, J.A.; Delucchi, G. y Bazzano, D.H., 2007. *Dicotiledóneas Nativas y exóticas Literature of Latinoamérica* 1a ed., Buenos Aires.

ICAMEX 2017, Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal. [Internet] Available at: <http://icamex.edomex.gob.mx/ovinos> [cited 2017 noviembre 07].

- INEGI, 2015. Estadística de Sacrificio de ganado en rastros municipales por entidad federativa 2009-2014, México. [Internet] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Available at: [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015\\_03\\_9.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_03_9.pdf). [cited 2016 noviembre 17].
- INEGI, 2007. Censo agrícola ganadero y forestal 2007. [Internet] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Available at: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/default.aspx> [cited 2016 noviembre 17].
- Jang, I.; Park, E.; Park, H. y Lee, S, 2008. Antioxidative and Antigenotoxic Activity of Extracts from Cosmos (*Cosmos bipinnatus*) Flowers. *Plant foods Hum Nutr*, 63, pp.205–210.
- Jayanegara, A.; Togtokhbayar, N.; Makkar, H.P.S. y Becker, K., 2009. Tannins determined by various methods as predictors of methane production reduction potential of plants by an in vitro rumen fermentation system. *Animal Feed Science and Technology*, 150(3–4), pp.230–237.
- Jessop, N.S. y Herrero, M., 1996. Influence of soluble components on parameter estimation using the in vitro gas production technique. *Animal Science*, 62, pp.626-627.
- Kähkönen, M.; Anu, I.; Heinonen, C. y Heinonen, M., 2001. Berry phenolics and their Antioxidant activity. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 49, pp:4076 – 4082.
- Kaisoon, O.; Siriamornpun, S.; Weerapreeyakul, N. y Meeso, N., 2011. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers from Thailand. *Journal of Functional Foods*, 3(2), pp.88–99.
- Katiki, L.M.; Ferreira, J.F.S.; Gonzalez, J.M.; Zajac, A.M.; Lindsay, D.S.; Chagas, A.C.S. y Amarante, A.F.T., 2013. Anthelmintic effect of plant extracts containing condensed and hydrolyzable tannins on *Caenorhabditis elegans*, and their antioxidant capacity. *Veterinary Parasitology*, 192(1–3), pp.218–227.
- Khazaal, K., Dentinho, M., Ribeiro, J. M. y R., Ø. E., 1993. A comparison of gas production during incubation with rumen constants in vitro and nylon bag degradability as predictors of the apparent digestibility in vivo and the voluntary intake of hays. *Animal Production*, 57, pp. 105-112.
- Kibon, A. y Ørskov, E. R., 1993. The use of degradation characteristics of browse plants to predict intake and digestibility by goats. *Animal Production*, 57, pp. 247-252.
- Knapp, J.R.; Laur, P.; Vadas, P.A.; Weiss, W.P. y Tricarico, J.M., 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of dairy science*, 97(6), pp.3231–61.
- Kotsampasi, B.; Christodoulou, V.; Zotos, A.; Liakopoulou-Kyriakides, M.; Goulas, P.; Petrotos, K.; Natas, P. y Bampidis, V., 2014. Effects of dietary pomegranate byproduct silage supplementation on performance, carcass characteristics and meat quality of growing lambs. *Animal. Feed Science and Technology*, 197, pp.92–102.

- Krishnamoorthy, U.; Soller, H.; Steingass, H. y Menke, K. M., 1995. Energy and protein evaluation of tropical feedstuffs for whole tract and ruminal digestion by chemical analyses and rumen inoculum studies *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*, 52, pp.177-188.
- Leng R. A., 2014. Interactions between microbial consortia in biofilms: a paradigm shift in rumen microbial ecology and enteric methane mitigation. *Animal Production Science*, 54, pp.519–543.
- Lykkesfeldt J. y Svendsen O., 2007. Oxidants and antioxidants in disease: oxidative stress in farm animals. *Journal Veterinary*, 173, 502–511.
- Macedo, R.; Gallina, M.A.; Zorrilla, J.M.; Palma, J.M. y Pérez Guerrero, J., 2003. Analisis de un sistema de produccion tradicional en Colima, México. *Archivos de zootecnia*, 52(200), pp.463–474.
- Makkar, H.P.S., Siddhuraju, P. y Becker, K., 2007. Plant Secondary Metabolites, Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-59745-425-4>.
- Makkar, H.P.S., 2003. Chemical, protein precipitation and bioassays for tannins, tannin levels and activity in unconventional feeds, and effects and fate of tannins. *Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 1-42
- Makkar, H.P.S., Blümmel, M. y Becker, K., 1995. *In vitro* effects of and interactions between tannins and saponins and fate of tannins in the rumen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 69, pp.481–493.
- Maldonado Ferrucho, G.; Franco Maass, S.; Nava Bernal, G. y García Martínez, A., 2014. La ovinocultura del Nevado de Toluca: factor de deterioro o elemento de desarrollo y manejo ambiental en zonas naturales protegidas. In J. Arriaga Jordán, C. M. Y Anaya Ortega, ed. *Contribución de la producción animal en pequeña escala al desarrollo rural*. México, pp. 149–165.
- Martínez-Hernández, J.C.; Arriaga-Jordán, C.M.; González-Rebeles, C. y Estrada Flores, J.G., 2014. Evaluación de la productividad primaria durante la época de secas en el área de protección de flora y fauna “nevado de Toluca” México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(2), pp.299–302.
- Martínez-Loperena, R.; Castelán-Ortega, A.; González-Ronquillo, M. y Estrada-Flores, J.G., 2011. Nutritive value, *in vitro*, *in vitro* fermentation and secondary metabolites of weeds and maize straw used for feeding dairy cattle. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, pp.525–536.
- Matías, G. B., 2013. Efecto en la fermentacion ruminal *in vitro* de dietas utilizadas para ganado lechero, adicionadas con especies altas en taninos. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México.

- McDowell, L.R.; Conrad, J.H.; Hembry, F.G.; Rojas, L.X.; Valle, G. y Velásquez, J., 1993. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en regiones Tropicales* segunda ed., Departamento de Zootecnia, Centro de Agricultura Tropical, Universidad de Florida Gainesville.
- McGrath, J.; Stéphane, M.D.; Tamassia, L.F.M; Kindermann, M.; Stemmler, R.T., Gouvea, V.N.; Acedo, T.S.; Immig, I.; Williams, S.N. y Celi, P., 2017. Nutritional strategies in ruminants: A lifetime approach. *Research in Veterinary Science*, 116, pp. 28-39.
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y., 2012. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), pp.401–415.
- Mellado-Ortega, E.; Zabalgoceazcoa, I.; Vázquez de Aldana, B.R. y Arellano, J.A., 2017. Solutions to decrease a systematic error related to AAPH addition in the fluorescence-based ORAC assay. *Analytical Biochemistry*, 519, pp.27–29.
- Menke, K. H. y Stengass, H., 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analyses and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28, pp. 7-55.
- Menke, K.H.; Raab, L.; Salewski, A. y Steingass, H., 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *Journal of Agricultural Science*, 93(1), pp.217-222.
- Mertens, D. R. y Weimer, P. J., 1998. Method for measuring gas production kinetics. En: E. Deaville, y otros edits. *In vitro techniques for measuring nutrient supply to ruminants*. Occasional Publication No. 22-British Society of Animal Science, pp. 209-211.
- Moreira, G.D.; Tavares Lima, P.; Oliveira Borges, B.; Primavesi, O.; Longo, C.; McManus, C.; Abdalla, A. y Louvandini, H., 2013. Tropical tanniniferous legumes used as an option to mitigate sheep enteric methane emission. *Tropical Animal Health and Production*, 45(3), pp.879–882.
- Moreno-Murillo B.; Sánchez, A.; Quevedo, R.; Pabón, M. y Carulla, J.E., 2006. Estudio químico preliminar de los polifenoles de dos accesiones de *Calliandra calothyrsus*. Segundo Taller de Taninos en la Nutrición de Rumiantes. Universidad Nacional de Colombia-Bogota, pp. 10-12.
- Mottet, A.; Ladet, S.; Coqué, N. y Gibon, A., 2006. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: a case study in the pyrennees. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114(2–4), pp.296–310.
- Mueller-Harvey, I., 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, pp.2010–2037.
- Nagadi, S., Herrero, M. y Jessop, N., 2000. The influence of diet of the donor animal on the initial bacterial concentration of ruminal fluid and in vitro gas production degradability parameters. *Animal Feed Science and Technology*, 87, pp. 231-239.



- O, O.La; Valenciaga, D.; González, H.; Orozco, A.; Castillo, Y.; Ruíz, O.; Gutiérrez, E.; Rodríguez, C. y Arzola, C., 2009. Efecto de la combinación de *Tithonia diversifolia* y *Pennisetum Purpureum* vc. Cuba CT-115 en la cinética y producción de gas in vitro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(2), pp.149–152.
- Oh, J.; Wall, E.H.; Bravo, D.M. y Hristov, A.N., 2017. Host-mediated effects of phytonutrients in ruminants: A review 1. *Journal of Dairy Science*, 100(7), pp.5974–5983.
- Ortega-Aguirre, C.A.; Lemus-Flores, C.; Bugarín-Prado, J.O.; Alejo-Santiago, G.; Ramos-Quirarte, A.; Grageola-Núñez, O. y Bonilla-Cárdenas, J.A., 2015. Agronomic characteristics, bromatological composition, digestibility and consumption animal in four species of grasses of the genera *Brachiaria* AND *Panicum*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(3), pp.291–301.
- Partida, J. A.; Braña Varela, D.; Jiménez Severiano, H.; Ríos Rincón, F.G. y Buendía Rodríguez, G., 2013. Producción de carne ovina. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Querétaro pp. 7-15
- Patra, A. K. y Saxena J. A., 2010. New perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71 pp.1198–1222.
- Piluzza G.; Sulas L. y Bullitta S., 2013. Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: a review. *Grass and Forage Science*, 69, pp.32-48.
- Pinto-Ruiz, R.; Hernández-Sánchez, D.; Ramírez-Avilés, L.; Sandoval-Castro, C. A.; Cobos-Peralta, M. y Gómez-Castro, H., 2009. Taninos y fenoles en la fermentación in vitro de leñosas forrajeras tropicales. *Agronomía Mesoamericana*, 20 (1), 81-89.
- Plata Pérez, G., 2016. Caracterización de los sistemas de producción ovina en el área de protección de flora y fauna nevado de Toluca. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Qwele, K., Hugo, A., Oyedemi, S., Moyo, B., Masika, P., Muchenje, V., 2013. Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with *Moringa* (*Moringa oleifera*) leaves, sunflower cake and grass hay. *Meat Sci.* 93, 455–462.
- Ramírez, L.R.G., 2009. Forrajes nativos. Una alternativa sustentable en la alimentación de rumiantes. *Ciencia UANL*. 12 (1), 4-5.
- Reed, J. D.; Krueger, C.; Rodríguez, G. y Hanson, J., 2000. Secondary plant compounds and forage evaluation. In: Givens D. I., Owen E., Axford R. F. E., Omed H. M. (eds.). *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CAB International, Uk. pp 433-448
- Reed, J.D., 1995. Nutritional Toxicology Polyphenols in of TannIns and Related Forage Legumes. *Journal of Animal Science*, 73(5), pp.1516–1528.

- Reyes, L., Camacho, T. C. y Guevara, F., 2013. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Aguascalientes: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Rubio Lozano, M. de la S.; Braña Varela, D.; Méndez Medina, R.D. y Delgado Suárez, E., 2013. Sistemas de Producción y Calidad de carne bovina, México.
- Ruíz, T.E.; Febles, G.J.; Galindo, J.L.; Savón, L.L.; Chongo, B.B.; Torres V. y Cino, D.M., 2014. *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), pp.79–82.
- SAGARPA, 2016. Ovino Población ganadera 2006-2015, México. [Internet] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Available at: <http://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera>.
- SAGARPA, 2012. Programa Nacional Pecuario 2007-2012, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México.
- SAGARPA, 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México 2006, México. [Internet] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Available at: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/ProgramaNacionalPecuario/Attachments/1/PNP260907.pdf>.
- Salem, A.Z.M., 2012. Plant bioactive compounds in ruminant agriculture – Impacts and opportunities. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1–4), pp.1–4.
- Sánchez-Moreno, C., 2002. Review: methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Sci. Tech. Int.*, 8(3), 121-137.
- Sanginés García, L.; Dávila Solarte, P.; Solano, L. y Pérez-Gil, R.F., 2014. Forbs of co ee plantations: taxonomically identify, chemical evaluation and evaluate the behavior of free range lambs. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3), pp.249–260.
- Scalbert A.; Manach C.; Morand C.; Rémésy C. y Jiménez L., 2005. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, pp.287–306.
- Schardl C.L.; Florea S.; Pan J.; Nagabhyru P.; Bec S. y Calie P.J., 2013. The epichloae: alkaloid diversity and roles in symbiosis with grasses. *Current Opinion in Plant Biology*, 16, pp.480-488.
- SIAP, 2013. Estructura de la ganadería en México, México. [Internet] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Available at: [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/morelos/Documents/2013/Difusion/001\\_dif\\_SIPA.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/morelos/Documents/2013/Difusion/001_dif_SIPA.pdf).
- Silva Bueno, C.I. da; Cabral Filho, S.L.S.; Barboza de Godoy, P. y Luiz Abdalla, A., 2010. Comparison of in situ and in vitro dry matter rumen degradability of three distinct quality hays in sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), pp.321–332.

- Sooberate M.A.; Neergheen V.S.; Luximon-Ramma O.I.; Aruoma O.I. y Bahorum T., 2005. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: mechanism and actions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 579, pp.200–213.
- Steel, R.G.D. y Torrie, H., 1997. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. 2da edición. McGraw-Hill, Mexico, 17, pp.539.
- Taheripour, F.; Hurt, C. y Tyner, W.E., 2013. Livestock industry in transition: Economic, demographic, and biofuel drivers. *Animal Frontiers*, 3(2), pp.38–46.
- Tan, H.Y. Sieo, C.C.; Abdullah, N.; Liang, J.B.; Huang, X.D. y Ho, Y.W., 2011. Effects of condensed tannins from *Leucaena* on methane production, rumen fermentation and populations of methanogens and protozoa in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 169(3–4), pp.185–193.
- Tavendale, M.H.; Meagher, L.P.; Pacheco, D.; Walker, N.; Attwood, G.T. y Sivakumaran. S., 2005. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Animal Feed Science and Technology*, 123–124(Part 1), pp.403–419.
- Theodorou, M.K.; Williams, B.A.; Dhanoa, M.S.; McAllan, A.B. y France, J., 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3-4), pp.185-197.
- Thornton, P.K., 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), pp.2853-2867.
- Tiemann, T.T.; Ávila, P.; Ramírez, G.; Dieter, H.H. y Lascano, C.E., 2006. Efecto de taninos extraídos de leguminosas arbustivas sobre la dinámica de fermentación ruminal. *Taller de Taninos en la Nutrición de Rumiantes*. Universidad Nacional de Colombia-Bogota, pp.15-17.
- Tilley, J. M. A. y Terry, R. A., 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*, Volumen 18, pp. 104-111.
- Torres-Acosta, J.F.J.; Sandoval-Castro, C.A.; Hoste, H.; Aguilar-Caballero, A.J.; Cámara-Sarmiento, R. y Alonso-Díaz, M.A., 2012. Nutritional manipulation of sheep and goats for the control of gastrointestinal nematodes under hot humid and subhumid tropical conditions. *Small Ruminant Research*, 103(1), pp.28–40.
- Torres-Acosta, J.F.J.; Alonso-Díaz, M.A.; Hoste, H.; Sandoval-Castro, C.A.; Aguilar-Caballero, A.J., 2008. Efectos negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, 9(1), pp.83-90.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. y Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), pp.3583-3597.

- Vázquez de Aldana B.R.; Zabalgoeazcoa I.; Rubio de Casas R.; García-Ciudad A. y García-Criado B., 2010. Relationships between the genetic distance of *Epichloë festucae* isolates and the ergovaline and peramine contents of their *Festuca rubra* hosts. *Annals of Applied Biology*, 156, pp.51-61.
- Villanueva, S. M., 1989. Fuentes no tradicionales de alimentos y su empleo en la alimentación de los ovinos de 1980-1987. D.F.: s.n. (Villanueva SM. Fuentes no tradicionales de alimentos y su empleo en la alimentación de los ovinos de 1980-1987. Tesis licenciatura. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México; 1989.)
- Vos, R., 2015. Thought for Food: Strengthening Global Governance of Food Security, Available at: [http://www.un.org/en/development/desa/policy/cdp/cdp\\_background\\_papers/bp2015\\_29.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/policy/cdp/cdp_background_papers/bp2015_29.pdf).
- Wanapat, M.; Cherdthong, A.; Phesatcha, K. y Kang, S., 2015. Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. *Animal Nutrition*, 1(3), pp.96–103.
- Wencelová, M.; Váradyová, Z.; Mihaliková, K.; Čobanová, K.; Plachá, I.; Pristaš, P.; Jalč, D. y Kišidayová, S., 2015. Rumen fermentation pattern, lipid metabolism and the microbial community of sheep fed a high-concentrate diet supplemented with a mix of medicinal plants. *Small Ruminant Research*, 125, pp.64–72.
- Yue Q., Johnson Cicalese J., Gianfagna T.J., Meyer W.A., 2000. Alkaloid production and chinch bug resistance in endophyte-inoculated chewings and strong creeping red fescues. *Journal of Chemical Ecology* 26, pp. 279-292
- Zabalgoeazcoa, I. y Bony, S., 2008. Neotyphodium research and application in Europe. En: Roberts C.A. et al. (Eds) *Neotyphodium in Cool-Season Grasses*, pp. 23-33. Iowa, USA: Blackwell Publishing.
- Zamorano, C., 2006. Alelopatía: un nuevo reto en la ciencia de las arvenses en el trópico. *Agronomía (Manizales)*, 14(1), pp. 7-15
- Zhong, R.; Xiao, W. Ren, G.; Zhou, D.; Tan, C.; Tan, Z.; Han, X.; Tang, S.; Zhou, C. y Wang, M., 2011. Dietary tea catechin inclusion changes plasma biochemical parameters, hormone concentrations and glutathione redox status in goats. *Asian-australas. Journal Animal Science*, 24, pp.1681–1689.

## 10. ANEXOS

### **10.1 Trabajo presentado en formato de cartel en el “6° Congreso internacional, Biología, Química y Agronomía” 27 a 29 de septiembre de 2017. Universidad Autónoma de Guadalajara, Zopopan, Jalisco.**

**Asunto:** Memorias 6o. Congreso Internacional de Biología, Química y Agronomía

Buen día estimados autores de trabajos libres

Les enviamos un cordial saludo y aprovechamos para hacerles llegar la siguiente información:

"El comité editorial informa que se ha terminado con el 100% del trabajo de edición de las contribuciones para obtener un formato uniforme. Ya se está en condiciones de generar una primera compilación y ponerla a disposición para que los autores revisen y proporcionen retroalimentación.

De acuerdo a lo anterior, se tiene el plan de mostrar las PRUEBAS DE GALERAS para el LUNES 27 DE NOVIEMBRE. Junto con el documento de prueba, se dará notificación con instrucciones para los autores. La recepción de correcciones se cerrará el jueves 30 de noviembre.

El trámite de ISBN se iniciará el viernes 1 de diciembre, esperando tener la asignación por parte de INDAUTOR a más tardar el VIERNES 8 DE DICIEMBRE."

Atentamente

Comité Organizador

6o. Congreso Internacional de Biología, Química y Agronomía

### 10.2.1 Resumen Publicado en “Memorias 6° Congresos internacional, Biología, Química y Agronomía ISBN: 978-607-719-008-0”: “Evaluación de la Calidad nutritiva y actividad antioxidante de especies arvenses incluidas como aditivo en la alimentación de ovinos”



#### EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRITIVA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE ESPECIES ARVENSES INCLUIDAS COMO ADITIVO EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS.

Díaz-Medina, L.K., \*Estrada-Flores, J.G., Arriaga-Jordán, C.M. y Brunett-Pérez, L.

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario #100 50000 Toluca (México).

\*Autor para correspondencia: [jgestradaf@uaemex.mx](mailto:jgestradaf@uaemex.mx)

Área del conocimiento: Agrobiotecnología.

#### RESUMEN

En el Altiplano Central de México una de las actividades económicas que destaca es la producción de ganado ovino en sistemas campesinos. La alimentación de los animales se basa principalmente en el pastoreo en agostaderos naturales y alimentación semi-estabulada; por lo que la búsqueda de otras fuentes alimenticias de buena calidad nutritiva, económicamente viables y de fácil adquisición, es necesaria para mejorar la eficiencia productiva de los campesinos. El uso de especies arvenses en la alimentación de rumiantes ofrece una alternativa al uso de alimentos convencionales y a su vez representa una oportunidad para el manejo de plantas invasoras de terrenos agrícolas. El objetivo de este trabajo es complementar al conocimiento sobre el uso de arvenses como alimento para rumiantes, se evaluaron 3 especies de arvenses (*Tithonia tubiformis*, *Cosmos bipinnatus* y *Tagetes lucida*) y 4 tratamientos (T0= dieta control, T1=dieta+5% *T. lucida*, T2= dieta +5% *C. bipinnatus* y T3= dieta +5% *T. tubiformis*); se determinó el contenido en porcentajes de fibra neutro detergente (FND) y ácido detergente (FAD); la proteína cruda (PC) se determinó por el procedimiento Kjeldahl y los minerales por fuente de plasma inducida (ICP); además se evaluaron compuestos secundarios [1], fenóles (FT), taninos totales (TT) y taninos condensados (TC); y la actividad antioxidante (AA) por los métodos FRAP (ferric reducing/antioxidant power) y ORAC (oxygen radical absorbance capacity); se evaluó la cinética de fermentación ruminal; digestibilidad *in vitro* de materia seca (dMS), materia orgánica (dMO) y FND (dFND) de cada tratamiento a través de la técnica de producción de gas *in vitro* [2, 3]. Los resultados muestran mayor contenido de PC para *Tithonia*; FND y FAD para *Cosmos*; el contenido de FT es mayor para *Tagetes* y los TC para *Cosmos*, en cuanto a las dietas; al incluir *T. lucida* en la dieta control, el contenido de FT se eleva hasta un 20% , mientras la actividad antioxidante aumenta un 55% y la concentración de minerales tienen resultados más altos para el T3 comprado con la dieta control; no se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) en los parámetros de cinética ruminal, dMS, dMO, dFND y EM, lo que indica que se puede hacer uso de arvenses como aditivo, para aumentar la actividad antioxidante y contenido de minerales en la dieta sin comprometer la bienestar y productividad animal.

Palabras clave: taninos; fenoles; digestibilidad; alimentos no convencionales; minerales

#### REFERENCIAS

- [1] H. Makkar, P. Siddhuraju y K. Becker, «Plant secondary metabolites,» de *Methods in molecular biology* 393, Totowa, New Jersey: Human Press, 2007, pp. 75-77.
- [2] K. H. Menke y H. Steingass, «Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analyses and in vitro gas production using rumen fluid,» *Animal Research and Development*, vol. 28, pp. 7-55, 1988.
- [3] M. Theodorou, B. Williams, M. Dhanoa y A. D. McAllan, «A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds,» *Animal Feed Science and Technology*, vol. 48, pp. 185-197, 1994.



La Universidad Autónoma de Guadalajara  
a través del  
Decanato de Diseño, Ciencia y Tecnología

otorga el presente  
*Reconocimiento*

Díaz-Medina L, Estrada-Flores J, Arriaga-Jordán C, y Brunett Pérez L<sup>a</sup>

por la presentación en formato CARTEL del trabajo titulado

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRITIVA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE ESPECIES ARVENSES  
INCLUIDAS COMO ADITIVO EN LA ALIMENTACIÓN DE OVINOS

en el **6° Congreso Internacional de Biología, Química y Agronomía**

**"Ciencia e innovación para la Salud"**, llevado a cabo del 27 al 29 de septiembre.

Zapopan, Jalisco, México, 29 de septiembre de 2017.

MSC. Tomas Omelias Salas  
Director de la Facultad de Ciencias Químicas

MVZ Fernando Gabriel Cinco Castellanos  
Director de la Facultad de Ciencias Biológico Agropecuarias



## 10.2. Resultados experimento 2

**Tabla 2. Composición química de tratamientos (*Tagetes lucida*)**

	<b>DB</b>	<b>Ta10</b>	<b>Ta15</b>	<b>Ta20</b>	<b>EEM</b>	<b>P-value</b>
<b>DIVMS (g/kg)</b>	858.0 <sup>a</sup>	853.0 <sup>a</sup>	838.3 <sup>b</sup>	829.7 <sup>b</sup>	1.56	<0.0001
<b>DIVMO (g/kg)</b>	849.4 <sup>a</sup>	844.4 <sup>ab</sup>	829.7 <sup>bc</sup>	821.1 <sup>c</sup>	2.18	0.001
<b>DIVFND (g/kg)</b>	766.3	629.1	638.8	642.4	17.34	0.040
<b>EM (MJ/kg)</b>	13.3 <sup>a</sup>	13.2 <sup>ab</sup>	13.0 <sup>bc</sup>	12.9 <sup>c</sup>	0.03	0.001
<b>PC (g/kg)</b>	150.5	141.5	164.3	136.3	3.57	0.162
<b>FND (g/kg)</b>	905.8	918.9	899.5	871	7.74	0.302
<b>TC</b>	0.002 <sup>c</sup>	0.005 <sup>b</sup>	0.010 <sup>a</sup>	0.012 <sup>a</sup>	0.0002	0.0001

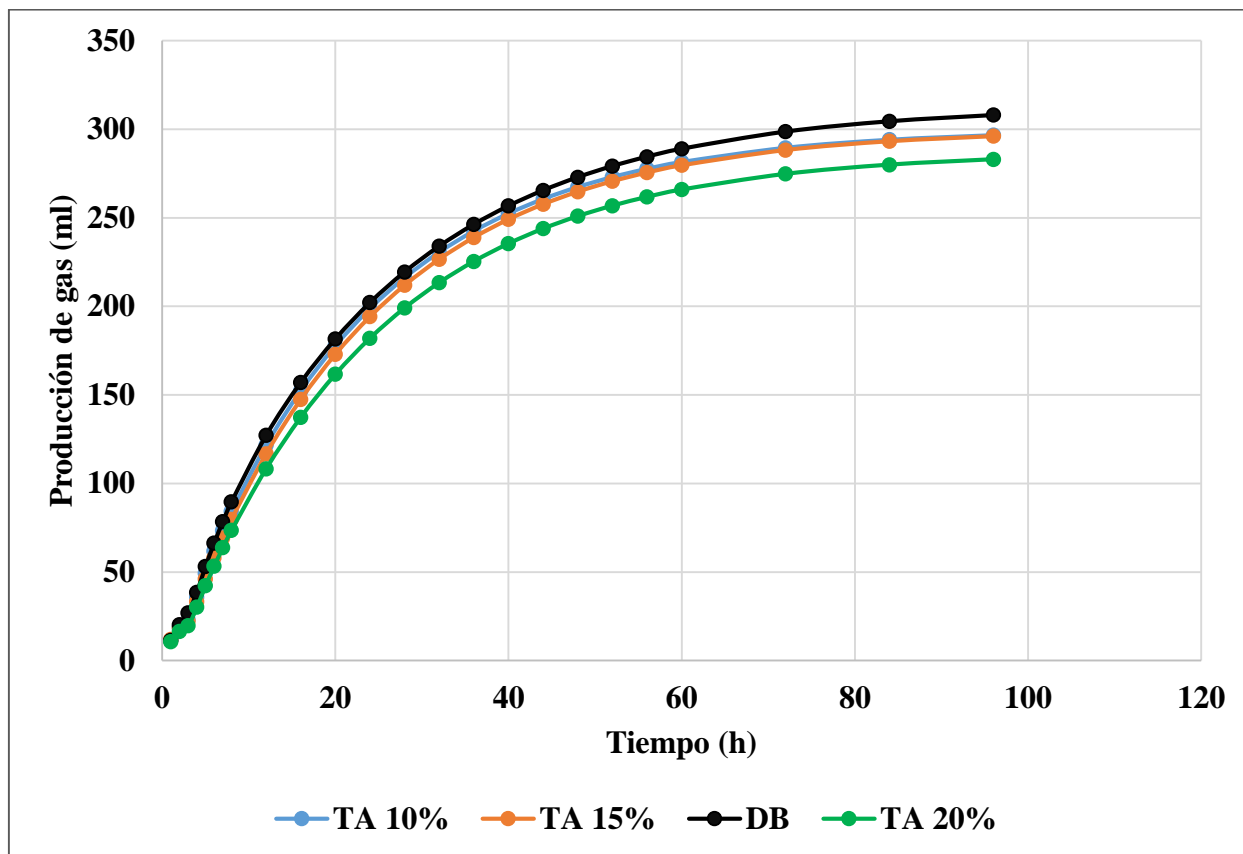
Diferentes letras en una misma fila representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); DB: Dieta base; Ta10: DB + 10% *T. lucida*; Ta15: DB + 15% *T. lucida*; Ta20: DB + 20% *T. lucida*; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIVFND: digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro; EM: energía metabolizable PC: proteína cruda; FND: fibra detergente neutro; TC: Taninos condensados (mg eq. tanic/g MS) y EEM: error estándar de la media.

**Tabla 3. Cinética de fermentación ruminal *in vitro* (*Tagetes lucida*)**

	<b>DB</b>	<b>Ta10</b>	<b>Ta15</b>	<b>Ta20</b>	<b>EEM</b>	<b>P-value</b>
<b><i>a</i></b>	39.9a	28.1ab	21.9b	19.4b	1.75	0.013
<b><i>ca</i></b>	0.40	0.51	0.77	0.81	0.05	0.052
<b><i>b</i></b>	267.4	266.9	275.3	265.1	1.49	0.186
<b><i>cb</i></b>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.001	0.493
<b><i>lag</i></b>	3.4	3.2	2.9	3.0	0.10	0.460

Diferentes letras en una misma fila representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); DB: Dieta base; Ta10: DB + 10% *T. lucida*; Ta15: DB + 15% *T. lucida*; Ta20: DB + 20% *T. lucida*; *a*: producción de gas a las 4 hrs de fermentación (ml gas/g MS); *ca*: tasa de fermentación de la fracción *a*; *b*: producción potencial de gas (ml gas/g MS) a partir de la fracción insoluble pero potencialmente degradable; *cb*: tasa de fermentación de la fracción *b*; *lag*: tiempo en hrs. antes de iniciar la fermentación de la FDN y EEM: error estándar de la media.

**Figura 1. Curva de producción de gas *in vitro* de niveles de inclusión de *Tagetes lucida* en una dieta base para ovinos**



DB: Dieta base; Ta10: DB + 10% *T. lucida*; Ta15: DB + 15% *T. lucida*; Ta20: DB + 20% *T. lucida*

**Tabla 4. Composición química de tratamientos (*Cosmos bipinnatus*)**

	DB	Co10	Co15	Co20	EEM	P-value
<b>DIVMS (g/kg)</b>	858.0a	860.6a	852.9a	841.2b	1.35	0.001
<b>DIVMO (g/kg)</b>	849.4a	849.8a	842.0ab	830.0b	1.81	0.005
<b>DIVFND (g/kg)</b>	766.3a	706.9ab	692.2b	660.1b	7.30	0.001
<b>EM (MJ/kg)</b>	13.3a	13.3a	13.2ab	13.0b	0.03	0.005
<b>PC (g/kg)</b>	150.5	143.4	164.6	158.9	2.00	0.067
<b>FND (g/kg)</b>	905.8	901.1	922.7	892.1	8.99	0.697
<b>TC</b>	0.002c	0.019b	0.038a	0.039a	0.20	0.003

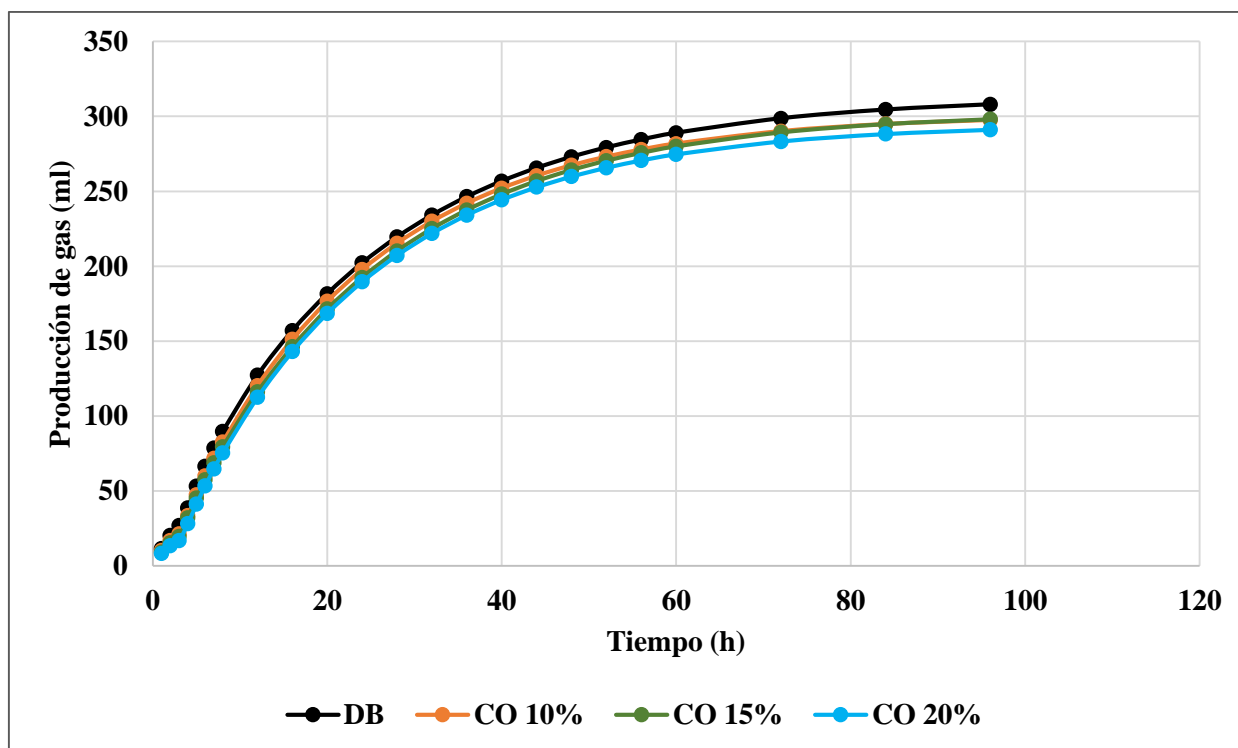
Diferentes letras en una misma fila representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); DB: Dieta base; Co10: DB + 10% *C. bipinnatus*; Co15: DB + 15% *C. bipinnatus*; Co20: DB + 20% *C. bipinnatus*; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIVFND: digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro; EM: energía metabolizable PC: proteína cruda; FND: fibra detergente neutro; TC: Taninos condensados (mg eq. tanic/g MS) y EEM: error estándar de la media.

**Tabla 5. Cinética de fermentación ruminal *in vitro* (*Cosmos bipinnatus*)**

	<b>DB</b>	<b>Co10</b>	<b>Co15</b>	<b>Co20</b>	<b>EEM</b>	<b>P-value</b>
<b>a</b>	39.9	32.9	30.2	28.5	2.34	0.386
<b>ca</b>	0.40	0.39	0.43	0.48	0.02	0.266
<b>b</b>	267.4	264.7	265.8	266.7	1.79	0.956
<b>cb</b>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.001	0.547
<b>lag</b>	3.4	3.3	3.2	3.2	0.02	0.086

Diferentes letras en una misma fila representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); DB: Dieta base; Co10: DB + 10% *C. bipinnatus*; Co15: DB + 15% *C. bipinnatus*; Co20: DB + 20% *C. bipinnatus*; *a*: producción de gas a las 4 hrs de fermentación (ml gas/g MS); *ca*: tasa de fermentación de la fracción *a*; *b*: producción potencial de gas (ml gas/g MS) a partir de la fracción insoluble pero potencialmente degradable; *cb*: tasa de fermentación de la fracción *b*; *lag*: tiempo en hrs. antes de iniciar la fermentación de la FDN y EEM: error estándar de la media.

**Figura 2. Curva de producción de gas *in vitro* de niveles de inclusión de *Cosmos bipinnatus* en una dieta base para ovinos**



DB: Dieta base; Co10: DB + 10% *C. bipinnatus*; Co15: DB + 15% *C. bipinnatus*; Co20: DB + 20% *C. bipinnatus*

**Tabla 6. Composición química de tratamientos (*Tithonia tubiformis*)**

	<b>DB</b>	<b>Ti10</b>	<b>Ti15</b>	<b>Ti20</b>	<b>EEM</b>	<b>p-value</b>
<b>DIVMS (g/kg)</b>	858	851.1	852.6	842.4	2.32	0.165
<b>DIVMO (g/kg)</b>	849.4a	840.3ab	839.6ab	829.4b	2.42	0.070
<b>DIVFND (g/kg)</b>	766.3a	675.6b	687.1b	678.1b	7.12	0.001
<b>EM (MJ/kg)</b>	13.3a	13.2ab	13.2ab	13.1b	0.04	0.069
<b>PC (g/kg)</b>	150.5c	164.3b	171.3b	185.6a	1.19	0.002
<b>FND (g/kg)</b>	905.8a	846.3b	882.3ab	896.1a	3.61	0.016
<b>TC</b>	0.002c	0.002	0.004	0.005	0.001	0.168

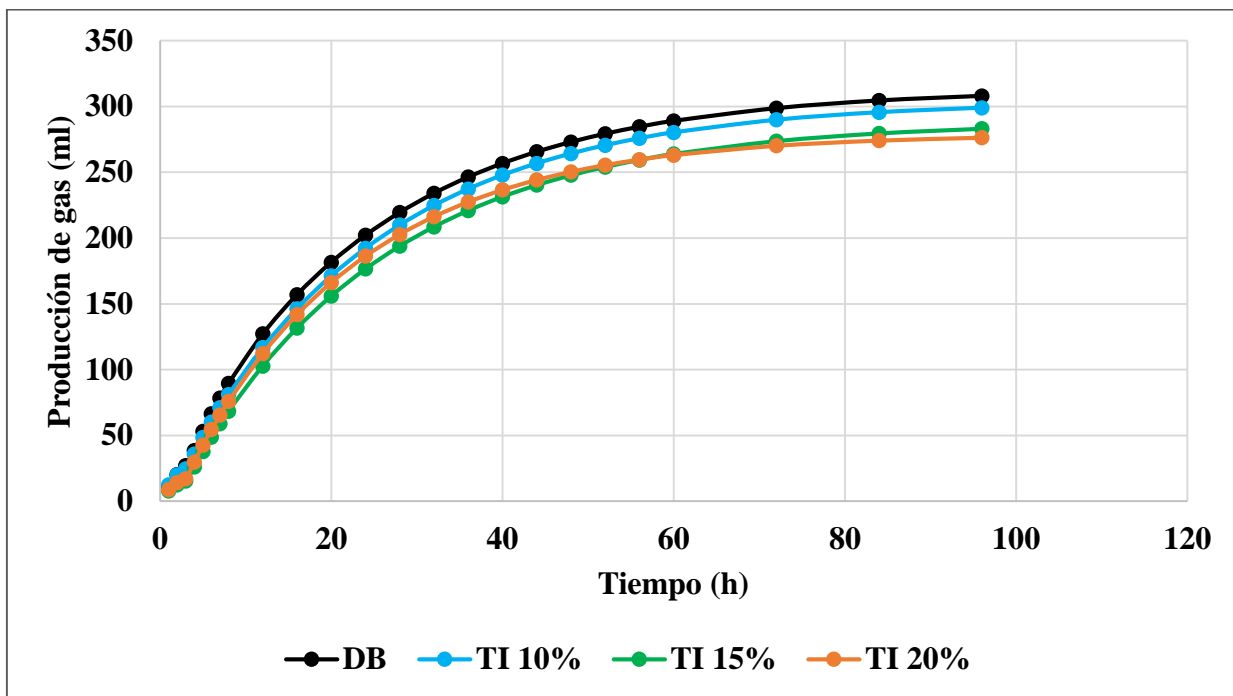
Diferentes letras en una misma fila representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); DB: Dieta base; Ti10: DB + 10% *T. tubiformis*; Ti15: DB + 15% *T. tubiformis*; Ti20: DB + 20% *T. tubiformis*; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIFDN: digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro; EM: energía metabolizable PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; TC: Taninos condensados (mg eq. tanic/g MS) y EEM: error estándar de la media.

**Tabla 7. Cinética de fermentación ruminal *in vitro* (*Tithonia tubiformis*)**

	<b>DB</b>	<b>Ti10</b>	<b>Ti15</b>	<b>Ti20</b>	<b>EEM</b>	<b>P-value</b>
<b>a</b>	39.9a	26.3ab	21.2b	23.0b	1.76	0.027
<b>ca</b>	0.40	0.54	0.52	0.42	0.03	0.175
<b>b</b>	267.4	269.5	263.9	255.4	1.68	0.158
<b>cb</b>	0.05	0.05	0.04	0.05	0.001	0.602
<b>lag</b>	3.4	3.2	3.2	3.2	0.03	0.171

Diferentes letras en una misma fila representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); DB: Dieta base; Ti10: DB + 10% *T. tubiformis*; Ti15: DB + 15% *T. tubiformis*; Ti20: DB + 20% *T. tubiformis*; **a**: producción de gas a las 4 hrs de fermentación (ml gas/g MS); **ca**: tasa de fermentación de la fracción **a**; **b**: producción potencial de gas (ml gas/g MS) a partir de la fracción insoluble pero potencialmente degradable; **cb**: tasa de fermentación de la fracción **b**; **lag**: tiempo en hrs. antes de iniciar la fermentación de la FDN y EEM: error estándar de la media.

Figura 3. Curva de producción de gas *in vitro* de niveles de inclusión de *Tithonia tubiformis* en una dieta base para ovinos



DB: Dieta base; Ti10: DB + 10% *T. tubiformis*; Ti15: DB + 15% *T. tubiformis*; Ti20: DB + 20% *T. tubiformis*