



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“CALIDAD NUTRITIVA DE FORRAJE DE LA ASOCIACIÓN EBO (*Vicia sativa*) - TRITICALE (*X Triticosecale Wittmack*) PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE A PEQUEÑA ESCALA EN EL NOROESTE DEL ESTADO DE MÉXICO.”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

P R E S E N T A:

CLOE DAFNE ÁLVAREZ GARCÍA

ASESORES:

DR. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

DR. FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ

Toluca, México Mayo de 2018



AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México por la oportunidad que me brindó para ocupar un espacio y realizar mis estudios de licenciatura.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales por haberme permitido el uso de sus instalaciones, y formar parte de su equipo de investigación.

A mis asesores: Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán y al Dr. Felipe López González, por su tiempo y consejos para la realización del presente trabajo.

A mis revisores: Dr. Ernesto Morales Almaraz y al Dr. José Luis Bórquez Gastelúm por las observaciones y correcciones para que este trabajo se lograra de la mejor manera.

A las laboratoristas Laura Edith Martínez Contreras y María de Lourdes Maya Salazar por su apoyo para realizar las actividades necesarias en el laboratorio.

DEDICATORIAS

A mis padres: Juan José Álvarez Avilés y Ofelia García Cardoso, por su apoyo en todo momento, brindarme la oportunidad de recibir educación, por todo su tiempo que han invertido en mí así como sus consejos para que yo sea una mejor persona.

A mis hermanas Cloe Atena Álvarez García y Cloe Ariadne Álvarez García, ya que han sido muy importantes durante mi carrera profesional, ya que siempre han estado ahí para apoyarme así como por todo el tiempo compartido y los buenos momentos que hemos tenido.

A mis compañeros del ICAR, que formamos parte del Equipo de Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala, por el apoyo que me ofrecieron y me brindaron, ya que también fueron una parte fundamental para que yo pudiera desarrollar y culminar este trabajo.

A mis amigos que me han acompañado durante mi proceso de formación.

A los profesores que han sido parte de mi formación académica.

RESUMEN

La producción de leche se realiza mediante tres sistemas de producción; especializado, doble propósito y pequeña escala, estos últimos aportan el 35 % de la producción nacional de leche.

Debido a la crisis de la industria lechera de México se ha generado la necesidad de buscar nuevas alternativas para aumentar la disponibilidad del producto, para lograrlo una alternativa son los sistemas de producción de leche en pequeña escala, porque a pesar de tener bajos niveles de producción, son un sistema de producción adaptado a las condiciones tanto ambientales como económicas, sin embargo, la variabilidad de la dieta es una de las limitaciones más importantes.

En el presente trabajo, se realizó la caracterización de la composición química de ocho muestras de ebo (*Vicia sativa*) asociado con triticale (*X Triticosecale Wittmack*) como forraje no conservado y henificado, proveniente de la región noroeste del Estado de México, el trabajo de laboratorio se realizó en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales de la Universidad Autónoma del Estado de México con el propósito de evaluar el contenido químico de este alimento y poder adaptarlo a los SPLPE, ésta valoración incluye: determinación de proteína cruda, fibras (FDN y FDA), energía metabolizable, así como digestibilidad del mismo utilizando la metodología AOAC (1990) y Ankom Technology (2005).

El resultado de materia seca si presentó diferencias significativas ($P < 0.05$), en cuanto a proteína cruda, FDN, FDA, MO y DEMO fueron similares entre tratamientos ($P > 0.05$).

En cuanto a la producción de gas en los parámetros b, c y fase lag, así como los valores de DIVMO, DIVMS y DIVFDN fueron similares.

Se concluye que no existen diferencias en proteína cruda, MO, FDN, FDA y la digestibilidad *in vitro* de la asociación de forrajes tanto henificado como no henificado.

Palabras clave: ebo (*Vicia Sativa*), triticales (*X Triticosecale Wittmack*), forraje conservado, composición química, digestibilidad.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS _____	ii
DEDICATORIAS _____	iii
RESUMEN _____	iv
I. INTRODUCCIÓN _____	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA _____	2
2.1 Sistemas de producción de leche _____	2
2.1.1 Sistema especializado intensivo en gran escala _____	2
2.1.2 Sistemas de doble propósito _____	3
2.1.3 Sistemas de producción de leche en pequeña escala _____	3
2.1.3.1 Panorama de los sistemas de producción de leche a pequeña escala _____	4
2.2 Posibles efectos de cambio climático _____	5
2.3 Alimentación del ganado lechero _____	7
2.4 Triticale (<i>X Triticosecale Wittmack</i>) _____	7
2.5 Ebo (<i>Vicia sativa</i>) _____	7
2.6 Asociación Ebo (<i>Vicia sativa</i>) - Triticale (<i>X Triticosecale Wittmack</i>) _____	8
2.7 Producción de gas <i>in vitro</i> _____	9
2.7.1 Crecimiento microbiano _____	10
2.7.2 Empleo de la técnica de producción de gas _____	11
2.7.2.1 Predicción de la digestibilidad _____	11
2.7.2.2 Estudio de elementos del alimento _____	11
2.7.2.3 Calidad del alimento _____	12
2.7.2.4 Asociaciones de alimentos _____	12
III. JUSTIFICACIÓN _____	13
IV. HIPÓTESIS _____	14
V. OBJETIVOS _____	15
5.1 Objetivo general _____	15
5.2 Objetivos específicos _____	15

VI. MATERIAL	16
6.1 Material biológico	16
6.2 Material de laboratorio	17
VII. MÉTODO	18
7.1 Materia seca	18
7.2 Proteína cruda	18
7.3. Determinación de fibra	18
7.4 Digestibilidad enzimática	19
7.5. Energía Metabolizable	19
7.6. Determinación de cenizas	20
7.7 Producción de gas <i>in vitro</i>	20
7.8 Análisis Estadístico	21
VIII. LÍMITE DE ESPACIO	22
IX. LÍMITE DE TIEMPO	23
X. RESULTADOS	24
10.1 Composición química de los forrajes analizados	24
10.2 Digestibilidad enzimática de la materia orgánica y energía metabolizable	25
10.3 Producción de gas <i>in vitro</i>	25
XI. DISCUSIÓN	27
11.1 Composición química	27
11.1.2 Materia seca	27
11.1.2 Materia orgánica	28
11.1.3 Proteína	28
11.1.4 Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido	29
11.1.5 Digestibilidad enzimática de la materia orgánica	30
11.1.6 Cenizas	30
11.1.7 Energía metabolizable	30
11.2 Producción de gas <i>in vitro</i>	31
11.2.1. Fracción b	31

11.2.2. Tasa de fermentación o degradación (c)	32
11.2.3. Fase lag	33
11.2.4. Digestibilidad <i>in vitro</i>	33
11.2.4.1 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	33
11.2.4.2 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica	34
11.2.4.3 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la fibra detergente neutro	34
XII. CONCLUSIONES	36
X. LITERATURA CITADA	37

I. INTRODUCCIÓN

La mezcla de una gramínea y una leguminosa tienen potencial productivo y mejor calidad nutritiva ya que son una fuente con mayores niveles de proteína y energía, rica en calcio, fibra, y presentan elevada palatabilidad. Las gramíneas son fuente de energía y proporcionan fibra, las leguminosas proporcionan proteína y mayor digestibilidad por su bajo contenido de fibra, características importantes principalmente en la dieta de vacas lecheras (Hernández, 2007).

Ante los difíciles escenarios económicos que enfrenta la producción de leche, se requieren estrategias de alimentación que utilicen eficientemente los recursos forrajeros propios para lograr mayor rentabilidad de las unidades de producción lechera. Debido a lo anterior, se debe considerar que la investigación sobre forrajes se dirija hacia nuevas formas de producción, que permitan su uso eficiente y adaptado a las condiciones económicas, políticas y de mínimo impacto ambiental; con el objetivo de producir alimentos de calidad para la sociedad, que sean seguros y accesibles, lo cual implica el uso de cultivos con menor demanda de agua, más eficientes en energía y que no degraden la microbiota del suelo (Cifre *et al.*, 2015).

El uso de mezclas de especies para la producción de forraje tiene importancia debido a que hay mayor aprovechamiento del forraje, y que existe un mayor aporte de nutrientes por parte de los animales. Otro beneficio de importancia es disminuir el desbalance nutricional en el suelo debido a la fijación de nitrógeno al suelo por parte de las leguminosas (Hernández, 2007).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas de producción de leche

Los sistemas de producción de leche se clasifican según el uso de tecnologías. Se tiene el sistema especializado, doble propósito y de pequeña escala. El primero aporta el 50.6 % de la producción total de leche, que proviene de razas Holstein, Pardo-Suizo y Jersey, la alimentación se basa en alimento concentrado y forraje de corte. El sistema de doble propósito con el 18.3 %, en éste el ganado sirve para producción tanto de leche como de carne. El sistema de producción a pequeña escala aporta el 9.8 % de la producción de leche, el cual se limita a pequeñas extensiones de terreno, las cuales se encuentran cerca de la vivienda y la alimentación del ganado se basa en pastoreo o uso de forrajes provenientes de la misma unidad de producción (Rebollar *et al.*, 2016).

2.1.1 Sistema especializado intensivo en gran escala

Este sistema de producción de leche se sitúa principalmente en las regiones del norte y centro del país, se caracteriza por la completa estabulación del ganado, mecanización en cuanto a la producción de sus forrajes y ordeña, su alimentación se basa en forraje de corte y alimentos balanceados, de igual forma presentan una integración en la comercialización (Celis, 2014).

La lechería intensiva se caracteriza por concentrar las unidades de producción grandes y altamente especializadas en la alimentación de los animales, en las cuales se hace uso de grandes cantidades de concentrados, lo cual provoca que se incremente el costo de producción, y se obtenga una elevada producción de leche (Sainz, 2016).

2.1.2 Sistemas de doble propósito

Se caracterizan por la producción de leche y carne y las condiciones en éste tipo de sistema son rústicos, y la producción es baja, se puede encontrar en zonas de clima árido o semiárido y solo hay producción de forraje en la época de lluvias, y producen el 18.3% de la leche que se produce (Pérez-Arellano *et al.*, 2015).

El pastoreo extensivo de pastos nativos y especies introducidas, es la base de la alimentación y la producción de leche aproximadamente es de 5 litros por vaca al día, con baja tecnificación, de ordeña manual y la distribución del producto es local o al propio consumidor (Munguía, 2015).

Estos sistemas se desarrollan en el trópico seco y húmedo y producen el 18% de leche a nivel nacional, y tienen una producción de carne del 39% que es consumida, las razas para este fin son Brahman, Guzerat, Gyr o cruza con razas Holstein, Pardo Suizo. Ésta actividad hace uso de pocos recursos económicos en cuanto a producción debido a que los recursos son utilizados de manera adecuada, y no utilizan mano de obra externa, porque los mismos integrantes de la familia son los que se encargan de realizar el manejo (García-Martínez *et al.*, 2015).

2.1.3 Sistemas de producción de leche en pequeña escala

La diversidad es un aspecto de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, están relacionados con el territorio y las costumbres de las personas, rodeados por diferentes condiciones en la producción, dependiendo las situaciones de la región (Pérez-Arellano *et al.*, 2015), y varían desde pequeñas unidades de producción especializadas, de forma que más del 78% de las unidades especializadas en producción de leche tienen hatos de 30 o menos vacas lecheras (INEGI, 2010), hasta sistemas mixtos familiares que integran la producción de leche como un complemento a otras actividades (la denominada lechería familiar que

aporta alrededor del 10% de la producción nacional) de forma que estos sistemas aportan en torno al 35% de la oferta de leche en México (Hemme *et al.*, 2007).

Los Sistemas de producción de leche en pequeña escala son sistemas adaptables a las diferentes circunstancias que se presenten ya sea medioambientales o económicas, así como el uso de diferentes insumos, como en el caso de la zona del noroeste del Estado de México, que es una zona con este sistema de producción, lo que los hace importantes a nivel estatal y con una gran oportunidad de crecimiento (Próspero *et al.*, 2012).

Las condiciones del clima en éstos sistemas es muy variado, ya que a una corta distancia se puede encontrar un clima diferente, por lo tanto también el sistema de manejo cambia, lo anterior debido a que hay una variedad de zonas agroecológicas (Próspero *et al.*, 2015).

2.1.3.1 Panorama de los sistemas de producción de leche a pequeña escala

Está previsto que la demanda de leche para 2025 crecerá en 25% en los países en desarrollo debido al crecimiento demográfico y porque los mejores ingresos de la población son utilizados para adquirir productos alimenticios de mayor valor como los de origen animal (FAO, 2008).

Debido a la crisis de la industria lechera de México se ha generado la necesidad de buscar nuevas alternativas para hacer más disponible el producto, para lograrlo una alternativa son los sistemas de producción de leche en pequeña escala, porque a pesar de tener bajos niveles de producción, son un sistema de producción adaptado a las condiciones tanto ambientales como económicas, sin embargo, la variabilidad de la dieta es una de las limitaciones más importantes (Salas *et al.*, 2003).

Del 45% de valor total de la producción agropecuaria, la producción de leche es uno de los tres sistemas producto con mayor aporte económico. Debido a lo anterior se

considera un sistema prioritario en México por la importancia como un sector proveedor de alimentos y empleo, y es señalado como el tercer producto alimenticio más consumido. Se ha mencionado la importancia de la lechería en pequeña escala hacia el aporte económico y social, además que también permite frenar la migración en las zonas rurales (Domínguez *et al.*, 2014).

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) brindan una opción para mejorar la vida rural y disminuir la pobreza. En México alrededor del 78% de las granjas especializadas en producción de leche son en pequeña escala con hatos de entre 3 y 35 vacas (Salgado *et al.*, 2015).

El 37% de la producción nacional de leche es producida por estos sistemas de producción a pequeña escala, las familias que poseen los hatos, son quienes producen los alimentos para las vacas, y en época de lluvias la producción es mayor porque hay crecimiento de forrajes verdes. Los productores son vulnerables en época de sequía donde no hay producción de suficiente forraje, y deben adquirir en ésta época insumos que elevan los costos de producción (Próspero *et al.*, 2012).

La producción de leche en estos sistemas está asociada con la cantidad de terreno, así como de la disposición de tecnología (Martínez-García *et al.*, 2012).

2.2 Posibles efectos de cambio climático

Otro punto importante a considerar es la influencia del cambio climático que puede afectar directamente la producción de forraje para el ganado lechero ante la posibilidad de que se modifiquen los patrones de lluvia con lluvias erráticas, lo que resultará en una menor captación de agua para riego, o cultivos de temporal sin la cantidad y durante el tiempo suficiente para el crecimiento de las plantas. Aunado a esto, se vislumbra un aumento de la temperatura que afectará directamente sobre las plantas y su crecimiento.

Una consecuencia importante es que habrá menos cantidad de agua disponible para los cultivos, y por ello se considera importante evaluar forrajes que se puedan adaptar a estas condiciones, los cuales son los cereales de grano pequeño que necesitan menor cantidad de agua para su desarrollo (González, 2016), por tener un ciclo de crecimiento más corto que cultivos como el maíz.

El cambio climático puede tener cambios observables en el clima y afectar los valores promedio, en parámetros como la temperatura ambiente, la precipitación pluvial y su intensidad. Se predice un calentamiento del mundo de cerca de 1.8- 5.8 °C entre 1990 y 2100 (Díaz, 2012).

La principal causa del cambio climático es la generación de gases efecto invernadero (GEI) por las actividades humanas. Aproximadamente el 18% de los gases de efecto invernadero provienen de la ganadería, y el 4% de las emisiones se originan en la lechería, de los cuales, el 50% de éstos son emitidos por los sistemas de producción de leche a pequeña escala (Próspero *et al.*, 2015). El desarrollo de diversas estrategias para la alimentación del ganado en los SPLPE con el uso racional de concentrados y uso de forrajes de buena calidad se puede considerar como una alternativa para reducir las emisiones de GEI (Munguía, 2015).

La producción agrícola se verá afectada, dependiendo el tipo de cultivo, las zonas afectadas y el sistema que se utilice en la práctica agrícola; como fue el caso del año 2012 en el cual hubo pérdidas en la producción de cereales y oleaginosas, debido a las sequías e inundaciones que se presentaron en el continente americano.

Se prevé que en México el forraje para el ganado eleve su costo. El panorama actual sobre el cambio climático da inicio al desarrollo de propuestas tecnológicas como la evaluación de especies forrajeras alternativas a las tradicionalmente utilizadas (Munguía, 2015).

2.3 Alimentación del ganado lechero

El costo de alimentación del ganado lechero representa el 70% de los costos de producción; por lo tanto la rentabilidad de las unidades de producción lechera depende en gran medida de la relación entre los costos de los insumos para la alimentación de ganado (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

La alimentación brindada a los animales debe ser suficiente en cantidad y calidad que satisfaga los requerimientos nutricionales del ganado (Sainz, 2016).

2.4 Triticale (X *Triticosecale* Wittmack)

El triticale es una gramínea obtenida del cruzamiento de trigo con centeno, con una elevada tolerancia a condiciones ambientales adversas, lo que permite obtener en condiciones desfavorables una adecuada producción de forraje. Al ser resistente a las heladas, es factible su producción en meses con temperaturas más bajas como son los meses de diciembre a febrero y con una elevada tolerancia a la poca disponibilidad de agua y nutrientes (Bejar *et al.*, 2004).

La finalidad de ésta cruza es combinar la calidad nutritiva del trigo debido a su nivel de proteína y aminoácidos, y en cuanto al centeno este es resistente a la sequía, a las bajas temperaturas y algunas limitantes del suelo (González, 2016).

El triticale puede ser utilizado como monocultivo o en combinación con otros cultivos para una mayor producción de forraje, por un mayor rendimiento de materia seca y con una menor pérdida de calidad que presenta al aumentar las etapas fenológicas del triticale (González, 2016).

2.5 Ebo (*Vicia sativa*)

El ebo o veza común es una planta leguminosa anual o bianual que alcanza una talla entre 20 y 80 cm, trepadora a través de sus zarcillos foliares, su raíz es

profunda con nódulos en los que habitan las bacterias simbióticas del género *Rhizobium* que fijan el nitrógeno atmosférico (Hernández, 2007).

Varias especies del género *Vicia* tienen un comportamiento anual, aunque también pueden ser bianuales o perennes. Por ejemplo, la veza velluda (*Vicia villosa*) puede ser anual o bianual. La veza velluda o veza de invierno tiene resistencia al frío y es tolerante a los suelos ácidos, pero es recomendable sembrarla mezclada con algún cereal de grano pequeño ya que es una planta rastrera con formación de guías (Espinosa, 2008).

Los cultivos de leguminosas forrajeras tienen un mayor contenido de proteína que los cereales pero son deficientes en energía. La mezcla de cereales y leguminosas puede mejorar el rendimiento y calidad del forraje, lo que permite disminuir costos de producción y aumenta la producción del ganado. La proteína contenida en las hojas de las leguminosas es el doble a la contenida en los tallos, aunque va a depender de la edad de la planta. Cuando están en pleno crecimiento la calidad es mayor ya que contienen mayor cantidad de proteína, más grasa, mayor contenido de caroteno y el contenido de celulosa es menor (Hernández, 2007).

2.6 Asociación Ebo (*Vicia sativa*) - Triticale (*X Triticosecale Wittmack*)

La asociación de una gramínea con una leguminosa alarga el periodo de producción y tienen mayor rendimiento de forraje, mejor calidad nutritiva debido a una mayor digestibilidad y contenido de proteína. Así mismo, su calidad nutritiva se ve relacionada con el estado de crecimiento o rebrote, del tipo de fertilizante utilizado y temporada en la que se fertiliza. Se aplica menos nitrógeno en las asociaciones con leguminosas debido a la fijación de nitrógeno atmosférico que existe por las bacterias del género *Rhizobium* en simbiosis con las leguminosas. Esta asociación permite aumentar el rendimiento de grano, mejorar la calidad de la dieta del ganado

cuando se utiliza como forraje, y aumentar la fertilidad del suelo por la fijación de nitrógeno (Hernández, 2007).

2.7 Producción de gas *in vitro*

La digestibilidad de los alimentos puede ser estimada mediante métodos biológicos conocidos como técnicas *in vitro* que son realizados fuera del animal, pero simula el proceso de digestión. Generalmente las técnicas *in vitro* están basadas en la medición de residuos o productos de la fermentación. La medición de los residuos no fermentados que quedan posterior a la incubación *in vitro* de un alimento con líquido ruminal (Getachew *et al.*, 2004).

La técnica de producción de gas es un método *in vitro* que ayuda a determinar la extensión y la cinética de degradación del alimento a través del volumen de gas producido durante el proceso fermentativo. Una de las ventajas de este procedimiento es que el curso de la fermentación y los componentes solubles del sustrato puede ser cuantificado. El gas es producido principalmente cuando el sustrato es fermentado hasta acetato y butirato. La fermentación del sustrato hasta propionato produce gas solamente desde la neutralización del ácido; por consiguiente, una menor producción de gas es asociada con la fermentación propiónica (Posada *et al.*, 2005).

Las técnicas *in vitro* en la evaluación de alimentos para rumiantes ha ganado mayor aceptación debido a su fácil adopción, repetitividad, se minimiza el uso de animales y se disminuye la evaluación *in vivo* de alimentos. A pesar de que éstas técnicas son más rápidas y precisas, requieren menos sustrato que los procedimientos *in situ*, aún requieren un inóculo para crear el ambiente fermentativo (Aderinboye *et al.*, 2016).

La composición nutricional de los alimentos es determinada principalmente por análisis químicos. Sin embargo, esto no brinda información suficiente para

determinar el valor nutritivo real de los alimentos. La eficiencia por la cual un animal utiliza los nutrientes del alimento tiene un impacto significativo en su productividad, rendimiento y producción de residuos. La técnica de producción de gas ayuda a cuantificar mejor el uso de nutrientes y su precisión en la descripción de la digestibilidad en animales. Se aplica ésta técnica para predecir la productividad del animal a un bajo costo. Basado en la fuerte relación entre la medición de la digestibilidad y la producción de gas, han sido desarrolladas ecuaciones de regresión para estandarizar el método (Getachew *et al.*, 2004).

La fermentación anaeróbica es un proceso que utiliza un grupo de microorganismos anaeróbicos para la estabilización de residuos y generación de biogás. La eficiencia de la estabilización de residuos en el proceso está medido por la demanda de oxígeno o la reducción de los sólidos volátiles.

Entre otros parámetros como temperatura, pH, etc, ésta eficiencia depende de la tasa en la cual el microorganismo es generado en el sistema que a su vez depende de la velocidad en la que se utiliza el sustrato (Amagu, 2015).

2.7.1 Crecimiento microbiano

Cuando un pequeño número de bacterias viables son colocadas en un sistema cerrado que contiene un exceso en el suministro de nutrientes y mantiene una condición ambiental adecuada, se da un crecimiento bacteriano. El tiempo de generación puede variar desde hasta 80 días a menos de 20 minutos dependiendo de la especie. El aumento en la masa celular y la población bacteriana continuará hasta que se agoten los nutrientes (Amagu, 2015).

2.7.2 Empleo de la técnica de producción de gas

2.7.2.1 Predicción de la digestibilidad

La producción de gas está relacionada con la desaparición de la FDN y la relación entre ambos conceptos es lineal. También se ha encontrado una alta correlación entre la producción de gas *in vitro* y la disponibilidad del almidón en los granos de cereales.

La producción de gas desde la FDN se correlaciona con el consumo voluntario, de los valores obtenidos desde la incubación del forraje entero porque el consumo de pared celular genera distensión ruminal (Posada *et al.*, 2005).

2.7.2.2 Estudio de elementos del alimento

La técnica de producción de gas se puede también usar para determinar la importancia de las diversas fracciones alimenticias como monosacáridos, pectinas, almidón, celulosa y hemicelulosa, para proveer energía a los microorganismos y para determinar que componentes inhiben la actividad microbiana.

La diferencia entre los valores estimados de fermentabilidad de los forrajes empleando técnicas *in situ* e *in vitro* se presenta por la más baja fermentación de la fibra en el sistema *in vitro*. Algunas razones pueden ser debido al hecho que algunas plantas tienen factores antinutricionales que son liberados durante la fermentación y se acumulan en el medio de incubación alcanzando niveles inhibitorios para los microorganismos (Posada *et al.*, 2005).

2.7.2.3 Calidad del alimento

Ésta técnica permite encontrar diferencias entre los sustratos las cuales son generadas por su madurez, condiciones de crecimiento, especie y métodos de preservación (Posada *et al.*, 2005).

2.7.2.4 Asociaciones de alimentos

Se ha observado una interacción positiva en la producción de gas en las etapas tempranas de la incubación. La producción de gas ofrece un medio para investigar las interacciones de las fracciones solubles e insolubles durante la fermentación (Posada *et al.*, 2005).

III. JUSTIFICACIÓN

El evaluar la calidad nutritiva de los insumos utilizados en la alimentación del ganado permite el balanceo correcto de la ración, que cumpla con los requerimientos nutricionales de los animales, lo que se verá reflejado en la producción.

Por un lado el uso de leguminosas aporta proteína y proporcionan mayor digestibilidad, por otro las gramíneas aportan la energía en la dieta del ganado y su asociación traería consigo el aporte de ambos nutrientes.

La asociación de gramíneas y leguminosas es aún de mayor interés ya que su interacción permite aumentar la producción de forraje, presenta mayor calidad nutritiva del forraje, y disminuye el deterioro y desbalance nutricional del suelo, ya que permite la fijación del nitrógeno atmosférico por parte de las leguminosas al suelo y la demanda de nutrientes se ve compensada con la interacción de ambas.

Ante el cambio climático, es necesario evaluar alternativas de alimentación como el uso de forrajes de cereales de grano pequeño con baja demanda de agua para su crecimiento y con una calidad suficiente para satisfacer los requerimientos del ganado en sistemas de producción de leche en pequeña escala.

La asociación de ebo como leguminosa forrajera con triticales, un cereal de grano pequeño resistente a condiciones agroecológicas adversas, cumple estas condiciones, pero se hace necesaria su caracterización nutricional para poder considerar su inclusión en estrategias de alimentación del ganado que puedan disminuir los costos de producción, al proporcionar un forraje que cumpla con los requerimientos de nutrientes.

IV. HIPÓTESIS

El conocimiento de la calidad nutritiva de la asociación de ebo (*Vicia sativa*)-triticales (*X Triticosecale Wittmack*) permite valorar su inclusión en la alimentación del ganado en los sistemas de producción de leche en pequeña escala.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar la composición química y digestibilidad *in vitro* de la asociación de ebo y triticale para su posible inclusión como una alternativa en la alimentación del ganado en SPLPE del noroeste del Estado de México.

5.2 Objetivos específicos

Analizar la composición química de la asociación de ebo con triticale en términos de Materia Seca (MS), Materia Orgánica (MO), Cenizas, Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Ácido (FDA).

Estimar la digestibilidad *in vitro* de muestras de forraje en asociación de ebo (*Vicia sativa*) – triticale (*X Triticosecale Wittmack*) mediante el método de digestibilidad enzimática y la técnica de producción de gas.

VI. MATERIAL

6.1 Material biológico

Se utilizó triticale (*X Triticosecale Wittmack*) variedad Bicentenario asociado con ebo (*Vicia sativa*), recolectados de una parcela con una dosis de siembra de 120:40 kg/ha con una proporción de 3:1 respectivamente; éstos forrajes se sembraron el 1 de julio de 2016 en el municipio de Aculco, ubicado al Noroeste del Estado de México, México. La parcela fue fertilizada al momento de la siembra con 60 kg de urea y 40kg de 18-46. Se cosechó el día 30 de septiembre a los 69 días postsiembra en un estado fenológico de 80% embuche y 20% espigado, con una altura de 30 a 40 cm, la toma de muestras se realizó al azar, para lo cual se utilizaron 6 cuadrantes de 0.16m² cada una, posterior a la cosecha se procedió a henificar la mitad del forraje recolectado durante 5 días exponiendo el forraje al sol para extraer la humedad.

Se realizó la mezcla de triticale-ebo en una proporción de 75-25% respectivamente, tanto henificado como no henificado para obtener dos tratamientos: 1) H; 2) NH; los análisis bromatológicos se llevaron a cabo a partir de estas muestras.

Se analizaron 8 muestras de las cuales 4 muestras corresponden al tratamiento henificado (H) y 4 muestras al tratamiento no henificado (NH) de forraje de ebo-triticale, para cada muestra se realizaron cuatro repeticiones.

Para la técnica de producción de gas se utilizó líquido ruminal, el cual se obtuvo a las 6 am de un bovino hembra nulípara con genotipo holstein por suizo americano provisto de cánula con un peso de 450kg, que consumió una dieta a base de pacas de pasto estrella y alimento concentrado en una proporción de 60:40% respectivamente.

6.2 Material de laboratorio

Las muestras recolectadas se procesaron en el laboratorio de análisis de alimentos y forrajes del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Se utilizó el material y los reactivos necesarios para realizar el análisis de la composición química y la determinación de la digestibilidad mediante el método enzimático, así como mediante la técnica de producción de gas de las muestras de forraje de acuerdo a los procedimientos establecidos, así como el uso de los equipos de laboratorio correspondientes.

VII. MÉTODO

En una proporción de 75-25% se realizó una mezcla de triticale-ebo respectivamente, para obtener dos tratamientos: 1) H; 2) NH; 4 muestras corresponden a cada tratamiento con 4 repeticiones por cada muestra; los análisis bromatológicos se llevaron a cabo a partir de estas muestras.

7.1 Materia seca

La materia seca es la parte que queda de un forraje después de la extracción de la humedad. Se determinará a través de un calentamiento realizado mediante el uso de estufas de circulación forzada a 65°C durante 48 horas (AOAC, 1990).

7.2 Proteína cruda

Dado que el elemento característico de las proteínas es el nitrógeno, los métodos de cuantificación de proteína se basan esencialmente en la determinación del contenido de nitrógeno de la muestra.

El método más usado para la determinación del nitrógeno orgánico es el método Kjeldahl y se basa en una valoración ácido-base.

La determinación del nitrógeno incluye la descomposición total de los compuestos orgánicos mediante una digestión con ácido sulfúrico concentrado y catalizadores para formar sulfato de amonio, el cual posteriormente desprende el amoniaco con la adición del hidróxido de sodio; el amoniaco se recibe en ácido bórico y se titula con la valoración de HCl 0.1N.

7.3. Determinación de fibra

Las fracciones de fibra se determinan de acuerdo al método descrito por método de Ankom Technology; basado el método desarrollado por Van Soest *et al.* (1991) el cual ofrece un cálculo preciso del total de fibra detergente neutra (FDN) compuesta

por celulosa, hemicelulosa y lignina y de fibra detergente acida (FDA) compuesta por hemicelulosa y celulosa.

De acuerdo a lo anterior se utilizará un Analizador de Fibra Ankom 2000, diseñado para determinar con precisión y eficientemente la FDN, FDA y Fibra Cruda (FC) de muestras de alimentos.

7.4 Digestibilidad enzimática

Un alimento puede ser definido como cualquier componente de la ración que provee nutrientes al organismo. Por lo tanto, la digestibilidad hace mención a la cantidad de nutrientes que el organismo utiliza para satisfacer sus necesidades, y que no son excretados. Las técnicas de digestibilidad *in vitro* son herramientas muy útiles para conocer la cantidad que el animal aprovecha de cada alimento, a continuación se describen las técnicas *in vitro* que serán comparadas, para conocer si existen diferencias entre ambas.

El principio consiste en establecer condiciones de incubación semejantes a las condiciones *in vivo*, utilizando los 4 frascos con una mezcla líquida, pero con ciertas diferencias como realizar antes de la incubación el proceso de FND de las muestras, para después procesarlas con las enzimas Onozuka R10, la cual contiene 1.0 U/mg de celulasa, 0.4 U/mg de pectinasa, 0.6 U/mg de α -amilasa y 0.01 U/mg de proteasas; con esta técnica se realizará un experimento similar al realizado por Riveros y Argamentaría (1987).

7.5. Energía Metabolizable

Se utilizará la Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica de los alimentos (DIVMO), para estimar la EM, a partir de la técnica propuesta por AFRC (1993).

El contenido de la energía metabolizable (EM) se estimó multiplicando la digestibilidad de la materia orgánica x 0.0157.

De la calidad de un forraje va a depender la energía metabolizable que brindará el mismo. Mayor energía metabolizable aportará un forraje con mayor calidad.

7.6. Determinación de cenizas

Esta determinación se basa en someter la muestra a combustión. La materia orgánica se oxida, y el residuo que contiene el material mineral se llama cenizas.

Los compuestos inorgánicos o minerales son otros elementos químicos que componen los alimentos, cuando se coloca una muestra de ellos en un horno y se mantiene la temperatura a 550°C durante 3 horas, la materia orgánica se quema, obteniendo así solo la parte mineral denominada ceniza (Wattiaux, 2002).

7.7 Producción de gas *in vitro*

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 de la muestra y por lo tanto con el valor energético de la muestra del alimento (Menke *et al.*, 1979; Menke y Steingass, 1988; Blümel y Orskov, 1993; Khazaal *et al.*, 1993; Krishnamoorthy *et al.*, 1995).

Gas generado como producto de la fermentación está formado de CO₂ y CH₄ así considerados como productos de desecho y de ácidos grasos volátiles (acetato, propionato y butírico).

La tasa y la producción de gas pueden relacionarse con la tasa de degradación del sustrato FDN.

7.8 Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, en el cual se evaluaron dos tratamientos: 1) H; 2) NH con cuatro repeticiones por tratamiento.

Los resultados de los análisis bromatológicos de digestibilidad y producción de gas se analizaron con Minitab (Minitab, 2000).

Los parámetros de producción de gas se estimaron usando el programa Grafit V3 (Grafit, 1992).

El modelo estadístico es:

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

Dónde:

μ = Media general

Y_{ij} = Variable respuesta

t_i = Tratamiento

e_{ij} = Error residual

VIII. LÍMITE DE ESPACIO

Las muestras fueron recolectadas en una unidad de producción de leche a pequeña escala (SPLPE) localizada en la comunidad El Tepozán en el municipio de Aculco, ubicado al noroeste del Estado de México, México con la cabecera municipal ubicada en las coordenadas 20° 06' de latitud norte y 99° 50' de longitud oeste, la altitud de la cabecera del municipio alcanza 2,440 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2009), con clima subhúmedo, con temperatura media máxima de 24°C y una media mínima de 8°C con precipitación pluvial de 946.1 mm (CNPMX, 2016).

El municipio tiene una extensión de 465.7 kilómetros (equivalente a una superficie de 46,570 hectáreas), de las cuales el 45% se destinan a la agricultura, el 20.92% es de uso pecuario y el 19.48% al uso forestal.

Los análisis de laboratorio se realizaron en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en el Campus Universitario "El Cerrillo", en el municipio de Toluca, Estado de México.

IX. LÍMITE DE TIEMPO

El experimento inició en septiembre de 2016 y concluyó en junio de 2017. Tiempo en el que se realizó la identificación de las muestras, el análisis químico de los forrajes e interpretación de los resultados. La redacción del trabajo de tesis se realizó de junio de 2017 a marzo de 2018.

X. RESULTADOS

10.1 Composición química de los forrajes analizados

Los resultados de la composición química de los forrajes henificados y no henificados se muestran en el Cuadro 1, en cual se muestra que en la materia seca (MS) que se obtiene posterior a la extracción de humedad, si se encuentran diferencias significativas ($P < 0.05$); en cuanto al resto de variables no existen diferencias significativas ($P > 0.05$).

Cuadro 1. Contenido de Materia Seca (MS) (gMS/kg⁻¹), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA), Materia Orgánica (MO) y Cenizas (g/kg⁻¹ MS) de la asociación de forraje henificado y no henificado de ebo-triticale.

Variable	H	NH	Promedio	EEM	Valor P
MS	601.6 ^a	316 ^b	458.8	62.8	0.018
PC	109.1	109.34	109.22	10.18	0.985
FDN	486.57	498.22	492.395	4.54	0.12
FDA	304.49	312.51	308.5	3.19	0.126
MO	910.26	910.27	910.265	3.91	0.998
Cenizas	89.74	89.73	89.735	3.91	0.998

H= Henificado; NH= No Henificado; EEM= Error Estándar de la Media.

10.2 Digestibilidad enzimática de la materia orgánica y energía metabolizable

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de digestibilidad enzimática de la materia orgánica (g/kgMO) y de Energía Metabolizable (MJ/ kgMO), en los cuales no se muestran diferencias significativas ($P>0.05$) entre forraje henificado y no henificado.

Cuadro 2. Digestibilidad enzimática de la materia orgánica (DEMO) (g/kg MO) y energía metabolizable (EM) (MJ/kg MO) de la asociación ebo-triticale.

Variable	H	NH	Promedio	EEM	Valor P
DEMO	739.3	786.5	762.9	11.07	0.067
EM	12.21	12.34	12.275	0.1738	0.067

H= Henificado; NH= No Henificado; EEM= Error Estándar de la Media.

10.3 Producción de gas *in vitro*

En el Cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos de la producción de gas, en el cual no se observan diferencias significativas ($P>0.05$) en cuanto a las tres variables.

Cuadro 3. Parámetros de producción de gas (PG) *in vitro* de la asociación ebo-triticales.

Variable	H	NH	Promedio	EEM	Valor P
B	233.82	229.27	231.545	5.4	0.315
C	3.815	4.092	3.9535	0.28	0.256
Lag	4.644	4.251	4.4475	0.5045	0.351

B= Producción asíntota de gas (ml gas/ g MS) a partir de la fermentación de la fibra detergente neutra; c=Tasa fraccional de producción de gas (h⁻¹) en un tiempo *t*; Lag= Tiempo en horas antes de iniciar la fermentación de la FDN; H= Henificado; NH= No Henificado; EEM= Error Estándar de la Media.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados obtenidos de digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y de la fibra detergente neutro, los cuales no muestran diferencias significativas entre los dos tratamientos (P>0.05).

Cuadro 4. Valores de digestibilidad obtenidos a partir de la técnica de producción de gas *in vitro* (g/kg MS) de la asociación ebo-triticales.

Variable	H	NH	Promedio	EEM	Valor P
DIVMS	639.59	630.87	635.23	9.24	0.058
DIVMO	784.08	774.84	779.46	11.3	0.32
DIVFDN	730.04	714.98	722.25	12.91	0.417

DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO: Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIVFDN: Digestibilidad *in vitro* de la Fibra Detergente Neutro; H= Henificado; NH= No Henificado; EEM= Error Estándar de la Media.

XI. DISCUSIÓN

11.1 Composición química

Acorde con Di Marco (2011), se considera un forraje de calidad cuando contiene aproximadamente 70% de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), 50% de Fibra neutro detergente (FDN) y más de 15% de proteína cruda (PC) y disminuye su calidad cuando la DIVMS es menor al 50%, FDN mayor de 65% y PC menor al 8%.

En base a lo anterior, la asociación de forrajes evaluada tienen una calidad media, ya que su contenido de FDN es menor de 500 g/kgMS tanto para la asociación de forraje henificado (486.7 g/kgMS) y para el forraje no henificado (498.22 g/kgMS) y valores de proteína cruda de 109.1 y 109.34 g/kg MS para forraje henificado y no henificado, respectivamente.

11.1.2 Materia seca

El contenido de MS en los alimentos no siempre es indicativo de calidad, pero es importante ya que el valor nutricional se analiza según el contenido de MS, que abarca valores entre 14 y 25% (Teuber *et al.*, 2007). De acuerdo a estos valores la asociación de forraje no henificado se encuentra por encima de este rango.

En cuanto al forraje henificado tenemos que este es el resultado de una serie de procedimientos en los cuales posterior al corte, es el secado al sol del forraje hasta alcanzar valores aproximados de 85% de MS, posteriormente empacado y almacenado hasta su uso. El éxito de este proceso de desecación se basa en la disminución rápida del contenido de agua, antes de que la respiración y la fermentación de la célula vegetal consuman las reservas nutritivas del forraje. El

valor nutricional va a depender del estado de madurez, los procesos mecánicos y el tipo de corte (Aguilar *et al.*, 2013). Acorde a lo anterior el valor de MS obtenido se encuentra por debajo de este valor, al igual que con el valor obtenido por Marín *et al.* (2017), de 920 g/kg MS, así como el valor obtenido por Aguilar *et al.* (2013) de 894.9 g/kg MS que también se encuentra por encima del obtenido.

11.1.2 Materia orgánica

El contenido de Materia orgánica tuvo un promedio de 910.265 g/kg MS, no habiendo diferencias significativas ($P>0.05$). Los valores de MO obtenidos en este estudio se encuentran por encima de los valores reportados por Garduño-Castro *et al.* (2009) con 800.8 g/kg MS, así como con Aguilar *et al.* (2013) con 874.1 g/kg MS, y con valores más cercanos pero aún por debajo de los valores obtenidos se encuentra Haj Ayed *et al.* (2000) con 890 g/kg MS.

11.1.3 Proteína

La concentración de proteína cruda disminuye a medida que madura la semilla. Se produce un efecto en el cual hay un descenso de la concentración de proteína cruda de estructuras vegetativas y un aumento de la proporción de proteína en el grano de triticale (Haj-Ayed *et al.*, 2000).

El promedio del contenido de PC es de 109.22 g/kg MS, valores cercanos a los obtenidos por Garduño Castro *et al.* (2009) de 100.8 g/kg MS en asociaciones de cereales de grano pequeño y leguminosas y con Caballero *et al.* (1977) que reporta valores de 106.3 g/kg MS, así como Maxin *et al.* (2017) con 98 g/kg MS y valores por encima de los obtenidos son los reportados por Aguilar *et al.* (2013) con 186.5 g/kg MS, así como valores obtenidos por Haj Ayed *et al.* (2000) con 198 g/kg MS.

La poca diferencia entre el contenido de proteína puede deberse probablemente a como menciona Mendoza-Elos *et al.* (2011) que existe una menor pérdida de

calidad nutritiva del triticale a medida que avanza su fenología. También puede ser debido a la edad de corte del forraje, la cual fue a los 69 días postsiembra, ya que Flores- Nájera *et al.* (2016) en su estudio de cuatro diferentes etapas fenológicas de cereales de grano pequeño asociados con ebo muestran que en la asociación de triticale con ebo disminuye en menor proporción la proteína comparada con los otros cereales.

11.1.4 Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido

La digestibilidad de un forraje va a depender de la cantidad y calidad de fibra que contenga. Cuando hay mayor cantidad de fibra, la digestibilidad disminuirá, así como la calidad del forraje. También el consumo voluntario tiene relación con el contenido de FDN, a mayor contenido, disminuirá el consumo voluntario, y cuando es mayor la cantidad de FDA, la digestibilidad es menor (Munguía, 2015).

La fibra es un elemento estructural que está ligado con el consumo de MS y con la concentración energética, por lo tanto es de suma importancia. La lenta digestión y evacuación del rumen del material fibroso, limita el consumo por efecto de llenado del rumen, por lo tanto, si aumenta el contenido de FDN y FDA en el alimento disminuirá el consumo de MS y la digestibilidad de este (Van Soest *et al.*, 1991).

El promedio del contenido de Fibra Detergente Neutro es de 492.395 g/kg MS valores que se encuentran por encima de los reportados por Garduño-Castro *et al.* (2009) con 419.1 g/kg MS y Maxin *et al.* (2017) con 484 g/kg MS. Por el contrario son inferiores a Aguilar *et al.* (2013) con 578 g/kg MS, Haj Ayed *et al.* (2000) con 550 g/kg MS, así como de Caballero *et al.* (1977) con 522.6 g/kg MS.

En cuanto al contenido de Fibra Detergente Ácido se obtuvo un promedio de 308.5 g/kg MS valores que están por debajo de los reportados por Garduño-Castro *et al.* (2009) con 316.1 g/kg MS y por Haj Ayed *et al.* (2000) con 340 g/kg MS y valores

por encima de Maxin *et al.* (2017) con 256 g/kg MS y Caballero *et al.* (1977) con valores de 296.8 g/kg MS.

11.1.5 Digestibilidad enzimática de la materia orgánica

La digestibilidad de un alimento se define como la proporción que se digiere de un nutrimento dado que se digiere o desaparece a su paso por el tracto gastrointestinal, el cual es importante conocer y saber su disponibilidad como fuente de nutrientes para el animal.

El promedio de la Digestibilidad Enzimática de la Materia Orgánica es de 815.35 g/kg MO, encontrándose por encima de los valores encontrados por Guadarrama-Estrada *et al.* (2007) con 709.55 g/kg MO y con Caballero *et al.* (1977) con 664.33 g/kg MO.

11.1.6 Cenizas

El promedio del contenido de cenizas es de 89.735 g/kg MS, resultado que no mostró diferencias significativas entre el forraje henificado y no henificado ($P>0.05$), se encuentra cercano a lo reportado por Maxin *et al.* (2017) con 89 g/kg MS y por encima de Caballero *et al.* (1977) con 70.2 g/kg MS.

11.1.7 Energía metabolizable

Los valores obtenidos no mostraron diferencias significativas ($P>0.05$) con un promedio de 12.801 MJ/kg MS, encontrándose por encima de los valores obtenidos por Guadarrama-Estrada *et al.* (2007) con 11.14 MJ/kg MS, así como con Caballero *et al.* (1977) con 10.43 MJ/kg MS.

11.2 Producción de gas *in vitro*

Las diferencias en la actividad de los microorganismos desde el rumen de diferentes especies, o de la misma especie pero con diferentes dietas, significa que todas las descripciones de producción de gas deberán describir las condiciones del animal donador. Aunque los protozoarios hacen una significativa contribución a la digestión de la fibra, su remoción permite que más bacterias colonicen las plantas, cubriendo el espacio anteriormente ocupado por ellos, demostrando que la actividad de los protozoarios y de las bacterias parece ser intercambiable. Si todos los nichos de degradación disponibles son colonizados por bacterias o protozoarios, la adición de población complementaria no incrementa la tasa o la extensión de la fermentación. Se menciona que los henos de leguminosas se degradan a una tasa más alta que los henos con una alta participación de gramíneas (Posada *et al.*, 2005). Los parámetros de producción de gas *in vitro* de los dos tratamientos de este estudio que incluyen las fracciones B, c y fase lag se encuentran en el Cuadro 3.

11.2.1. Fracción b

En cuanto a la fracción b no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$), la cual tuvo un promedio de 231.545 ml gas/g MS; en el forraje henificado hubo mayor producción de gas con 233.82 ml gas/g MS encontrándose por encima de Antolín *et al.* (2009) para henificado de gramíneas con 200.58 ml gas/g MS y por debajo de Sallam *et al.* (2007) y Karabulut *et al.* (2007) para henificado de leguminosas con con 254.6 ml gas/g MS y 380 ml gas/g MS respectivamente; para no henificado se obtuvo un valor de 229.27 ml gas/g MS, que se encuentra por encima de lo obtenido por Sánchez *et al.* (2008) con 169 ml gas/ g MS para gramíneas y 147.5 ml gas/ g MS para leguminosas, al igual que Antolín *et al.* (2009) con 202.10 ml gas/g MS para gramíneas y también por debajo de Rayas *et al.* (2012) en leguminosas con 211 ml

gas/g MS por el contrario se encuentra por debajo de lo reportado por Guevara-Mesa *et al.* (2011) para leguminosas con 380.08 ml gas/g MS, así como con Prieto-Manrique *et al.* (2016) para una asociación de gramínea-leguminosa con 260.92 ml gas/g MS.

11.2.2. Tasa de fermentación o degradación (c)

La tasa de fermentación (c) está relacionada con la fermentación del sustrato y que a su vez se relaciona con el tipo de carbohidratos estructurales en el sustrato lo cual sugiere mayor celulosa para los microorganismos ruminales (Aragadvay-Yungán *et al.*, 2015); de los dos tratamientos no mostró diferencias significativas ($P>0.05$).

Para el tratamiento henificado se obtuvo una tasa de 3.81% el cual se encuentra por encima de Karabulut *et al.* (2007) y Sallam *et al.* (2005) para heno de leguminosas con 2.8 y 3.5% respectivamente; por otro lado, está por debajo de los reportados por Antolín *et al.* (2009) para heno de gramíneas con una tasa de degradación de 4.2%.

Se obtuvo una tasa de 4.092% para el tratamiento NH encontrándose por encima de lo reportado por Guevara-Mesa *et al.* (2011) con 3.62%, así como con Sánchez *et al.* (2005) y Sánchez *et al.* (2008) con una tasa de degradación en gramíneas de 3.92 y 3.2% respectivamente; por el contrario Sánchez *et al.* (2005), Sánchez *et al.* (2008) y Rayas *et al.* (2012) reportan una tasa de degradación para leguminosas de 4.4, 4.9 y 5.4% respectivamente; Márquez *et al.* (2009) reporta una tasa de 6% en leguminosas y 11% en gramíneas, así como Prieto-Manrique *et al.* (2012) obtuvo en asociación de gramínea-leguminosa una tasa de 4.6%.

11.2.3. Fase lag

De acuerdo a Aragadvay-Yungán *et al.* (2015) la fase lag (h) indica el tiempo en que los microorganismos comienzan a degradar la fracción B (carbohidratos estructurales); el tratamiento H presentó mayor tiempo lag pero sin mostrar diferencias significativas entre los dos tratamientos ($P>0.05$). El tratamiento NH mostró el menor tiempo lag lo cual sugiere que el contenido de carbohidratos de rápida degradación como azúcares, almidón y pectina es mayor en el tratamiento H que en el tratamiento NH.

Para el tratamiento H se obtuvo un valor de 4.64 h, valor que está por arriba de Antolín *et al.* (2009) para heno de gramíneas con 3h, y Sallam *et al.* (2007) en heno de leguminosas con 1.5h.

Para tratamiento NH se obtuvo un valor de 4.25h encontrándose por encima de lo reportado por Guevara-Mesa *et al.* (2011), Sánchez *et al.* (2005) Rayas *et al.* (2012) para leguminosas 1.464, 1.93, y 4h respectivamente, y con Sánchez *et al.* (2005) de igual forma con Márquez *et al.* (2009) para gramíneas con 3.73h y 2.9h respectivamente, opuesto a estos valores se encuentran los obtenidos por Márquez *et al.* (2009) con 4.7h en leguminosas. Prieto-Manrique *et al.* (2016) reporta un valor lag para asociación de gramínea-leguminosa de 5.17h.

11.2.4. Digestibilidad *in vitro*

11.2.4.1 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

El Cuadro 4 muestra los valores de digestibilidad *in vitro* de los tratamientos. La DIVMS del tratamiento H mostró un valor de 639.59 g/kg MS, pero sin mostrar diferencias significativas con el tratamiento NH.

El valor del tratamiento H se encuentra por debajo de los obtenidos por Antolín *et al.* (2009) para heno de gramíneas con una digestibilidad de 695.2g/kg MS, por otro lado se encuentra por encima de Avellaneda-Cevallos *et al.* (2007) con 582.2g/kg MS.

El valor obtenido para NH es de 630.87g/kg MS encontrándose por arriba de Sánchez *et al.* (2008) con 623 g/kg MS para gramíneas, por otro lado, se encuentra por debajo de Guevara-Mesa *et al.* (2011) y Vargas *et al.* (2014) para valores de leguminosas de 638.5 y 638 g/kg MS, respectivamente.

11.2.4.2 Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica

La DIVMO mostró un valor promedio de 779.46 g/kg MS; el tratamiento H con 784.08 g/kg MS, pero sin mostrar diferencias significativas entre los dos tratamientos ($P>0.05$).

El valor obtenido para el tratamiento H se encuentra por encima de Antolín *et al.* (2009) con 633.4g/kg MS para heno de gramíneas y Sallam *et al.* (2007) con 542g/kg MS.

Para el tratamiento NH se obtuvo un valor de 774.84g/kg MS, que se encuentra por encima de Rayas *et al.* (2012) con 701g/kg MS en leguminosas.

11.2.4.3 Digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro

La DIVFDN no obtuvo diferencias significativas ($P>0.05$), mostró un valor menor en el tratamiento NH con 714.98 g/kg MS. Un valor mayor lo obtuvo el tratamiento H con 730.04 g/kg MS, en promedio se obtuvo una DIVFDN con 722.25g/kg MS estando por encima de lo reportado por Avellaneda-Cevallos *et al.* (2007) con 582.5g/kg MS y de Rayas *et al.* (2012) con 340g/kg MS.

Pinos *et al.* (2002) menciona que la digestibilidad de MS y MO son generalmente mayores en las leguminosas que en las gramíneas, pero la digestibilidad de la pared celular puede ser menor debido al mayor contenido de lignina en las leguminosas, aunque también indicó que en ciertas ocasiones la digestión de la pared celular es similar para ambos forrajes.

XII. CONCLUSIONES

Es necesario conocer el contenido de nutrientes de forrajes y alimentos utilizados en alimentación animal a través del análisis de composición química, aunque este análisis no define la disponibilidad que tienen para los animales (Shimada, 2003); por lo que la caracterización nutritiva de un forraje o alimento requiere de otros análisis como la determinación de la digestibilidad *in vitro*.

El uso de forraje de cereales de grano pequeño como triticale, asociado con leguminosas como ebo tanto como forraje conservado en heno, o en fresco son una opción para incluir en la alimentación del ganado en los sistemas de producción de leche en pequeña escala ya que contiene una digestibilidad, energía metabolizable y contenido de proteína que lo hace de buena calidad.

Estos cereales son una alternativa para obtener forraje de calidad durante temporadas de invierno.

Se concluye que no existen diferencias significativas entre tratamientos.

X. LITERATURA CITADA

- Aderinboye RY, Akinlolu AO, Adeleke MA, Najeem GO, Ojo VOA, Isah OA, Babayemi OJ. (2016): *In vitro* gas production and dry matter degradation of four browse leaves using cattle, sheep and goat inocula. Slovak J Anim. Sci. 49(1): 32-43.
- AFRC. (1993). Animal and Food Research Council. Energy and protein requirements of ruminants, CAB International, Wallingford, UK.
- Aguilar EY, Borquez JL, Domínguez IA, Gonzalez M. (2013). Rendimiento, composición química y producción de gas *in vitro* de forrajes triticale (*X Triticosecale Wittmack*), cebada (*Hordeum vulgare*) y su asociación con ebo (*Vicia sativa*), conservados por ensilaje y henificado. Journal of Agricultural Science. 5(2): 1-12.
- Amagu E. (2015). Kinetic Models for Anaerobic Fermentation Process-A Review. American Journal of Biochemistry and Biotechnology. 11(3): 132-148.
- Ankom Technology, Operator's Manual Ankom 2000 Fiber Analyzer. Consultado por última vez en Noviembre 2016).
- Ankom Technology, Operator's Manual DaisyII Incubator Disponible en: <https://ankom.com/instrument-manuals.aspx> (Consultado por última vez en Noviembre 2016).
- Ankom Technology. (2005): Procedures (for NDF and ADF). <http://www.ankom.com/> (Consultado por última vez en noviembre 2016).
- Antolín M, González M, Goñi S, Domínguez IA, Ariciaga C. (2009): Rendimiento y producción de gas de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. Técnica Pecuaria en México. 47(4): 413-423.

AOAC. (1990): Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Agricultural Chemist, Washington.

Aragadvay-Yungán RM, Rayas AA, Heredia-Nava D, Estrada-Flores JG, Martínez-Castañeda FE. (2015): Evaluación *in vitro* del ensilaje de girasol (*Helianthus annus L.*) solo y combinado con ensilaje de maíz. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 6(3): 315-327.

Avellaneda-Cevallos JH, González-Muñoz SS, Pinos-Rodríguez JM, Hernández-Garay A, Martínez-Valdez CD, Ayala-Oseguera J. (2007): Enzimas fibrolíticas exógenas en la digestibilidad *in vitro* de cinco ecotipos de *Brachiaria*. Agronomía Mesoamericana. 18(1):11-17.

Bejar-Hinojosa M, ammar K, Lechuga-Martínez, Fematt-Flores G, Cano-Magallanes JM. (2004): El cultivo de triticale como elemento importante en la sustentabilidad de agroecosistemas. Centro de investigación para los recursos naturales. 4-8.

Caballero R, López E. (1977): Estudio comparado de diferentes cereales como tutores de *Vicia sativa L.* y *Vicia villosa Roth*. Rendimientos, composición y valor alimenticio de las asociaciones. Instituto de Alimentación y Productividad Animal CSIC, Madrid. 169-186.

Celis MD. (2014): Comparación entre concentrado comercial y grano de maíz molido como complementos para sistemas de producción de leche en pequeña escala basados en praderas de corte. Tesis de Licenciatura. FMVZ, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

Cifre J, Janer I, Gulías J, Jaume S, Medrano H. (2015): Pastos y Forrajes en el siglo XXI. 54ª Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, Mallorca, España, 225-231.

- Díaz G. (2012): El cambio climático. *Ciencia y sociedad*. 37(2): 227-240.
- Di Marco O. (2011): Estimación de la calidad de los forrajes. Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad integrada Blancarde, INTA Blancarde. Disponible en: Sitio Argentino de producción animal, www.produccion-animal.com.ar. Argentina. 20(240):24-30.
- Espinosa E. (2008): Evaluación de mezclas interespecificas de triticale y leguminosas anuales para la producción de forraje en la Región Lagunera. Tesis de licenciatura. División de agronomía. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Saltillo, Coahuila, México.
- Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM. (2007): Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*. 43, 241-256.
- FAO (2008): Informe pecuario: Futuro de la producción Lechera en pequeña escala, Roma. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0255s/a0255s01.pdf> (6 de septiembre 2016).
- Flores MDJ, Sánchez RA, Echavarría FG, Gutiérrez R, Rosales CA, Salinas H. (2016). Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. *Rev Mex Cienc Pecu*. 7(3): 275-291.
- García- Martínez a, Vences-Pérez J, Nájera ADL, Arriaga-Jordán CM, Albarrán-Portillo B, Rebollar-Rebollar S. (2015): Situación actual de la ganadería para producción de carne en el sur del Estado de México. Oportunidades para su desarrollo, en: *Estudios socioeconómicos y ambientales de la ganadería*.

Editado por Cavalotti B., Ramírez B., Cesin A., Ramírez J., 91-99. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Garduño-Castro Y, Espinoza-Ortega A, González-Esquivel CE, Mateo-Salazar B, Arriaga-Jordán CM. (2009): Intercropped oats (*Avena sativa*)- common vetch (*Vicia sativa*) silage in the dry season for small-scale dairy systems in the Highlands of Central Mexico. *Trp Anim Health Prod.* 41: 827-834.

Getachew G, DePeter EJ, Robinson PH. (2004): *In vitro* gas production provides effective method for assessing ruminant feeds. *California Agriculture.* 58(1): 54-58.

González FDJ. (2016): Comparación de la digestibilidad *in vitro*, mediante incubación con líquido ruminal o enzimas, en forrajes de cereales de grano pequeño en Sistemas de producción de leche en pequeña escala. Tesis de licenciatura, FMVZ, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

Grafit. Version 3. Data analysis and graphics program. Erithacus Software Ltd. 1992.

Guadarrama-Estrada J, Espinoza-Ortega A, González-Esquivel CE, Arriaga-Jordán CM. (2007): Inclusion of maize or oats-vetch silage for grazing Dairy cows in Small- Scale Campesino systems in the Highlands of Central Mexico, *Journal of Applied Animal Research.* 32(1): 19-23.

Guevara-Mesa AL, Miranda-Romero LA, Ramírez-Bribiesca JE, González-Muñoz SS, Crosby-Galvan MM, Hernández-Calva LM, Del Razo Rodríguez OE. (2011): Protein fractions and *in vitro* Fermentation of Protein feeds for Ruminants. *Tropical and subtropical Agroecosystems.* 14(2): 421-429.

- Haj-Ayed M, González J, Caballero R, Alvir MR. (2000): Nutritive Value of on-farm common vetch-oats hays. II Ruminant degradability of dry matter and crude protein. *Ann Zootech.* 49: 391-398.
- Hemme T. (2007): IFCN Dairy team and IFCN researchers. IFCN Dairy report, international farm comparison network, IFCN Dairy research center, Kiel, Alemania.
- Hernández A. (2007): Evaluación en la calidad en una mezcla forrajera de avena-ebo. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma agraria "Antonio Narro", Saltillo Coahuila, México.
- Karabulut A, Canbolat O, Kalkan H, Gurbuzol F, Sucu E, Filya I. (2007): Comparison of *in vitro* gas production, Metabolizable energy, organic matter digestibility and microbial Protein production of some legume hays. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 20(4): 517-522.
- Marín MN, Torres E. (2017): Evaluación de heno de triticale (*X Triticosecale Wittmack*) como complemento para vacas lecheras bajo pastoreo de praderas de Ryegrass (*Lolium perenne cv. Bargala*) o Festuca alta (*Festuca arundinacea*) en Sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Noroeste del Estado de México. Tesis de Licenciatura. FMVZ, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Márquez A, Mendoza G, Pinos-Rodríguez JM, Zavaleta H, González S, Buntinxs S, Loera O, Meneses M. (2009): Effect of fibrolytic enzymes and incubation pH *in vitro* degradation of NDF extracts of alfalfa and orchardgrass. *Italian Journal of Animal Science.* 8(2): 221-230.

Martínez CG, Janes S, Arriaga-Jordán CM, Wattiaux MA. (2012): Caracterización de productores de leche en pequeña escala del Estado de México, para la identificación de mecanismos de comunicación y extensión, en: Ganadería y alimentación: alternativas frente a la crisis ambiental y el cambio social. Editado por Marcof CF, 415-425. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Maxin G, Andueza D, Le Morvan A, Baumont R. (2017): Effect of intercropping vetch (*Vicia Sativa L.*), field pea (*Pisum sativum L.*) and triticale (*X Triticosecale*) on dry matter yield, nutritive and ensiling characteristics when harvested at two growth stages. Grass and Forage Science. 1-8.

Mendoza-Elos M, Cortez-Baheza E, Rivera-Reyes JG, Rangel-Lucio JA, Andrio-Enríquez E, Cervantes-Ortiz F. (2011): Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (*X Triticosecale Wittmack*).

Minitab, Statistical Software (Version 13.32). Minitab Inc., Philadelphia, PA, USA. 2000.

Munguía A, (2015): Valor nutricional de cuatro forrajes alternativos para sistemas de producción de leche en pequeña escala en el noroeste del Estado de México, ante el cambio climático. Tesis de Licenciatura. FMVZ, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

Pérez-Arellano J, Albarrán-Portillo B, Arriaga-Jordán CM, Alvarenga-Serafini JD, Heredia-Nava D, Cano R, García-Martínez A. (2015): Evaluación económica de unidades de producción doble propósito en Tlatlaya, Estado de México. Importancia de la producción de leche, en: Estudios socioeconómicos y ambientales de la ganadería. Editado por Cavalotti B., Ramírez B., Cesin A., Ramírez J., 185-197. Universidad Autónoma Chapingo. México.

- Pinos JM, González S, Mendoza G, García JC, Miranda L, De la Cruz GA, De Lerma V. (2005): Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la degradación *in vitro* de ingredientes alimenticios y en la producción de leche de vacas Holstein. *Interciencia*. 30(12): 752-757.
- Pinos JM, González SS, Mendoza GD, Bárcena R, Cobos M. (2002): Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la digestibilidad *in vitro* de la pared celular del heno de alfalfa (*Medicago sativa*) o de Ballico (*Lulium perenne*). *Interciencia*. 27(1):28-32.
- Posada SL, Noguera RR. (2005): Técnica *in vitro* de producción de gases: Una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development*. 17(4):1-8.
- Posadas RR, Salinas JA, Callejas N, Álvarez G, Herrera J, Arriaga CM, Martínez FE. (2014): Análisis de costos y estrategias productivas en la lechería de pequeña escala en el periodo 2000-2012. *Contaduría y Administración*. 59(2): 253-275.
- Prieto-Manrique E, Vargas Sánchez JE, Angulo-Arizala J, Mahecha-Ledesma L. (2016): Ácidos grasos, fermentación ruminal y producción e metano de forrajes silvopastoriles intensivos con *Leucaena*. *Agronomía Mesoamericana*. 27(2): 337-352.
- Próspero F, Arriaga CM, Espinoza A, Albarrán B. (2012): Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción de leche a pequeña escala, en: *Ganadería y alimentación: alternativas frente a la crisis ambiental y el cambio social*. Editado por Marcof CF, 607-618. Universidad Autónoma Chapingo. México.

- Próspero F. (2015): Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala en dos zonas agroecológicas contrastantes del centro de México, en: Estudios socioeconómicos y ambientales de la ganadería. Editado por Cavalotti B., Ramírez B., Cesin A., Ramírez J., 139-153. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Rayas AA, Estrada JG, Lawrence F, Castelán OA. (2012): Nutritional value of forage Species from the Central Highlands Region of Mexico at different stages of maturity. *Ciencia Rural*. 42(4): 705-712.
- Rebollar S, Callejas N, Hernández J, Gómez G, Guzmán E. (2016): Isocuantas de la producción de leche semiintensiva en una región del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*. 23(2): 171-177.
- Riveros E, Argamentarías A. (1987): Métodos Enzimáticos de Predicción de la digestibilidad In Vivo de la Materia Orgánica de Forrajes, En: Avances en Producción Animal, Vol. 12, Ed. Mario Silva G. 59-75, Chile.
- Sainz A. (2016): Comparación de dos métodos *in vitro* para estimar la digestibilidad de ensilados de maíz (*Zea mays*) de sistemas de producción de leche en pequeña escala. Tesis de licenciatura, FMVZ, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Salas G, Gutiérrez E, Ortega R, Hernández J. (2003): Ácidos grasos no esterificados y condición corporal postparto de vacas Holstein en sistemas de producción a pequeña escala. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 37(2):139-143.
- Salgado T, Rodríguez A, Gutiérrez D, Martínez B, García P, Espinoza A, Martínez AR, Lagunas S, Vicente F, Arriaga CM. (2014): Molecular characterization and antimicrobial susceptibility of *Staphylococcus aureus* from small-scale dairy

systems in the Highland of Central Mexico. Dairy Science and Technology. 95(2): 181-196.

Sallam SMA, Nasser MEA, El-Waziry AM, Bueno ICS, Abdalla AL. (2007): Use an in vitro rumen gas production Technique to evaluate some ruminan Feedstuffs. Journal of Applied Sciences research. 3(1): 34-41.

Sánchez DE, Arreaza LC, Abadía B. (2005): Estudio de la cinética de degradación *in vitro* de cuatro forrajes tropicales y una leguminosa de clima templado. Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 6(1): 58-68.

Sánchez T, Ørskov ER, Lamela L, Pedraza R, López O. (2008): Valor nutritivo de los componentes forrajeros de una asociación de gramíneas mejoradas y *Leucaena leucocephala*. Pastos y forrajes. 31(3): 271-281.

Shimada AS. (2003): Fundamentos de nutrición animal. Ed México, México. 383p.

Teuber N, Balocchi O y Parga, J. (2007): Manejo del pastoreo. Proyecto Fia. INIA Remehue, Universidad Austral de Chile, Universidad de la Frontera, Fundación para la innovación agraria. Osorno, Chile.

Van Soest PJ, Robertson JB, y Lewis BA. (1991): Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition, Department of Animal Science and Division of Nutritional Sciences, Cornell University, New York, U.S.A.

Vargas J, Pabón M, Carulla J. (2014): Producción de metano *in vitro* en mezcla de gramíneas-leguminosas del trópico alto colombiano. Arch Zootec. 63(243): 347-407.

Wattiaux MA. (2002): Composición y análisis de alimentos. En Instituto Babcock para la investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin Madison. Disponible en <http://babcock.wisc.edu/es/node/143>.