



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“Composición química y degradabilidad *in vitro* de pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en dos épocas de crecimiento en el sur del Estado de México”

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

PRESENTA:

PMVZ. Jesús Alejandro Castillo Contreras

ASESORES:

Dr. en C. Ignacio Arturo Domínguez Vara

M. en C. Gerardo Jaramillo Escutia

Dr. en C. Daniel Trujillo Gutiérrez



Toluca, México; Julio de 2022.

RESUMEN

Los pastos tropicales son la base de la ganadería en el sur del Estado de México. La región tiene una topografía accidentada que limita la siembra y el manejo de pastos mejorados. La utilización de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en la alimentación de rumiantes permite ventajas económicas debido a su rusticidad y limitado manejo. Sin embargo, la composición química de este pasto y el aporte de nutrientes varía a lo largo de las estaciones del año. Además, se desconoce el efecto del tipo de suelo y microambiente de la región. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la época del año y la localidad de siembra sobre la composición química proximal y fermentación *in vitro* de los nutrientes. Se obtuvieron muestras de pasto estrella de África en nueve Unidades de producción (UP) de bovinos de doble propósito en pastoreo, en comunidades rurales de los municipios de Amatepec, Tejupilco, Zacazonapan, San Pedro Tenayac y Luvianos, Estado de México en dos épocas de crecimiento (lluvias y secas), analizadas en un arreglo factorial de tratamientos (9 unidades productivas y 2 épocas de crecimiento). Se determinó composición química proximal y se evaluó la fermentación *in vitro* de la MS. El contenido químico (g kg^{-1} MS) promedio fue: PC (857.77), MO (801.76), FDN (147.87), FDA (319.00) y LDA (50.42). El forraje de San Pedro Tenayac tuvo mayor ($P < 0.05$) contenido de PC (106.6 g kg^{-1} MS) que el resto, sin embargo, el contenido químico fue similar ($P > 0.05$) en MO, cenizas, FDN y FDA entre Unidades de producción. Pero, las UP San Pedro Tenayac y Amatepec 2 tuvieron forrajes menos lignificados ($P < 0.05$). Hubo efecto ($P < 0.05$) de época de crecimiento sobre FDA y LDA, en la época de secas los forrajes tuvieron mayor agregación de lignina y celulosa a sus componentes estructurales, y en lluvias los forrajes tuvieron más PC. Se observó efecto ($P < 0.05$) de interacción época de lluvias x UP para FDN en todas las UP. Para LDA hubo efecto de interacción ($P < 0.05$) de la época de lluvias con Amatepec 3, Zacazonapan y Luvianos 1. Referente a los parámetros de fermentación, la producción de gas (b) y la materia seca desaparecida (MSD) fueron mayores ($P < 0.05$) en la época de lluvias. Amatepec 1 tuvo mayor ($P < 0.05$) producción de gas y MSD fue mayor ($P < 0.05$) en Zacazonapan. Se concluye que, La composición química del pasto *Cynodon nlemfuensis* es diferente entre unidades de producción, y tiene efecto sobre la degradabilidad *in vitro* y los parámetros de fermentación. Además, La época de crecimiento tiene efecto diferencial sobre la

agregación de lignina a los componentes estructurales de la pared celular en *Cynodon nlemfuensis* en las Unidades de producción de la zona sur del Estado de México.

Palabras clave: *Cynodon nlemfuensis*, pasto estrella Africana, composición química, degradabilidad *in vitro*, pastos tropicales.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	2
CONTENIDO.....	4
ÍNDICE DE CUADROS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 Importancia de la ganadería en el Sur del Estado de México	9
2.2 Sistema de producción de carne en la zona	9
2.3 Morfología y estructura típica de hoja y tallo de gramíneas forrajeras.....	10
2.4 Metabolismo de plantas C ₄	11
2.5 Generalidades de <i>Cynodon nlemfuensis</i>	13
2.6 Manejo y pastoreo	14
2.7 Composición química de los forrajes	14
2.7.1 Humedad.....	14
2.7.2 Proteína cruda.....	14
2.7.3 Extracto etéreo o grasa	15
2.7.4 Cenizas	15
2.7.5 Fibra cruda	15
2.7.6 Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido	15
2.8 Compuestos fenólicos y lignina.....	16
2.9 Factores que afectan la digestibilidad de los forrajes	17
2.9.1 Plano nutricional.....	17
2.9.2 El contenido de fibra en el alimento.....	17
2.9.3 Diferencias entre especies	17
2.9.4 Deficiencias nutricionales	18
2.9.5 Preparación de alimento.....	18
2.9.6 Relación hoja/tallo en los forrajes	18
2.9.7 Madurez del forraje	18
2.9.8 Plagas y enfermedades.....	19
2.9.9 Época de crecimiento y corte	19
2.10 Factores que afectan la digestibilidad de los forrajes	19
2.11 Métodos para estimar la digestibilidad de los forrajes	20

	Página
2.11.1 Método <i>in vivo</i>	20
2.11.2 Método <i>in situ</i> o <i>in sacco</i>	21
2.11.3 Degradabilidad <i>in vitro</i>	21
2.11.4 Modelo utilizado de ajuste de producción de gas <i>in vitro</i>	22
3. JUSTIFICACIÓN	24
4. HIPÓTESIS	25
5. OBJETIVOS	26
6. MATERIAL Y MÉTODOS	27
6.1 Material.....	27
6.1.1 Biológico	27
6.1.2 Equipo de laboratorio	27
6.2 Métodos.....	27
6.2.1 Muestreo de forrajes	27
6.2.2 Análisis de laboratorio	28
6.2.1 Determinación de degradabilidad	28
6.3 Diseño, modelo y análisis estadístico	28
7. LÍMITE DE ESPACIO	30
8. LÍMITE DE TIEMPO	32
8.1. Cronograma de actividades.....	32
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
10. CONCLUSIONES.....	42
11. LITERATURA CITADA.....	43

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Resumen de diferencias entre pastos C ₃ y C ₄	12
Cuadro 2. Composición de las soluciones utilizadas en la técnica de producción de gas <i>in vitro</i>	29
Cuadro 3. Composición química de pasto estrella de África (g kg ⁻¹ MS), en unidades de producción del sur del Estado de México.	33
Cuadro 4. Efecto de la época en la composición química (g kg ⁻¹ MS) de pasto estrella de África.	35
Cuadro 5. Composición química (g kg ⁻¹ MS) de pasto estrella de África en unidades de producción de bovinos del sur del Estado de México en dos épocas.	36
Cuadro 6. Comparación de la producción de gas entre las dos épocas estudiadas.	38
Cuadro 7. Producción de gas de pasto <i>Cynodon nlemfuensis</i> en distintas Unidades de Producción del sur del Estado de México.	39
Cuadro 8. Efecto de la interacción unidad de producción con época del año, sobre la digestibilidad <i>in vitro</i> del pasto <i>Cynodon nlemfuensis</i>	40

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Morfología de una gramínea típica.	11
Figura 2. Efecto de la interacción unidad de producción con época en el contenido de FDN del forraje estrella de África.....	37
Figura 3. Efecto de la interacción unidad de producción con época en el contenido de LAD del forraje Estrella de África.....	37

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería en el sur del Estado de México está sustentada en el uso de recursos forrajeros de la región, en gran parte debido a su topografía. Las especies de gramíneas introducidas en el sur del Estado de México, son principalmente pastos estrella (*Cynodon nlemfuensis*), chontalpo (*Brachiaria decumbens*), llanero (*Brachiaria dictyoneura*), elefante (*Pennisetum purpureum* var. elefante) y Taiwán (*Pennisetum purpureum* var. Taiwan) (Trujillo, 2007), que por sus características de crecimiento son nutricionalmente muy lignificados e invasivos en los potreros naturales. El aprovechamiento máximo de estos forrajes se da solo en la época de lluvias, y en el período de estiaje su crecimiento es nulo. Además, por las características orográficas y climáticas de la zona, esta carece de riego y suministro de agua, factores limitantes en la producción de forraje para pastoreo de tipo rotacional o alguna de sus variantes. Es por eso que se utiliza un sistema de pastoreo continuo y en algunas ocasiones diferido.

Las condiciones ambientales de la zona provocan rápido crecimiento y lignificación de los forrajes, el período de estiaje tiene como consecuencia la aparición temprana de la senescencia (Trujillo, 2016), lo que acelera la remoción de nutrientes del tejido foliar y la acelerada abscisión de esta, así como rápido incremento de la relación negativa hoja:tallo (Lemaire *et al.*, 2000).

En México la producción caprina se practica en condiciones extensivas o tradicionales, pastoriles y seminómadas, incluso trashumantes, en áreas ecológicamente difíciles para otras especies pecuarias, incluyendo las actividades agrícolas. En la zona sur del Estado de México se posee vocación de producción caprina a base de pastoreo extensivo en pastizales nativos y de gramíneas introducidas; los caprinos utilizan estos recursos forrajeros, más la vegetación arbustiva, con lo que pueden ser importantes proveedores de carne para el consumo humano (Arbiza y de Lucas, 2001).

La zona sur del Estado de México tiene elevado potencial para el desarrollo de la ganadería; sin embargo, enfrenta el problema de producir forraje en cantidad y calidad suficiente para lograr una producción continua de carne y leche. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación consiste en determinar el contenido de nutrientes y degradabilidad *in vitro* del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) cosechado en dos épocas de crecimiento en el sur del Estado de México.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la ganadería en el Sur del Estado de México

En el Estado de México, al cierre del 2014 se produjeron 1,028 t de carne (SIAP-SAGARPA, 2018), lo que representa solo el 1% de la producción nacional. La entidad mexiquense ocupa el décimo cuarto lugar en la república mexicana, con un inventario de 173,158 cabezas de animales, de los cuales, el 98% es para producción de carne. El 41% del inventario estatal se localiza en los municipios de Tejupilco, Amatepec, Tlatlaya, Sultepec, Zacualpan, Santo Tomás, Otzoloapan y Zacazonapan, agrupados en 4,975 unidades de producción. La producción estatal promedio de carne es de 651 t al año (ICAMEX, 2015).

Los recursos con los que cuenta esta área son: 347,953 ha de superficie total, área forestal 289, 998 Ha, principalmente caracterizado por bosque de pino (17, 691 Ha) y bosque de pino encino (12, 430 Ha), así como bosque de oyamel, bosque de Oyamel con vegetación secundaria arbórea, bosque de oyamel con vegetación secundaria arbustiva, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino con vegetación secundaria arbórea, bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva y bosque de pino con vegetación secundaria herbácea (PROBOSQUE, 2010).

2.2 Sistema de producción de carne en la zona

El sistema extensivo utilizado en la región, se basa principalmente en el ramoneo y pastoreo en agostaderos, con poca o nula suplementación y prácticas de desparasitación. La producción de caprinos y bovinos de razas cebuinas utilizan terrenos menos productivos (aunque fértiles), generalmente no aptos para actividades agrícolas, que ocupan la mayor parte de la zona de estudio, con pendientes, en algunas ocasiones, mayores a 45% (Rebollar y Rojo, 2010). Particularmente, las cabras tienen la habilidad de ingerir compuestos arbustivos y herbáceos, por su habilidad trepadora. Generalmente la producción pecuaria en agostaderos no dispone de otras fuentes de alimentación durante el año, es por ello que requieren de grandes extensiones de terreno (Arbiza y de Lucas, 2001). Predomina la baja tecnificación y se practica el sobrepastoreo, donde los caprinos y bovinos aprovechan la vegetación nativa de la región y los pastos C₄ introducidos en la entidad mexiquense.

Los pastizales en el Estado de México representan 14.51% de la superficie total del territorio; en el sur del Estado se encuentran pastos tropicales nativos e introducidos como el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) (ICAMEX, 2015).

2.3 Morfología y estructura típica de hoja y tallo de gramíneas forrajeras

Las plantas vasculares están compuestas principalmente por tres sistemas de tejidos: epidermal, vascular y fundamental. La distribución de estos tejidos depende del grupo taxonómico, parte vegetal y tipo de fotosíntesis en hoja (C_3 o C_4). El tejido vascular se encuentra dentro del fundamental y la epidermis forma la cubierta más externa. La principal variación depende de la distribución y proporción de tejido vascular y fundamental, tanto en tallo como en hoja (Esau, 1977).

Las gramíneas constan de un tallo, caña o culmo cilíndrico y está articulado en ciertos puntos llamados nudos, en los cuales se insertan las hojas a lo largo del tallo, en posición alterna y opuesta (Posada, 2005; Figura 1). El tallo de las gramíneas tiene una estructura rígida en la cual hay grandes proporciones de tejidos lignificados (Akin, 1989). Mediante un corte transversal se observa que los tallos contienen haces vasculares dispersos que forman un cilindro continuo de esclerénquima, hebras fibrosas entre haces pequeños y epidermis, y hebras de clorénquima alternadas con las de fibra (Esau, 1977). Las células del parénquima ocupan 50 a 60% del área transversal y varían en digestibilidad e histología de la lignina, lo cual depende de la especie y edad de la planta. La epidermis, anillo de esclerénquima y xilema vascular ocupan 28 a 34% del área transversal, reaccionan con floroglucinol-HCl (F-HCl) para tinción de lignina y es resistente a la biodegradación (Akin, 1989; Akin, 2007).

Las hojas de los pastos consisten de una lámina estrecha y una vaina rodeando el tallo. Las hojas de pastos de zonas templadas tienen vía fotosintética C_3 , se caracterizan por haces vasculares espaciados y mesófilo con un arreglo determinado esponjoso (Wilson *et al.*, 1983; Akin, 1989). El espacio intercelular en hoja de pastos C_3 es mayor que en pastos C_4 , lo cual se relaciona con una mayor penetración de bacterias, por lo tanto, mayor digestibilidad.

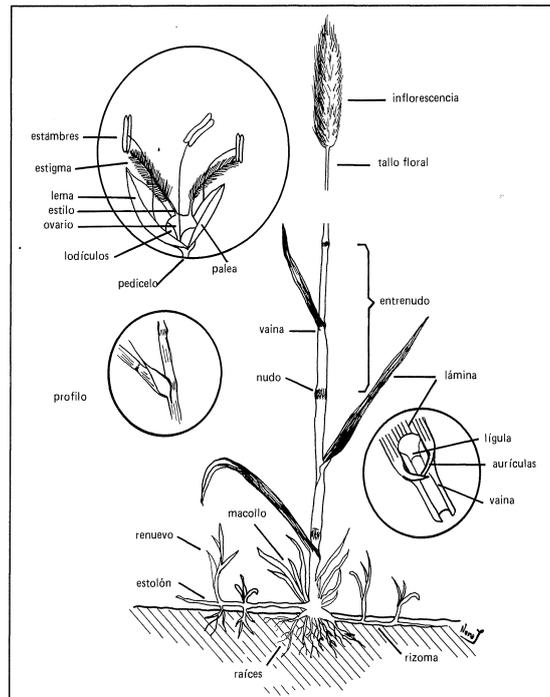


Figura 1. Morfología de una gramínea típica. Modificado de Ruiz (1988).

2.4 Metabolismo de plantas C₄

La fotosíntesis C₄ consiste en la función coordinada de dos tipos celulares en las hojas, usualmente en las células del mesófilo y las de la vaina del haz vascular (anatomía Kranz). En las hojas C₄, el CO₂ atmosférico entra a través del estoma y es inicialmente disponible para las células del mesófilo, donde es fijado por la fosfoenolpiruvato carboxilasa para formar oxalacetato y entonces malato y aspartato (Pessarakli, 2015). Los ácidos dicarboxílicos C₄ son transportados a las células de la vaina del haz vascular donde son descarboxilados, y el CO₂ liberado es fijado nuevamente por la ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa (Rubisco), y asimilado a través de las enzimas del ciclo de reducción fotosintética del carbono (Ciclo de Calvin) para formar sucrosa y almidón (Raghavendra y Sage, 2011). A pesar de la diferenciación anatómica en células de la vaina del haz vascular, estas son funcionalmente similares a las células del mesófilo de las C₃ (Cuadro 1), en la asimilación del carbono, excepto por la presencia de enzimas relacionadas con la descarboxilación de los ácidos C₄ (Sage y Monson, 1998).

Cuadro 1. Resumen de diferencias entre pastos C₃ y C₄.

Característica	Pastos C ₃	Pastos C ₄
<i>Sistemática y anatomía</i>		
Presencia de sistemática en pastos	Todos los pastos, Miembros del Clado BEP son exclusivamente C ₃	Muchos miembros son de la familia <i>Chloridoideae</i> , <i>Aristidiodeae</i> y <i>Panicoidae</i>
Anatomía de la hoja	Sin anatomía Kranz	Con anatomía Kranz (Células de la vaina del haz vascular)
Localización de liberación de CO ₂ al Ciclo de Calvin	Cloroplastos y Mesófilo	Cloroplastos en células de la vaina del haz vascular
<i>Fisiología</i>		
Enzima fijadora inicial de CO ₂	Ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa (Rubisco)	Fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEP)
Producto inicial de la fijación de CO ₂	2 moléculas de ácido fosfoglicérico (PGA)	3 – PEP
¿Susceptible a fotorespiración?	Si	No
Respuesta fotosintética al aumento de temperatura	Disminuye con aumento de fotorespiración y temperatura	Alta tasa de asimilación de CO ₂ con alta temperatura
Respuesta fotosintética al aumento de luminosidad	La asimilación de CO ₂ se satura a alta luminosidad	La asimilación se satura a más altas intensidades de luz que en C ₃
Uso eficiente del agua	Bajo	Alto
Concentración de N en hojas	200-600 mmol N m ⁻²	120-180 mmol N m ⁻² (con 3-6 veces menos Rubisco)
<i>Otros</i>		
Calidad de forraje: digestibilidad, proteína	Alto	bajo
Ventaja ecológica	Ambientes húmedos y templados	Ambientes, cálidos, secos y alta intensidad lumínica

Modificado de Gibson (2009). Nota: Algunos taxa exhiben características intermedias.

La significancia fisiológica de separar y coordinar la función de los dos tipos celulares en la fotosíntesis C₄, es la especialización de las células del mesófilo para la generación de una alta concentración de CO₂ en las células de la vaina del haz vascular, a fin de reducir la actividad de la oxigenasa de la Rubisco y en consecuencia la reducción de la fotorespiración. Por lo tanto, esta capacidad les confiere a las plantas C₄ mayor asimilación de CO₂ y en consecuencia mayor tasa de crecimiento, que sus pares C₃ (Raghavendra y Sage, 2011).

2.5 Generalidades de *Cynodon nlemfuensis*

El pasto estrella de África se encuentra extendida por África Oriental y por varios países con zonas tropicales definidas (Bodgan y Borbolla, 1997).

Clasificación taxonómica de la planta:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Division: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Cyperales

Familia: *Poaceae*

Género: *Cynodon*

Especie: *Cynodon nlemfuensis*

Sobre esta especie se han hecho una gran variedad de estudios principalmente en la América Central, en aspectos relacionados con la respuesta al corte y fertilización (Feuchler, 2000). Se adapta bien desde el nivel del mar hasta los 1300 msnm (Amendola, 2002). No es exigente en cuanto a la humedad y tolera la sequía, siempre que no sea mayor de 4 meses. Se adapta bien a condiciones de precipitaciones menores de 4500 mm, pero no tolera suelos con mal drenaje o inundados, ni tampoco se adapta a suelos de baja fertilidad o con problemas de salinidad (Cano *et al.*, 2003).

El calor y la sequía temporal no disminuyen su crecimiento y desarrollo, siempre que exista alguna reserva hídrica en el suelo. Es tolerante a las condiciones

de salinidad (McIlroy, 1987). La época de siembra es en la estación lluviosa y se realiza con material vegetativo debido a que no produce semillas sexuales viables.

2.6 Manejo y pastoreo

Los factores de manejo del pastoreo influyen sobre el crecimiento de los pastos y determina la disponibilidad de alimento para los animales; algunos de estos factores son: presión de pastoreo, tiempo de permanencia de los animales en el potrero y período de descanso de la pradera (Amendola, 2006). La cantidad y calidad de forraje consumido en la pradera se ve afectada durante las épocas críticas del año, donde la disponibilidad y calidad de pasto, expresada en términos de contenido de proteína cruda y energía digestible, disminuyen considerablemente, lo que contribuye a una reducción en el consumo de forraje (Amendola, 2002). Los principales problemas de la ganadería en las zonas tropicales son la baja producción de carne por hectárea y la baja ganancia de peso por animal, por lo tanto, el uso de pastos rústicos como el *Cynodon nlemfuensis* en la cría de becerras y animales de engorda en pastoreo suple los nutrientes esenciales para la alimentación.

2.7 Composición química de los forrajes

Los factores que determinan la calidad de los pastos son su valor nutritivo, digestibilidad y aceptabilidad por parte de los animales que los pastorean (Burton *et al.*, 1993). Con base en la composición química de los alimentos, el análisis proximal cuantifica los principales grupos de nutrientes. En otras palabras, evalúa la calidad de un alimento en función de grupos de compuestos con características físico-químicas semejantes, pero con diferente valor nutritivo (Tejada, 1992).

2.7.1 Humedad

Cantidad de agua contenida en la muestra. Se calcula como la pérdida de peso al desecar la muestra en una estufa, a presión atmosférica, con temperatura ligeramente superior a la de la ebullición del agua, hasta alcanzar peso constante (Escamilla *et al.*, 2000).

2.7.2 Proteína cruda

El contenido de N total de una muestra de alimento es generalmente determinado usando el método Kjeldhal. Alternativamente, se puede realizar una combustión total en un autoanalizador (AOAC, 1995). El principio básico para

estimar el contenido de proteína de una muestra es a partir del contenido de nitrógeno (N) total, y se asume que la proteína verdadera (de origen aminoacídico) contiene en promedio 16% de N.

2.7.3 Extracto etéreo o grasa

Esta fracción del alimento está compuesto por ácidos grasos, glicéridos, colesterol, pigmentos, aceites volátiles, resina, etc. Su propósito es aportar al organismo los ácidos grasos esenciales; se le considera como fuente secundaria de energía. Su valor se determina mediante la cantidad de grasa o aceite que se extrae de la muestra al agregarle éter de petróleo o cloroformo (Tejada, 1992).

2.7.4 Cenizas

Generalmente formadas por minerales y en ocasiones contienen sustancias no combustibles algunas de las cuales son indigestibles. Es una fuente inespecífica de minerales por lo que su valor nutricional depende del tipo de alimento del que provenga, su valor es igual al peso del residuo que se obtiene después de calcinar la muestra (Shimada, 2003).

2.7.5 Fibra cruda

Está formada por glúcidos insolubles (celulosa y hemicelulosa) y lignina. Es una fuente de energía para los rumiantes. Su valor es igual al del peso del residuo insoluble que se obtiene al someter la muestra libre de grasa a ebullición con álcalis y ácidos diluidos, menos el peso de dicho residuo después de ser calcinado. Los sistemas tradicionales para determinar el contenido de fibra en alimentos animales han sido el análisis proximal (método Weende) y el método de Van Soest (Van Soest *et al.*, 1991). Este último tiene ventajas sobre el primero porque separa a los carbohidratos de acuerdo a su disponibilidad nutricional y hasta puede servir como predictor de la digestibilidad de un forraje (Van Soest *et al.*, 1994).

2.7.6 Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido

El método de detergentes determina en un primer lugar el contenido celular (carbohidratos solubles, almidón, B-glucanos) y pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). La fibra detergente neutro (FND), es el residuo remanente después de una solubilización del alimento en detergente neutro, está compuesto por hemicelulosa, celulosa, lignina, cenizas y proteína ligada a estas fracciones, y

por esto ha sido comparada con el término “pared celular”. Sin embargo, esta relación no es tal, ya que la FND es un producto analítico con características nutricionales (Jung y Allen, 1995).

De todas las fracciones fibrosas, la FND es la mejor correlacionada con el consumo voluntario, siendo por esto la fracción más importante de la fibra a considerar. La fibra detergente ácido (FDA) es el residuo remanente de la solubilización de los alimentos en detergente ácido. Este detergente provoca la solubilización de los componentes que el detergente neutro más la hemicelulosa. A pesar de las asociaciones estadísticas positivas encontradas entre concentración de FDA y digestibilidad (Nelson y Moser, 1994), no existe una base científica sólida que conecte estos parámetros (Van Soest *et al.*, 1991).

2.8 Compuestos fenólicos y lignina

Los componentes secundarios de importancia ecológica en pastos son clasificados en cuatro clases; componentes nitrogenados, terpenoides, componentes fenólicos y otros (Himmel, 2008). Las plantas sintetizan una gran cantidad de metabolitos secundarios con una proporción significativa de componentes fenólicos y flavonoides (Carpita, 2000). Los componentes fenólicos tienen uno o más grupos hidroxilos unidos directamente a un anillo aromático (fenol; “benzeno”). Los fenoles son en muchos casos similares a alcoholes de estructura alifáticas donde el grupo hidroxilo es unido a una cadena de carbonos. Los compuestos fenólicos son divididos en dos categorías flavonoides y polifenoles no flavonoides (Maqsood, *et al.*, 2014). Los ácidos fenólicos son derivados del ácido benzoico y de los ácidos cinámicos (Dykes y Rooney, 2007).

Los ácidos cinámicos más comunes son cafeico, p-cumarico, sinapico y ácidos ferúlicos, los cuales están presentes en los alimentos como ésteres simples con ácido quinico o glucosa. Probablemente, el más conocido está unido al ácido hidroxicinámico y es llamado ácido clorogénico, el cual es una combinación de ácido cafeico y quinico. Las ligninas son complejos heteropolímeros aromáticos ramificados derivado principalmente de tres monómeros de alcoholes hidroxicinámicos diferenciados en su grado de metoxilación, alcohol p-cumaril (MH), alcohol coniferil (MG), alcohol sinapil (MS) (Boerjan *et al.*, 2003). Esos monolignoles producen unidades de fenilpropanoide p-hidroxifenil (PH), guayacil (PG), y siringil (PS) cuando son incorporados al polímero de lignina.

La cantidad y composición de lignina varía entre taxas, tipos celulares y capas de la pared celular, estos son influenciados por el ambiente y desarrollo de la planta. En pastos, las ligninas incorporan unidades G (guayacil) y S (siringil), con cantidades mayores de H (p-hidroxifenil) que en las dicotiledóneas. Lu y Ralph (2010) demostraron que las ligninas de los pastos derivan, no solo de los tres monolignoles tradicionales, sino también de acetilados de alcoholes sinapil/coniferil. Entonces se considera a los ferulatos precursores de las ligninas de los pastos (Lu y Ralph, 2008; Lu y Ralph, 2005; Vanholme *et al.*, 2008). Esos monolignoles acilados y ferulatos rápidamente copolimerizan con los alcoholes p-cumaril, coniferil y sinapil para producir ligninas de los pastos con características únicas.

2.9 Factores que afectan la digestibilidad de los forrajes

Existen muchos factores que afectan la digestibilidad de los nutrientes que se les ofrece a los rumiantes de los cuales mencionamos los más importantes:

2.9.1 Plano nutricional

La digestibilidad de los nutrientes orgánicos se reduce con el mayor consumo, porque su paso a través del sistema digestivo se acelera y depende del estado fisiológico del animal (mantenimiento, crecimiento y lactación) (Church *et al.*, 2002).

2.9.2 El contenido de fibra en el alimento

La digestibilidad es inversamente proporcional al contenido de fibra. En los forrajes la relación fibra-lignina es probablemente el factor más importante que afecte a la digestibilidad de la fibra (Mc Donald *et al.*, 2002).

2.9.3 Diferencias entre especies

Algunos estudios mencionan las diferencias entre rumiantes en cuanto a la utilización de ciertos tipos de forrajes, debido al 1) grado de selectividad (ej. la cabra es más selectiva que los bovinos), 2) el ganado vacuno digiere mejor los alimentos toscos y los ovinos digieren mejor los concentrados debido a sus condiciones de población bacteriana presentes en el rumen (Mc Donald *et al.*, 2002).

2.9.4 Deficiencias nutricionales

El rumen sufre de proteína microbiana y metabolitos (NH_3 , AGV) al animal. Sin embargo, la microbiota ruminal depende de ciertos minerales que permiten a los microorganismos su máximo desarrollo (ej., S, Mg) (Mc Donald *et al.*, 2002).

2.9.5 Preparación de alimento

La extrusión, laminado o peletizado de forrajes y granos mejora su digestibilidad. El tamaño de la partícula (molienda muy fina del forraje) del forraje puede disminuir el consumo y por lo tanto conlleva a factores que afectan la digestibilidad de los nutrientes (Church *et al.*, 2002).

2.9.6 Relación hoja/tallo en los forrajes

En pastos tropicales hay un incremento de la biomasa del tallo en especies estoloníferas después de 6 semanas desde el rebrote, debido al incremento en la senescencia foliar y la consecuente caída de hojas, que contribuye a la acumulación de tejido foliar muerto (Lemaire *et al.*, 2000). El incremento de la relación hoja:tallo en gramíneas tropicales aumenta por el manejo de pastoreo y la selectividad de hojas o rebrotes tiernos por animales, específicamente por cabras. Maya *et al.* (2005) analizaron el comportamiento del pasto estrella solo y en asociación con *Leucaena* en asociación a diferentes edades de cosecha, y conforme se incrementaron los días de rebrote la digestibilidad disminuyó de forma significativa, efecto asociado principalmente al aumento en el contenido de FDN.

2.9.7 Madurez del forraje

La tasa de disminución en la digestibilidad con el incremento de la madurez depende de la temperatura (Struik *et al.*, 1985; Wilson *et al.*, 1991) y la especie (Hole, 1985). La edad de la planta y madurez afectan la digestibilidad del tallo rápidamente (Gibson, 2009; Nelson y Moser, 1994) y en la hoja sucede algo similar, pero cuando la disminución es más rápida en el tiempo con el incremento de madurez, la relación tallo:hoja incrementa (Terry and Tilley, 1964). Durante un rápido crecimiento, las plantas normalmente contienen nutrientes suficientes para promover el crecimiento, ganancia de peso, respuesta reproductiva y producción de leche en ganado. Sin embargo, cuando inicia la madurez los niveles de muchos nutrientes

decrecen, así los forrajes son incapaces de suplementar de nutrientes al ganado. Es importante la sincronización de época de corte con estados óptimos de crecimiento

2.9.8 Plagas y enfermedades

Se ha reportado que las plagas por insectos afectan la reducción del área de la hoja del 15 al 67% en alfalfa, lo que contribuye al aumento del tallo y disminución de la biomasa (Hutchins y Pedigo, 1989; Hutchins *et al.*, 1989), afectando de esta manera la calidad del forraje. Sin embargo, Moellenbeck *et al.* (1992) concluyeron que no todas las enfermedades alteran el número de tallos cosechados, así como el contenido de FDA, PC, FDN y DIVMS.

2.9.9 Época de crecimiento y corte

Bruinenberg *et al.* (2002) investigaron *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *P. pratensis* y *Festuca arundinacea*, el cambio en las proporciones de la hoja, vaina de la hoja y tallo durante la primavera, y encontraron digestibilidad similar en la lámina de la hoja y vaina de la hoja, mientras que el tallo tuvo coeficientes menores. Algunas especies de floración temprana pueden formar nuevos vástagos al final de la primavera, pero después del primer corte al inicio del verano, otras especies de floración tardía probablemente inician la elongación del tallo (ej. *M. caurela*, *P. pratense* y *E. repens*), lo que disminuye la digestibilidad de los componentes de la pared celular (Bruinenberg *et al.*, 2002).

2.10 Factores que afectan la digestibilidad de los forrajes

De los componentes de los vegetales, los contenidos celulares (carbohidratos solubles, almidones, ácidos orgánicos y proteínas) son digeridos total y rápidamente por los rumiantes (Jung y Allen, 1995). Por otro lado, la celulosa, principal componente de la pared celular, también es susceptible de ser digerida por los microorganismos del rumen, pero depende del estado de lignificación de la planta, en función de ello se degradará en mayor o menor grado (Terashima *et al.*, 1993).

Las hemicelulosas, son componentes menores de las paredes celulares pueden ser digeridas rápidamente, de forma similar, hasta formar carbohidratos solubles. El grado en que este procesó ocurre depende entre otras cosas, de la cantidad de lignina depositada en las paredes celulares, por lo cual depende a su vez del grado de maduración de las plantas (Rose, 2003).

Como las paredes celulares encierran el contenido celular digerible, la digestibilidad de toda planta depende en gran medida de la fracción del contenido de pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). Por lo tanto, la digestibilidad decrece con la madurez fonológica de la planta, de forma que el forraje a menor edad tiene una digestibilidad alta con respecto a un forraje de mayor edad (Trujillo, 2016).

En los forrajes, existe una relación inversa entre el contenido de proteína (total) y el contenido de fibra. A medida que se aproxima la madurez de la planta el contenido en fibra aumenta y el contenido de proteína decrece (Buchanan-Wollaston *et al.*, 2003). Lo mismo se dice cuando el material presente en una planta joven contiene una pequeña cantidad de fibra no fermentable, no es hasta que alcanza un estado de madurez cuando la lignificación alcanza un grado tal, en el cual la digestibilidad se ve afectada (Trujillo, 2016).

2.11 Métodos para estimar la digestibilidad de los forrajes

La composición química de un alimento es solamente indicativa de su contenido de nutrimentos, mas no de su disponibilidad para el animal, por lo que es necesario contar además con datos de digestibilidad. Esta se define como el porcentaje de un nutrimento dado que se digiere (desaparece) en su paso por tracto digestivo (Shimada, 2017).

2.11.1 Método *in vivo*

La determinación de digestibilidad de los alimentos *in vivo*, tradicionalmente se determina mediante la medición del alimento consumido y el alimento que es excretado en heces, predeterminando la cantidad de materia seca del alimento y posteriormente la de las heces, esta última denominada digestibilidad aparente ya que no contempla ni resta las excreciones de las células de descamación y bacterias procedentes del tracto gastrointestinal. No obstante, al realizar una corrección a esta última obtendríamos lo que se denomina comúnmente “digestibilidad real de los alimentos”. El valor comúnmente utilizado es el “coeficiente de digestibilidad aparente” (Castellanos *et al.*, 1990), y la fórmula es:

$$\text{Digestibilidad} = \frac{\text{nutriente consumido} - \text{nutriente excretado}}{\text{nutriente consumido}} \times 100$$

2.11.2 Método *in situ* o *in sacco*

La técnica de bolsas de nylon (*in sacco*) ha sido usada por muchos años, provee información sobre el porcentaje y puntos de constituyentes de alimentos desaparecidos (Mehrez y Orskov, 1977). Esta técnica provee medios necesarios para estimar porcentajes de desaparición y degradabilidad de los constituyentes de los alimentos la desventaja de este método es que es muy reducido el número de muestras de alimento que se pueden valorar y que también requiere como mínimo de tres animales fistulados y provistos de una cánula ruminal para considerar las variaciones debido a los animales. Esta técnica es muy laboriosa y debido a la cantidad de muestras que se necesitan evaluar, los errores obtenidos son principalmente por una determinación gravimétrica (la variación de la digestión por una pérdida de peso) que distorsiona los resultados, así como la adherencia de microorganismos (Oskorv y McDonald, 1979).

2.11.3 Degradabilidad *in vitro*

El método *in vitro* tiene la ventaja de utilizar un mayor número de alimentos y repeticiones de los mismos además el mantenimiento de las condiciones experimentales permite controlar una serie de factores extrínsecos (eliminar el efecto animal). Las técnicas *in vitro* más utilizado es: el método de producción de gas (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994; Theodorou y France, 2000). Las técnicas para medir la producción de gas han sido utilizadas para evaluar el valor nutritivo de los alimentos el gas producido provee de valores para determinar las fracciones solubles e insolubles de los alimentos (Getachew *et al.*, 2005).

Esta técnica se recomienda para determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y orgánica de los forrajes. Mide la fermentación microbiana de los alimentos a partir del volumen de gas producido *in vitro* (Fondevila y Barrios, 2001). Estas técnicas requieren de botellas o jeringas de vidrio para la incubación de un sustrato con una mezcla de líquido ruminal y solución buffer que supla los requerimientos de nutrientes, principalmente de amonio (saliva artificial), que es una limitante en forrajes de baja calidad (Pell y Schofield, 1993; Theodorou y France, 2000).

Para la técnica de producción de gas se prepara el medio de incubación con una mezcla por orden (mL L⁻¹) agua destilada, solución de micro minerales, solución de elementos principales, solución buffer, resazurina al 0.1% y solución reductora.

Por otro lado, se muestrea el contenido ruminal (líquido sólido) con ayuda de una bomba de vacío procedente de dos animales donadores los cuales se recomienda que tengan una adaptación a una dieta estándar (50:50 heno de alfalfa: paja de cebada) suplementados con 2% de mezcla de vitaminas y minerales. Para realizar la saliva artificial se adiciona el agente reductor (50 mL L⁻¹ medio: añadir 2 mL 1N NaOH a 47.5 mL de agua destilada, luego añadir 285 mg Na₂S • 7 H₂O). Añadir a la mezcla sin diluir 285 mg NaS • 7 H₂O). Añadir a la mezcla de ingredientes (sin incluir líquido ruminal), y gasear con CO₂ hasta que vire de rosa a incolora. Sí hay problemas con el reductor aplicar 3% de L-cisteína HCl • H₂O (0.5 g de medio), y en tal caso las proporciones (mL L⁻¹) de las distintas proporciones: H₂O, 500 mL; sol microminerales, 0.13 mL; solución buffer 249 mL; resazurina 1.28 mL (Menke y Steingass, 1988; Theodorou *et al.*, 1994; Theodorou y France, 2000).

Para el caso de líquido ruminal homogenizar la solución gasificando con CO₂ durante 3 min y se filtra por 2 capas de gasa para eliminar las partículas pequeñas de alimento y protozoarios. Cuando la mezcla de ingredientes se encuentra incolora se adiciona el líquido ruminal y se mezclar agitando y gasifica con CO₂ durante unos 10 min, posteriormente se llenan los frascos de acuerdo Theodorou *et al.* (1994), igualando el contenido a 90 mL de solución buffer y 10 mL de líquido ruminal, enseguida se cierran y sellan los viales y se incuban en baño de agua a 38 °C. Inmediatamente después de llenar los viales se registra el volumen inicial (PSi), se registra la acumulación de gas (mL) cada horas hasta las 8 h y después cada 4 h hasta las 72 h.

2.11.4 Modelo utilizado de ajuste de producción de gas *in vitro*

La ecuación utilizada para el ajuste de la curva de producción de gas es la propuesta por Krishnamoorthy *et al.* (1991): $P_g = b(1 - e^{-ct})$

Donde:

Pg. Producción de gas

b. Producción total de gas (mL gas /g MS inicial)

c. Tasa de degradación con respecto al tiempo (h)

t. Tiempo (h)

$$v - D^*(1 - e^{k*t})$$

$$v - D^*(1 - e^{k*(t-1)})$$

Donde:

v. Es la producción acumulada del gas en un momento dado (mL)

D. Producción acumulativa potencial del gas (mL)

k. Tasa de producción del gas (h^{-1})

t. Tiempo de la fermentación (h), y

1. Retraso inicial para el inicio de la fermentación (fase lag, h).

3. JUSTIFICACIÓN

En la región sur del Estado de México, la práctica ganadera se basa en la producción de caprinos, así como cría y engorde de ganado bovino de doble propósito, principalmente bajo sistemas de alimentación extensiva. Las especies forrajeras presentes en la región son variedades tropicales, caracterizadas por su rápido crecimiento, rusticidad y prevalencia a condiciones extremas climatológicas. Entre ellas destaca el pasto estrella de África (*Cynodon nlemfuensis*) por su habilidad de propagación, resistencia y aporte de nutrientes. Sin embargo, se desconoce el potencial forrajero de esta gramínea en la zona sur del Estado de México. De tal manera que es necesario evaluar y conocer la calidad nutricional en términos de composición química y degradabilidad *in vitro* de este forraje y su variación nutritiva en diferentes épocas del año con el propósito de conocer el potencial de esta gramínea en la ganadería del sur mexiquense.

4. HIPÓTESIS

La calidad nutritiva del pasto estrella de África (*Cynodon nlemfuensis*) varía según la unidad de producción y época del año (secas vs lluvias).

5. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el contenido de nutrientes y degradabilidad *in vitro* del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) cosechado en dos épocas de crecimiento en el sur del Estado de México.

Objetivos específicos

- Analizar la composición química del pasto estrella de África de nueve unidades productivas ganaderas localizadas en cinco municipios del sur del Estado de México en distinta época de crecimiento (secas y lluvias).
- Estimar la degradabilidad *in vitro* del pasto estrella de África de nueve unidades productivas ganaderas del sur del Estado de México en distinta época de crecimiento (secas y lluvias).

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Material

6.1.1 Biológico

Dos ovinos canulados en rumen para obtención de líquido ruminal.

Muestras de pasto estrella de África, de nueve unidades productivas de bovinos productores de carne en pastoreo, colectadas en dos épocas (secas y lluvias), de los municipios de Amatepec, Tejupilco, San Pedro Tenayac, Zacazonapan y Luvianos, del sur del Estado de México.

6.1.2 Equipo de laboratorio

Mufla, estufa, molino, digestor N - Kjeldahl, determinador de fibra Ankom y reactivos para llevar a cabo la determinación analítica (según Van Soest *et al.*, 1991).

Técnica *in vitro*: Viales serológicos de vidrio (125 mL), lana de vidrio, transductor de presión (manómetro), incubadora y muestras de forraje.

- Bolsas para la recolección de las muestras.
- Segadora.
- Cuadernos.
- Lapicero.
- Computadora.
- Baño incubador.
- Estufa para secar las muestras.
- Molinos.
- Balanza.

6.2 Métodos

6.2.1 Muestreo de forrajes

En cada unidad de producción seleccionada, se realizaron dos muestreos de forraje, uno en la época de secas y el otro en la época de lluvias. De cada pradera de pasto estrella de África y por cada época, se colectaron seis muestras compuestas de varias (4-6) muestras primarias cortadas a cinco cm del suelo con

segadora; cada muestra compuesta tuvo aproximadamente 3 kg de forraje verde, y mediante la técnica de cuarteo, se tomó una muestra compuesta (1 kg), que fue llevada al Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Autónoma del Estado de México.

6.2.2 Análisis de laboratorio

Las muestras fueron transportadas al laboratorio, se procedió a secarlas en bolsas de papel, para luego molerlas en molino Wiley (tamaño de malla - 2 mm) y fueron almacenadas en frascos hasta su análisis químico proximal. Para la determinación de la composición química se determinó: materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína, N-Kjeldahl (AOAC, 1995); y para la fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND) y lignina ácido detergente (LAD) se empleó el método de Van Soest *et al.* (1991).

6.2.1 Determinación de degradabilidad

La degradabilidad *in vitro*, se determinó mediante la técnica propuesta por Theodorou *et al.* (1994), para ello se incubaron las muestras (800 mg de MS) de pasto estrella de África en viales serológicos (125 mL) por triplicado más las soluciones minerales e indicadoras (Cuadro 2); se incluyeron tres estándares con paja de cebada, más tres frascos sin sustrato como “blancos”. Se registró la producción de gas a las 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 h, para posteriormente determinar la tasa de fermentación ruminal y degradabilidad de la materia seca (MSd). Finalmente, los resultados se ajustaron a las ecuaciones propuestas por France *et al.* (1993) y Krishnamoorthy *et al.* (1991).

6.3 Diseño, modelo y análisis estadístico

El diseño experimental usado fue uno completamente al azar con arreglo factorial (9x2), donde se estudió el efecto de la pradera (9 unidades productivas) y época de crecimiento (lluvia y seca) en la que se cortó el forraje estrella de África. El modelo estadístico usado, fue el siguiente (Martínez, 1988):

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + E_j + P \times E_{(ij)} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} =variable de respuesta

μ = Media general

P_i = efecto de la i-ésima unidad productiva

E_j = efecto de la j-ésima época de crecimiento

$P * E_{(ij)}$ = efecto de la interacción de la unidad productiva x época de crecimiento

e_{ijk} = el error experimental

Los promedios de cada variable con efecto significativo fueron comparados con la prueba Tukey con $P < 0.05$ (SAS Institute Inc., 2004).

Cuadro 2. Composición de las soluciones utilizadas en la técnica de producción de gas *in vitro*.

Composición (g)				
Solución de elementos traza	Solución de elementos principales	Solución buffer	Resarzurina	Solución reductora
13.2 g	5.7 g	35.0 g	100 mg	40 ml NaOH 1N
CaCl ₂ •H ₂ O	Na ₂ HPO ₄	NaHCO ₃	Resarzurina	
10.0 g	6.2 g	4.0 g	1000 ml	6.2 ml
MnCl ₂ •H ₂ O	KH ₂ PO ₄	(NH ₄)HCO ₃	H ₂ O	Sulfuro de Na
1.0 g	0.6 g	1000 ml H ₂ O		950 ml H ₂ O
CoCl ₂ •6H ₂ O	MgSO ₄			
0.8 g	1000 ml H ₂ O			
FeCl ₂ •6H ₂ O				
100 ml H ₂ O				

Menke y Staingass (1978); Theodorou *et al.* (1994).

7. LÍMITE DE ESPACIO

Los análisis para la composición química y digestibilidad *in vitro* se realizaron en el Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México; ubicado en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Localizada a 190 24" longitud norte y 990 41" longitud oeste, a una altura de 2640.5 msnm de clima templado con lluvias en verano, temperatura media anual de 12 a 14 °C y una precipitación media anual de 1000 a 1200 mm.

El estudio se realizó en 9 unidades de producción de bovinos de doble propósito en pastoreo, en comunidades rurales de los municipios de Amatepec, Tejupilco, Zacazonapan, San Pedro Tenayac y Luvianos, Estado de México. Estas unidades productivas fueron seleccionadas, de acuerdo con prácticas de manejo similares en cuanto al sistema de producción. La ubicación geográfica de los municipios se presenta a continuación:

Amatepec

Se localiza a 139 kilómetros de la capital del Estado de México, y se ubica entre los paralelos 18° 40' 58" de latitud norte y entre los meridianos 100° 11' 11" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, al suroeste de la Ciudad de México y Toluca. Las coordenadas extremas son: máximas 18° 48' 26" latitud norte, 100°30'19" longitud oeste; mínima 18°35'26" latitud norte, 100°00'17" longitud oeste (INEGI, 2019), predominan principalmente dos tipos de climas, el templado y el subtropical (García, 2004). La temperatura varía de 15° hasta los 40°C.

Tejupilco

Está comprendido entre los paralelos 18° 45'30" y 19° 04'32" de latitud norte, y entre los meridianos 99° 59' 07" y 100° 36' 45" de longitud oeste, del meridiano de Greenwich (INEGI, 2019). El clima de Tejupilco varía de cálido a subhúmedo y a semicálido húmedo con lluvias en verano y con un porcentaje menor de lluvias en invierno. Generalmente el clima predominante en el municipio es templado, sin embargo, hay algunas delegaciones que se localizan a más de 1500 msnm (García, 2004).

Zacazonapan

Se localiza en la zona geográfica sur de la entidad, las coordenadas geográficas son entre los paralelos 19° 00' 17" y 19° 16' 17" de latitud norte y del meridiano 100° 12' 55" al meridiano 100° 18' 13" de longitud oeste. Se ubica a una altura media de 1,470 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2019). El clima predominante es el cálido, subhúmedo con humedad moderada. La temperatura media anual es de 23° C, la máxima anual de 31°C y la mínima anual de 15°C (García, 2004). La precipitación es de 1,800 milímetros anuales.

San Pedro Tenayac

La localidad de San Pedro Tenayac está situada en el municipio de Temascaltepec en las coordenadas geográficas 19° 02' 50.1" N y 100° 10' 35.2" O a 1714 m de altitud (INEGI, 2019). El clima es templado subhúmedo y se semiárido (García, 2004). La temperatura media anual oscila entre los 18°C y 22°C. La precipitación pluvial anual va de los 800 a los 1,600 milímetros.

Luvianos

Este municipio se ubica en el sur del Estado de México en las coordenadas geográficas 18° 55' 12" N y 100° 17' 54" O a 1130 m de altitud (INEGI, 2019). El clima varía de cálido a subhúmedo y a semicálido húmedo con lluvias en verano y con un porcentaje menor de lluvias en invierno, el clima predominante es el templado (García, 2004).

8. LÍMITE DE TIEMPO

El presente trabajo se realizó en las siguientes fechas: de abril de 2018 a noviembre de 2021, según el cronograma siguiente.

8.1. Cronograma de actividades

Abril 2018	Mayo 2018	Junio 2018	Julio 2018	Agosto 2018
Definición del tema de tesis.	Registro del protocolo de tesis.	Revisión del protocolo de tesis.	Ensayo de digestibilidad <i>in vitro</i> en forraje.	Segundo muestreo en unidades de producción.
Primer muestreo en las unidades de producción.	Secado de las muestras de forraje en estufa de aire forzado.	Aceptación y registro del protocolo de tesis.	Continuación con la revisión de literatura.	Secado de las muestras de forraje obtenidas.
Recopilación de la información.		Molienda de las muestras de forraje.	Conservación de forrajes procesados.	
		Análisis proximal en forraje.		Molienda de forraje.
Marzo 2019	Julio-Sept. 2019	Enero-Junio 2020	Julio-Nov. 2020	Julio-Diciembre 2021
Elaboración de bases de datos.	Análisis estadísticos.	Escritura del trabajo final de tesis.	Ingreso para revisión trabajo final de tesis.	Aprobación de tesis final. Presentación de examen profesional

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química

El resultado de la composición química del forraje estrella de África cosechado en nueve unidades de producción durante dos épocas del año, se presentan en los Cuadros 3, 4 y 5. Amatepec 2 tuvo el forraje con menor contenido ($P < 0.05$) de PC y San Pedro Tenayac tuvo mayor PC. De manera tal que los niveles bajos de PC no cumplen con los requerimientos de mantenimiento para un animal rumiante. Pero el resto de las Unidades de producción están dentro del rango necesario para alimentar a nivel de mantenimiento a los rumiantes. Para MO y cenizas no se observaron diferencias ($P > 0.05$). Asimismo, el contenido de lignina fue distinto ($P < 0.05$) entre Unidades de Producción, lo que evidencia una menor disponibilidad de nutrientes por el efecto recalcitrante de esta (Trujillo, 2016).

Cuadro 3. Composición química de pasto estrella de África (g kg^{-1} MS), en unidades de producción del sur del Estado de México.

Unidad de producción	PC	MO	Cenizas	FDN	FDA	LAD
Amatepec 1	85.6 ^c	808.40 ^a	191.60 ^a	322.7 ^a	147.4 ^a	51.0 ^{abc}
Amatepec 2	76.0 ^e	798.26 ^a	201.74 ^a	312.5 ^a	132.9 ^a	48.1 ^c
Amatepec 3	79.6 ^{de}	801.54 ^a	198.46 ^a	306.0 ^a	139.0 ^a	49.3 ^{bc}
Amatepec 4	93.2 ^b	799.15 ^a	200.85 ^a	317.4 ^a	149.9 ^a	49.9 ^{abc}
Tejupilco	83.6 ^c	799.64 ^a	200.36 ^a	327.8 ^a	149.0 ^a	50.3 ^{abc}
San Pedro Tenayac	106.6 ^a	804.38 ^a	195.62 ^a	315.8 ^a	151.3 ^a	48.3 ^c
Zacazonapan	83.1 ^{cd}	803.99 ^a	196.01 ^a	315.0 ^a	154.4 ^a	52.1 ^{ab}
Luvianos 1	83.9 ^c	800.22 ^a	199.78 ^a	340.6 ^a	162.9 ^a	53.5 ^a
Luvianos 2	80.4 ^{de}	800.25 ^a	199.75 ^a	320.4 ^a	144.1 ^a	51.3 ^{abc}
EEM ¹	3.040	1.082	1.085	3.320	2.894	0.590

^{abcde}Medias con distinto superíndice en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$).

PC, proteína cruda; MO, materia orgánica; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; LDA, lignina detergente ácido.

¹EEM=Error Estándar de la Media

Composición química de acuerdo a la época de año

El análisis químico del forraje estrella de África mostró diferencias ($P < 0.05$) entre épocas del año (Cuadros 4 y 5). Para MO los valores fueron: época de secas ($797.51 \text{ g MO kg}^{-1} \text{ MS}$) y época de lluvias ($806 \text{ g MO kg}^{-1} \text{ MS}$); en la composición química de cuatro forrajes tropicales Nogueira (2000) reportó en el pasto estrella de África $966 \text{ g MO kg}^{-1} \text{ MS}$ y en pasto Bermuda $945 \text{ g MO kg}^{-1} \text{ MS}$, pero Ramchurn (2000) reportó en forraje de estrella Africa $702 \text{ g MO kg}^{-1} \text{ MS}$.

En la época de lluvias se observó mayor ($P < 0.05$) cantidad de PC, este valor fue mayor a lo reportado por Ruhomaun y Driver (1999) en forraje estrella de África para la época de secas ($46 \text{ g PC kg}^{-1} \text{ MS}$) y época de lluvias ($87 \text{ g PC kg}^{-1} \text{ MS}$). El contenido de cenizas fue distinto ($P < 0.05$) entre épocas de crecimiento, estos valores son diferentes a los reportados por Silva (1997) en pasto King Grass evaluado en época de lluvias ($123.6 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) y época de secas ($178.3 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$). Referente a FDN contenida en el forraje de esta investigación, esta fue menor a lo reportado por Ramchurn *et al.* (2000), quienes encontraron valores de $346 \text{ g FDN kg}^{-1} \text{ MS}$ en forraje estrella de África. El contenido de la FDA fue mayor en la época de lluvias; sin embargo, estos valores son inferiores a los encontrados por Nogueira *et al.* (2000), el cual observó en forraje estrella de África ($493 \text{ g FDA kg}^{-1} \text{ MS}$) y en pasto Bermuda ($447 \text{ g FDA kg}^{-1} \text{ MS}$); no obstante, fueron similares a los encontrados por Galdámez *et al.* (2003) en pasto Bermuda cosechado en época de lluvias ($331.7 \text{ g FDA kg}^{-1} \text{ MS}$).

Respecto al contenido de LAD entre épocas de crecimiento de los forrajes hubo mayor lignificación en la época de secas; sin embargo, son valores menores a los observados por Nogueira *et al.* (2000), en pasto estrella de África ($115 \text{ g LDA kg}^{-1} \text{ MS}$) y pasto Bermuda ($75 \text{ g LDA kg}^{-1} \text{ MS}$), pero similares a los hallados por Ruhomaun y Driver (1999), en estrella de Africa cosechado en época de lluvias ($54.1 \text{ g LDA kg}^{-1} \text{ MS}$) y época de secas ($57.8 \text{ g LDA kg}^{-1} \text{ MS}$). Lo anterior indica que el efecto de época tuvo influencia en la composición química del forraje, tanto en PC, cenizas, FDA como en LAD. En pasto estrella africana, con 35 d de rebrote, se reportaron contenidos de PC ($147.0 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), FDN ($659.4 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) y FDA ($341.0 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) por [Estrada-Liévano *et al.*, 2009]. Por lo tanto, la composición química

del forraje está asociada con las diferencias entre localidades y calidad del suelo presente en estas.

Cuadro 4. Efecto de la época en la composición química (g kg⁻¹ MS) de pasto estrella de África.

Época	PC	MO	Cenizas	FDN	FDA	LDA
Seca (1)	53.6 ^b	797.5 ^a	202.4 ^a	327.8 ^a	152.3 ^a	51.1 ^a
Lluvias (2)	117.9 ^a	806.0 ^a	194.0 ^a	314.1 ^b	143.5 ^a	49.8 ^b
EEM ¹	32.150	4.252	4.208	6.852	4.401	0.658

^{ab}Medias con distinto superíndice en la misma columna son diferentes (P <0.05). PC, proteína cruda; MO, materia orgánica; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; LDA, lignina detergente ácido.

¹EEM=Error Estándar de la Media

Efecto de la interacción época con unidad de producción en la composición del forraje

Se observó efecto de la interacción época de lluvias con algunas localidades en el contenido de FDN (Cuadro 5 y Figura 2), lo anterior indica que en dichas regiones hubo mayor crecimiento de los forrajes, lo que propicia mayor rendimiento y por lo tanto mayores necesidades de acumulación de componentes estructurales por las plantas (Trujillo, 2016).

Cuadro 5. Composición química (g kg⁻¹ MS) de pasto estrella de África en unidades de producción de bovinos del sur del Estado de México en dos épocas.

Localidad	Época	PC	MO	Cenizas	FDN	FDA	LDA
Amatepec 1	Seca(1)	65.5	805.3	194.7	332.7	154.0	52.0
	Lluvias(2)	105.8	811.5	188.5	312.7	140.8	50.1
Amatepec 2	Seca (1)	39.1	790.7	209.3	323.2	150.7	51.6
	Lluvias(2)	113.0	805.8	194.1	301.8	115.0	44.6
Amatepec 3	Seca(1)	45.2	796.8	203.1	291.5	135.3	48.8
	Lluvias(2)	114	806.2	193.7	320.5	142.8*	49.9*
Amatepec 4	Seca(1)	45.0	797.3	202.7	304.2	137.0	50.1
	Lluvias(2)	141.4	801.0	199.0	330.6	162.9*	49.7
Tejupilco	Seca (1)	46.4	797.8	202.1	327.4	143.2	51.0
	Lluvias(2)	120.8	801.4	198.6	328.3	154.8*	49.7
San Pedro Tenayac	Seca (1)	68.2	798.6	201.3	310.8	145.0	49.2
	Lluvias(2)	145.0	800.1	189.8	321.6	158.0*	47.4
Zacazonapan	Seca (1)	61.0	803.1	196.8	303.8	140.0	51.7
	Lluvias(2)	105.1	804.8	195.2	346.3	168.6*	52.6*
Luvianos 1	Seca (1)	54.3	795.5	204.5	322.4	150.0	53.3
	Lluvias(2)	113.6	804.9	195.0	358.8	175.8*	53.6*
Luvianos 2	Seca (1)	57.8	792.3	207.7	311.4	136.5	52.3
	Lluvias(2)	103.0	808.2	191.8	329.4	151.8*	50.3
EEM ¹		11.810	1.853	1.985	5.458	3.513	0.721

*Efecto de la interacción Unidad de Producción con época de crecimiento (P<0.05). PC, proteína cruda; MO, materia orgánica; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; LDA, lignina detergente ácido.

¹EEM=Error Estándar de la Media

El contenido de LDA presentó interacción (P<0.05) de época de año con las unidades de producción Amatepec 3, Zacazonapan y Luvianos 1 (Cuadro 5 y Figura 3), lo que propició mayor agregación de lignina en la época de lluvias.

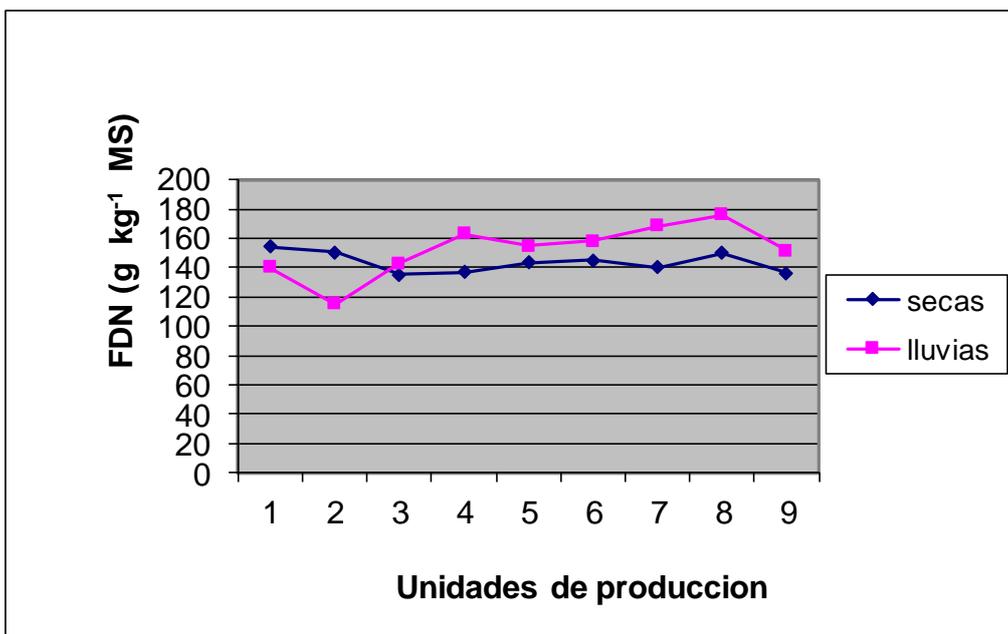


Figura 2. Efecto de la interacción unidad de producción con época en el contenido de FDN del forraje estrella de África. Unidades de producción: 1, Amatepec 1; 2, Amatepec 2; 3, Amatepec 3; 4, Amatepec 4; 5, Tejupilco; 6, San Pedro Tenayac; 7, Zacazonapan; 8, Luvianos 1, y 9, Luvianos 2.

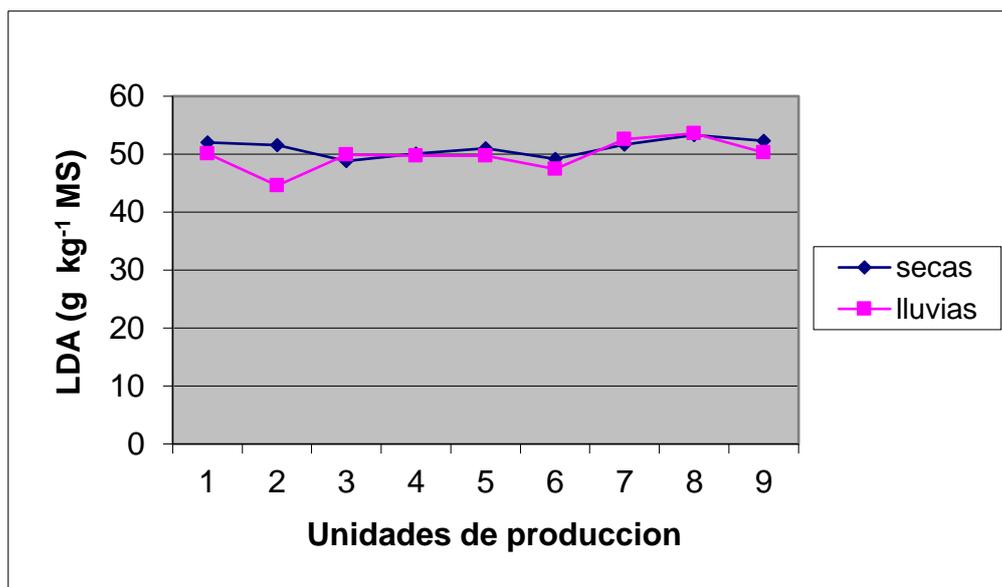


Figura 3. Efecto de la interacción unidad de producción con época en el contenido de LDA del forraje Estrella de África. Unidades de producción: 1, Amatepec 1; 2, Amatepec 2; 3, Amatepec 3; 4, Amatepec 4; 5, Tejupilco; 6, San Pedro Tenayac; 7, Zacazonapan; 8, Luvianos 1, y 9, Luvianos 2.

Fermentación y degradabilidad *in vitro*

Se observó efecto de época de crecimiento sobre la producción de gas *in vitro* (Cuadro 6), siendo mayor la degradabilidad en la época de lluvias. Lo anterior, pudo deberse al efecto del clima sobre el forraje, ya que se ha documentado que las condiciones adversas y el acortamiento del fotoperiodo aumentan la agregación de lignina a los componentes estructurales de la pared celular en gramíneas, y por consiguiente, disminuye la degradabilidad de los forrajes.

Cuadro 6. Comparación de la producción de gas entre las dos épocas estudiadas.

Época	b (mL gas g ⁻¹ MS inicial)	c (h ⁻¹)	fase Lag (h)	MSD (g 100 g ⁻¹ MS inicial)
Secas(1)	200.24 ^b	0.0123 ^a	1.98 ^a	34.39 ^b
Lluvias(2)	225.96 ^a	0.0117 ^a	1.89 ^a	48.73 ^a
EEM ¹	12.868	0.0032	0.051	7.174

^{ab}Medias en la misma columna con diferente literal son distintas (P<0.05). b, producción de gas; c, tasa de degradación, lag time; MSD, materia seca desaparecida.

¹EEM=Error Estándar de la Media

Para el efecto de la unidad de producción (UP9 se observaron diferencias (P<0.05) en producción de gas (b), la UP Amatepec 3 (189.57 mL gas g⁻¹ MS) fue menor a Amatepec 2 (233.52 mL de gas g⁻¹ MS) [Cuadro 7]. En cuanto a la tasa de degradación (c), esta fue similar (P>0.05) en todos los forrajes de las distintas UP. Pero en el tiempo de retardo (Fase lag) fue distinto (P<0.05) entre forrajes de las UP. En lo que se refiere a la materia seca desaparecida (MSD) se observaron diferencias (P<0.05) entre UP, siendo los forrajes de pasto estrella africana de Zacazonapan los que alcanzaron mayor degradabilidad y en Luvianos 2 el menor grado de degradabilidad *in vitro*.

Cuadro 7. Producción de gas de pasto *Cynodon nlemfuensis* en distintas Unidades de Producción del sur del Estado de México.

Unidad de Producción	b (mL gas g ⁻¹ MS inicial)	c (h ⁻¹)	fase Lag (h)	MSD (g 100 g ⁻¹ MS inicial)
Amatepec 1	205.70 ^{bcd}	0.0130 ^a	2.32 ^{ab}	41.77 ^{abc}
Amatepec 2	233.52 ^a	0.0124 ^a	1.74 ^{ab}	40.18 ^{bc}
Amatepec 3	189.57 ^d	0.0104 ^a	1.28 ^{ab}	40.20 ^{bc}
Amatepec 4	225.38 ^{ab}	0.0111 ^a	2.63 ^a	41.61 ^{abc}
Tejupilco	221.27 ^{ab}	0.0117 ^a	2.32 ^{ab}	42.78 ^{ab}
San Pedro T	197.84 ^{cd}	0.0133 ^a	2.66 ^a	42.31 ^{abc}
Zacazonapan	217.59 ^{abc}	0.0116 ^a	0.73 ^b	43.43 ^a
Luvianos 1	214.60 ^{abc}	0.0126 ^a	1.76 ^{ab}	42.16 ^{abc}
Luvianos 2	212.46 ^{abc}	0.0121 ^a	1.97 ^{ab}	39.62 ^c
EEM ¹	4.569	0.003	0.217	0.435

^{a,b,c,d}Medias en la misma columna con diferente literal son distintas (P<0.05). b, producción de gas; c, tasa de degradación, fase Lag; MSD, materia seca desaparecida.

¹EEM=Error Estándar de la Media

En forrajes con crecimiento en la época de lluvias se encontró mayor (P<0.05) producción de gas en pasto estrella africana en la UP Amatepec 4 (Cuadro 8). Interesantemente, en la época de secas, en la misma comunidad, el pasto estrella africana tuvo la menor producción de gas *in vitro*. Esto se vio reflejado de manera evidente en el tiempo requerido para iniciar la fermentación (fase Lag) y en la MSD (Cuadro 8). No obstante, la tasa de degradación (c) fue similar (P>0.05) entre unidades de producción.

Cuadro 8. Efecto de la interacción unidad de producción con época del año, sobre la digestibilidad *in vitro* del pasto *Cynodon nlemfuensis*.

Unidad de producción	Época	b (mL gas g ⁻¹ MS inicial)	c (h ⁻¹)	Lag (h)	DMD (g 100 g ⁻¹ MS inicial)
Amatepec 1	1	197.97 ^{bcde}	0.0126 ^a	2.25 ^{ab}	37.29 ^{cd}
Amatepec 2	1	230.91 ^{abcd}	0.0117 ^a	1.24 ^{ab}	37.12 ^{cd}
Amatepec 3	1	208.44 ^{bcde}	0.0092 ^a	0.94 ^{ab}	33.33 ^d
Amatepec 4	1	172.44 ^e	0.0123 ^a	1.32 ^{ab}	31.63 ^d
Tejupilco	1	191.22 ^{cde}	0.1320 ^a	3.30 ^{ab}	32.55 ^d
San Pedro T.	1	172.00 ^e	0.0130 ^a	4.32 ^a	36.38 ^{cd}
Zacazonapan	1	187.64 ^{de}	0.0112 ^a	0.18 ^b	36.02 ^{cd}
Luvianos 1	1	210.02 ^{bcde}	0.0131 ^a	2.05 ^{ab}	34.02 ^d
Luvianos 2	1	231.57 ^{abcd}	0.0136 ^a	2.71 ^{ab}	31.21 ^d
Amatepec 1	2	213.43 ^{bcde}	0.0134 ^a	2.40 ^{ab}	37.12 ^{ab}
Amatepec 2	2	236.13 ^{abcd}	0.0131 ^a	2.26 ^{ab}	43.25 ^{cd}
Amatepec 3	2	170.71 ^e	0.0117 ^a	1.63 ^{ab}	47.08 ^{ab}
Amatepec 4	2	278.32 ^a	0.0099 ^a	3.96 ^{ab}	51.59 ^a
Tejupilco	2	251.31 ^{ab}	0.0102 ^a	1.36 ^{ab}	53.01 ^a
San Pedro T.	2	223.69 ^{abcde}	0.0136 ^a	1.12 ^{ab}	48.25 ^{ab}
Zacazonapan	2	247.53 ^{abc}	0.0111 ^a	1.65 ^{ab}	50.85 ^a
Luvianos 1	2	219.17 ^{bcde}	0.0122 ^a	1.49 ^{ab}	50.32 ^{ab}
Luvianos 2	2	193.35 ^{bcde}	0.0105 ^a	1.23 ^{ab}	48.04 ^{ab}
EEM ¹		9.953	0.011	0.367	2.605

^{a,b,c,d,e}Medias en la misma columna con diferente literal son distintas (P<0.05). b, producción de gas (mL gas/g MS inicial); c, tasa de degradación, fase Lag; MSD, materia seca desaparecida. 1, época de secas, y 2, época de lluvias.

¹EEM=Error Estándar de la Media.

Nogueira *et al.* (2000) realizaron un estudio en cuatro tipos de pastos tropicales en la cual se evaluó la fertilización nitrogenada, estos autores encontraron que en pasto estrella de África con 100 d de rebrote, que la MSD fue de 258 (g 100

g⁻¹ MS) y la producción total de gas fue 122 mL/200 mg MS. Cruz y Jiménez (2004), evaluaron la digestibilidad *in vitro* de dos pastizales nativos (*Paspalum notatum* y *Axonopus compressus flugge*) en Temascaltepec, Estado de México, en la cual la producción de gas para *Paspalum notatum* fue 47.2 mL 200 mg MS, siendo este valor similar al forraje analizado en esta investigación para la época de lluvias (225.96 mL gas g⁻¹ MS inicial). En pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) sin fertilización orgánica con: 82.2 g PC kg⁻¹ MS y 154.7 g de lignina kg MS⁻¹, tuvo degradabilidad *in vitro* de la materia seca de 526.0 g kg⁻¹ (Ames *et al.*, 2014). Dado lo anterior, el incremento de lignina en la pared celular del pasto *Cynodon nlemfuensis* afecta directamente el alcance de la degradabilidad de la materia seca y la liberación de los nutrientes embebidos en la pared celular. No obstante, es interesante resaltar que las diferencias en dicho perfil de fermentación pueden ser atribuibles a la calidad de suelo y a la edad de rebrote entre Unidades de Producción bovina en el Sur del Estado de México.

10. CONCLUSIONES

La composición química del pasto estrella de África (*Cynodon nlemfuensis*) es diferente entre unidades de producción, y tiene efecto sobre la degradabilidad *in vitro* y los parámetros de fermentación.

La época de crecimiento tiene efecto diferencial sobre la agregación de lignina a los componentes estructurales de la pared celular en *Cynodon nlemfuensis* en algunas unidades de producción pecuaria de la zona sur del Estado de México.

11. LITERATURA CITADA

- Akin, D.E. 1989. Histological and physical factors affecting digestibility of forages. *Agronomy Journal*. 81:17-25.
- Akin, D. E. 2007. Grass lignocelluloses: strategies to overcome recalcitrance. *Applied Biochemistry and Biotechnology*.137:3-15.
- Amendola, R. D. 2002. A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico. PhD thesis. Wageningen University, The Netherlands. 269 pp.
- Amendola, R. D., Castillo, E., and P. A. Martínez. 2006. Country Pasture/Forage Resource Profiles – MEXICO. FAO. 54 p. <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/PDF%20files/Mexico-English.pdf> (Accessed: April 2018).
- Ames, J.P., Abbado, N.M., Dalazen, C.D., Maciel, M.L., Ducati, C., Cabrera, J.C., Taís, T.T. 2014. Dry matter production, chemical composition, dry matter digestibility and occurrence of fungi in Bermuda grass hay (*Cynodon dactylon*) under different fertilization systems or associated with pea plantings in winter. *Animal Production*. 41:163-174.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis Vol. II. 16th Edition. Association of Official Analytical Chemists International. Gaithersburgh, Maryland. pp:24-32.
- Arbiza, A.S.I. y de Lucas, T.J. 2001. La leche Caprina y su Producción. Editores Mexicanos Unidos, S. A. México.
- Boerjan, W., J. Ralph, and M. Baucher. 2003. Lignin Biosynthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 54:519-546.
- Bogdan, A.V. y Borbolla, H.E. 1997. Pastos tropicales y plantas de forraje: pastos y leguminosas. AGT EDITOR. México.
- Bruinenberg, M.H., Valk, H., Korevaar, H., y P.C. Struik. 2001. Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grasslands: a review. *Grass and Forage Science*. 57:292–301.
- Buchanan-Wollaston V., S. Earl, E. Harrison, E. Mathas, S. Navabpour, T. Page, and D. Pink. 2003. The molecular analysis of leaf senescence--a genomics approach. *Plant Biotechnol Journal*.1:3-22.
- Burton, G. W., R. N. Gates and G. M. Hill. 1993. Registration of 'Tifton 85' bermudagrass. *Crop Science*. 33:644.

- Cano, A.L., Aranda, I.E.M., Mendoza, M.G.D., Pérez, P.J. y Ramos J.A. 2003. Comportamiento de toretes en pastos tropicales suplementados con caña de azúcar y enzimas fibrolíticas. *Tec. Pec.* 41:159-161.
- Carpita, N., and M. McCann. 2000. The cell wall. In: B. Buchanan, W. Gruissem, and R. Jones (Eds). *Biochemistry and molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD. 52-108 pp.
- Castellanos, R.A., Llamas L.G. y Shimada S.A. 1990. Manual de técnicas de investigación en ruminología. Sistema de educación continua en producción animal en México, A. C. México.
- Church, D.C., Pond, W.G. y K.R. Pond. 2002. *Nutrición y alimentación de los animales*. 2 ed., Limusa. México.
- Dykes, L. and L.W. Rooney. 2007. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Food World*. 52:105-111.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of seed plants*. 2a ed. John Wiley & Sons, New York. 550 p.
- Estrada-Liévano, J.M., Sandoval-Castro, C.A., Ramírez-Avilés, L., Capetillo-Leal, C.M. 2009. *In vitro* fermentation efficiency of mixtures of *Cynodon nlemfuensis*, *Leucaena leucocephala* and two energy sources (maize or sugar cane molasses). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10:497-503.
- Feuchler, A.F. 2000. Manual de transferencia tecnológica para adoptar la metodología del establecimiento y manejo agropecuario biotecnología, propagación y uso sustentable de una pradera de zacate Bermuda (*Cynodon dactylon*). Universidad Autónoma Chapingo. Sonora, México.
- Fondevila, M. y Barrios, A. 2001. La técnica de producción de gas y su aplicación al estudio del valor nutritivo de los forrajes. *Revista cubana de ciencia agrícola*. Tomo 35, No. 3.
- France, J., Dhanoa, M.S., Theodorou, M.K., Lister, S. J. Davies, D.R. e Isac, D. 1993. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. *J. Theor. Biol.* 163:199-211.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Instituto de Geografía-UNAM. México. 98 p
- Getachew, G. DePeters, E.J. Robinson, P.H. y Fadel, J.G. 2005. Use of an *in vitro* rumen gas production technique to evaluate microbial fermentation of ruminant feeds and its impact on fermentation products. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123:547-559.

- Gibson, D. J. 2009. Grasses and grassland ecology. Oxford University, Press. USA. 323 p.
- Himmel, M. E. 2008. Biomass recalcitrance: Deconstructing the plant cell wall for bioenergy. Blackwell Publishing Ltd. 539 p.
- Hole, J.R. 1985. The nutritive value of silage made from *Poa pratensis* ssp. *Alpigena* and *Phleum pratense*. I. Ensiling studies carried out at Tjøtta, Va°gønes, Holt and Flaten Agricultural Research stations. Agricultural Research.
- Hutchins, S.H., Buxton, D.R., y L.P. Pedigo. 1989. Forage quality of alfalfa as affected by potato leafhopper feeding. *Crop Sci.* 29:1541-1545.
- Hutchins, S.H., y L.P. Pedigo. 1989. Potato leafhopper-induced injury on growth and development of alfalfa. *Crop Sci.* 29:1005-1011.
- ICAMEX, 2015. CAPRINOS. México; [citado 26 nov 2015]. Disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/pecuaria/caprinos/index.htm. Consultado en noviembre de 2018.
- INEGI, 2019. Climatología. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/>. Consultado: 09 de abril de 2019.
- Jung, H.G., and M.S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science.* 73:2774-2790.
- Krishnamoorthy H., Steingass H., Menke K.H. 1991. Preliminary observations on the relationships between gas production and microbial protein synthesis *in vitro*. *Arch. Tierernahr.* 41:521-526.
- Lemaire, G., Hodgson, J., A de Moraes, y Nabinger, C. 2000. Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. CABI Publishing. London, UK. 436 p.
- Lu, F.C., and J. Ralph. 2005. Novel β - β -structures in natural lignins incorporating acylated monolignols, in: Thirteenth International Symposium on Wood, Fiber, and Pulping Chemistry, APPITA, Australia, Auckland, New Zealanda. pp. 233-237.
- Lu, F.C. and J. Ralph. 2008. Novel tetrahydrofuran structures derived from β - β -coupling reactions involving sinapyl acetate in Kenaf lignins, *Org. Biomol. Chem.* 6:3681-3694.
- Maqsood, S., Benjakul, S., Abushelaibi, A., and Alam, A. 2014. Phenolic Compounds and Plant Phenolic Extracts as Natural Antioxidants in Prevention of Lipid

- Oxidation in Seafood: A Detailed Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 13:1125-1140.
- Martínez, G.A. 1988. *Diseños Experimentales. Métodos y elementos de teoría*. Edit. Trillas. México.
- Maya, G., Durán, C., J. Enrique. 2005. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con *Leucaena* a diferentes edades de corte durante el año. *Acta Agronómica*. Vol. 54(2).
- McIlroy, R.J. 1987. *Introducción al cultivo de los forrajes tropicales*. Limusa, México.
- Mehrez, A.Z. y Orskov, E.R. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen. *J. Agric. Sci. Cam.* 88:645-650.
- Menke K.H, y Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic fed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28:7-12.
- Moellenbeck, D.J., Quisenberry, S.S., y P.D. Colyer. 1992. Fusarium crown-rot development in alfalfa stressed by three-cornered alfalfa hopper (Homoptera: Membracidae) feeding. *Econ. Entomol.* 85:1442-1449.
- Nelson, C.J., and Moser, L.E. 1994. Plant factors affecting forage quality. In GC Fahey, ed. *Forage quality, evaluation, and utilization*, pp. 115–154. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.
- Orskov, E.R. y McDonald, J. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen for incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agri. Sci.* 92:499-503.
- Pell, A.N. y Schofield, P. (1993). Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. *J. Dairy Sci.* 76, 1063-1073.
- Pessarakli, M. 2015. *Handbook of photosynthesis*. 3rd edition. CRC, Press, USA. 816 p.
- Posada, J.O.S. 2005. *Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros*. 2ª ed. Editorial Universidad de Antioquia. 246 p.
- PROBOSQUE, 2010. *Inventario Forestal*. México; [citado 26 nov 2015]. Curriculum vitae normalizado [aprox. 1 pantallas]. Disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/publicaciones/inventario_forestal/gro

- ups/public/documents/edomex_archivo/probosque_pdf_inventario10_1.pdf.
Consultado en noviembre de 2018.
- Raghavendra, A. and R. F. Sage. 2011. Advances in photosynthesis and respiration, Volume 32: C4 photosynthesis and related CO2 concentrating mechanisms. Springer. The Netherlands. 439 p.
- Rebollar S, Rojo R. 2010. El estado del arte de la caprinocultura en el sur del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. 180 p.
- Rose, J. K. C. 2003. The plant cell wall. Annual Plant Reviews. Blackwell Publishing Ltd. 399 p.
- Ruiz, I.N. 1988. Praderas para Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Santiago de Chile. p. 723.
- Sage, R. F. and R. K. Monson. 1998. C₄ plant biology. Academic Press, USA. 596 p.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 9.1 *User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc. 5136 p.
- Shimada, M.A. 2017. Nutrición animal. 3 ed. Trillas., México. 390 p.
- SIAP-SAGARPA. Estadísticas del Sector Agropecuario. Coordinación General de Ganadería [Internet]. Disponible en: <http://www.sagarpa-siap.gob.mx>. Consultado en noviembre de 2018.
- Struik, P.C., Deinum, B., y J.M.P. Hoefsloot. 1985. Effects of temperature during different stages of development on growth and digestibility of forage maize (*Zea mays* L.). Netherlands Journal of Agricultural Science. 33:405-420.
- Tejada, H.I. 1992. Control de calidad de alimentos para animales. Sistema de educación continua en producción animal., México.
- Terashima, N., K. Fukushima, L.-F. He, and K. Takabe. 1993. Comprehensive model of the lignified plant cell wall. In: Jung H. G., D. R. Buxton, R. D. Hatfield, and J. Ralph (Eds.). Forage cell wall structure and digestibility. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. 247 p.
- Terry, R.A., and J.M.A. Tilley. 1964. The digestibility of the leaves and stems of perennial ryegrass, cocksfoot, timothy, tall fescue, lucerne and sainfoin, as measured by an in vitro procedure. Journal of British Grassland Society. 19:363-372.
- Theodoru, M.K. y France J. 2000. Feeding systems and feed evaluation models. CAB Internacional. UK. pp. 35-55.

- 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 ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48:185-197.
- Trujillo, G.D. 2007. Digestibilidad aparente de pasto estrella africana, llanero, chontalpo, Guinea y Taiwán introducidos en el sur del Estado de México, en caprinos. Tesis de licenciatura. p. 36.
- Trujillo, G. D. 2016. Componentes estructurales de la pared celular de hojas de *Lolium perenne* L. y *Festuca arundinacea* Schreb., en distintas etapas de senescencia y su efecto sobre la adhesión y fermentación in vitro por microorganismos ruminales. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. 119 p.
- Vanholme, R., K. Morreel, J. Ralph, and W. Boerjan. 2008. Lignin engineering. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11:278-285.
- Van soest, J.P. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Second Edition. Cornell University Press, Cornell, New York, U.S.A.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Anim Sci.* 74:3583-3597.
- Wilson, J.R., R.H. Brown, y W.R. Windham. 1983. Influence of leaf anatomy on the dry matter digestibility of C3, C4, and C3/C4 intermediate types of *Panicum* species. *Crop Science.* 23: 141-155.
- Wilson, J.R., Deinum, B., y F.M. Engels. 1991. Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperate forage species. *Netherlands Journal of Agricultural Science.* 39:31-48.