

**Adaptación de especies forrajeras arbustivas
y arbóreas tropicales en un suelo andisol como
fuente alimenticia alternativa para
rumiantes en el litoral ecuatoriano**

Gary Alex Meza Bone
Hamilton Omar Espinales Suárez
Carlos Javier Meza Bone
María Gabriela Cabanilla Campos

**Adaptación de especies forrajeras arbustivas
y arbóreas tropicales en un suelo andisol como
fuente alimenticia alternativa para
rumiantes en el litoral ecuatoriano**

© Gary Alex Meza Bone
Hamilton Omar Espinales Suárez
Carlos Javier Meza Bone
María Gabriela Cabanilla Campos

Título del libro: Adaptación de especies forrajeras arbustivas y arbóreas tropicales en un suelo andisol como fuente alimenticia alternativa para rumiantes en el litoral ecuatoriano

ISBN: 978-9942-33-595-1

Segunda Edición
Publicado 2022 por acuerdo con los autores.
© 2022, Editorial Grupo Compás
Guayaquil-Ecuador

Cita.

Meza, G., Espinales, H., Meza, C., Cabanilla, M (2022) Adaptación de especies forrajeras arbustivas y arbóreas tropicales en un suelo andisol como fuente alimenticia alternativa para rumiantes en el litoral ecuatoriano. Editorial Grupo Compás.

Grupo Compás apoya la protección del copyright, cada uno de sus textos han sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

   @grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com

ÍNDICE

Identificación del fenómeno de estudio	3
Importancia de las especies arbustivas y arbóreas forrajeras.....	7
Factores que perturban la permanencia de las plantas arbustivas y arbóreas tropicales.....	8
Caraca (<i>Erythrina poeppigiana</i>)	13
Veranera (<i>Cratylia argentea</i>).....	14
Método (<i>in vitro</i>).....	18
Cinética de la degradación ruminal.....	21
Fermentación ruminal	22
Características morfoagronómica, rendimientos de producción, composición bromatológica y digestibilidad <i>in vitro</i> de especies arbustivas y arbóreas forrajeras.....	23
Localización	25
Establecimiento y manejo de las especies forrajeras	25
Características morfoagronómica y rendimientos de producción.....	27
Rendimientos de producción.....	33
Composición bromatológica	36
Digestibilidad <i>in vitro</i> aparente.....	39
Degradación ruminal de nutrientes <i>in vitro</i> de especies arbustivas y arbóreas tropicales en el Litoral Ecuatoriano	45
Cinética de degradación ruminal <i>in vitro</i> de la materia seca (MS).....	49
Cinética de degradación ruminal <i>in vitro</i> de la materia orgánica (MO)	53
Cinética de degradación ruminal <i>in vitro</i> de la fibra detergente neutra (FDN)	57
Cinética de degradación ruminal <i>in vitro</i> de la fibra detergente ácida (FDA).....	61
Evaluación de especies forrajeras tropicales sobre la producción de gas, AGV, CH ₄ y CO ₂	70

Cinética de producción de gas <i>in vitro</i> , metano y dióxido de carbono	73
Producción y perfil de AGV	74
Referencias	94

Identificación del fenómeno de estudio

En los países tropicales una de las fuentes principales para la alimentación de rumiantes es la basada en la producción de forrajes, por medio de los cuales se nutre al ganado para obtener proteína a través de la carne y la leche (Roa y Galeano, 2015). El valor nutritivo de un forraje se evalúa desde su composición bromatológica y del aprovechamiento de los nutrientes por el rumiante (Nuciari, 2008). El valor biológico de los pastos y forrajes está determinado por la disponibilidad de los nutrientes y dinámica de los procesos de solubilización e hidrólisis en el tracto gastrointestinal (Bruni y Chilibroste, 2001).

La degradabilidad y la digestibilidad de los forrajes son fundamentales para determinar su valor nutritivo para la formulación de dietas para rumiantes (Bochi-Brum *et al.*, 1999).

Sin embargo, la digestibilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el tubo digestivo o en un procedimiento de laboratorio debido a su solubilización o ataque por los microorganismos anaerobios ruminales; mientras que, la degradabilidad hace referencia a la cantidad de alimento que se descompone en sus elementos integrantes, mediante procesos biológicos o químicos (Giraldo *et al.*, 2006).

La obtención de fuentes proteicas es muy costosa, de manera que hay que buscar alternativas económicas y factibles, que permitan reducir o suplir el uso de los alimentos concentrados por la acogida de una arbustiva forrajera de buen valor biológico, para mejorar los parámetros reproductivos y productivos de los rumiantes permitiendo reducir los costos de producción (Soto *et al.*, 2012). Una alternativa factible para mejorar la oferta y calidad de los forrajes es el uso de arbustos y arbustivas forrajeras, ya que contribuye a la dieta de los rumiantes altos valores nutricionales (Soto *et al.*, 2012).

Tithonia diversifolia, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea*, son especies arbustivas localizadas en áreas tropicales y subtropicales que han mostrado buenas características forrajeras (Pérez *et al.*, 2009), posee un amplio rango de adaptación, se desarrolla en diferentes tipos de suelos, desde el nivel del mar hasta 2500 m,s,n,m con precipitaciones entre 800 y 5000 mm, tolera condiciones de acidez y baja fertilidad del suelo (Mahecha y Rosales, 2005; Ruiz, 2012). Tiene la capacidad de absorber los exiguos nutrientes del suelo, excelente producción de forraje y una acelerada recuperación después del corte (Ramírez *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2009).

Las arbóreas y arbustos es una alternativa para los sistemas de producción con rumiantes, lo que ha permitido valorar especies que actualmente no tienen ningún uso (Mata *et al.*, 2006; Roa y Galeano, 2015). Por lo contrario, hay antecedentes en las regiones tropicales que manifiestan el aprovechamiento de especies arbóreas y arbustivas como forraje es el follaje *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea* son una alternativa alimenticia de alto valor biológico, con proteína cruda que fluctúa entre 14 y 28% con una degradabilidad de la materia seca entre 69,72 y 85,66% (García *et al.*, 2009; La O *et al.*, 2012).

El Litoral Pacífico Ecuatoriano es una zona del trópico húmedo, con dos épocas bien definidas: época seca y lluviosa de seis meses de duración y su suelo mayoritariamente son de tipos Andisoles. La ganadería tropical presenta grandes limitaciones, primordialmente en la época de bajas precipitaciones, lo que disminuyen de manera drástica la disponibilidad y la calidad de los forrajes Cuartas *et al.* (2014), afectando la capacidad reproductiva y productiva de los rumiantes (Roa y Galeno, 2015).

La superficie agropecuaria en el Ecuador se estima en 5,50 millones de hectáreas de las cuales se dividen en: cultivos permanentes 26,56%, cultivos transitorios y

barbecho 16,62%, pastos naturales 15,53% y pastos cultivados 41,28%, de las cuales la Provincia de Los Ríos ocupa el tercer lugar de área superficie agropecuaria en pastos cultivados 74.933 ha (INEC, 2014).

Para la ganadería del trópico, uno de los primordiales inconvenientes es la alimentación de los rumiantes, ya que su dieta está basada en pastos en los cuales existen problemas de disponibilidad, pues esta depende de varios factores como la temperatura, precipitación, radiación solar, tipos de suelos, entre otros, así pues, podemos encontrar escases de pastos en épocas secas (Godínez, 2014; Grijalva *et al.*, 2011)

Unos de las principales dificultades de los sistemas pecuarios en el Ecuador es la producción temporal de los pastos y forrajes con limitaciones en la satisfacción de las penurias alimenticias de los rumiantes debido a los escases del alimento durante el año debido a la distribución temporal de las lluvias, baja calidad de los pastos principalmente en la época seca y los altos precios de los concentrados. Las elecciones de los forrajes deben fundamentarse en la adaptación a condiciones agroecológicas específicas expresándose en las características morfoagronómico y los rendimientos de producción (Holguín *et al.*, 2015).

En los períodos secos, los pastos tropicales tienen la característica en su composición bromatológica tanto física como química, principalmente bajos niveles de proteína cruda (PC), alto contenido de la pared celular (FDN-FDA), baja digestibilidad y una baja eficiencia reproductiva y productiva (Sánchez *et al.*, 2001; Leng, 1991).

En Ecuador, según el III Censo Nacional Agropecuario (2000) el 41% del suelo de uso agropecuario se destina a pastos tropicales. En el Litoral Ecuatoriano la

vital fuente de la alimentación más económica para los rumiantes son los pastos y forrajes, que ayuda a su economía y en la no competencia con las necesidades de alimentos para el consumo humano directo y de otros animales (Díaz, 2001).

La ganadería extensiva ocupa el primer lugar en este tipo de explotaciones, sin embargo, con el paso de los años, este tipo de ganadería convencional ha ido disminuyendo, dando paso a nuevos tipos de explotaciones ganaderas como sistemas semi-estabulados, o estabulados, que, influenciados por nuevas tecnologías, mejoras en el manejo y aprovechamiento del suelo y de los recursos existentes, han generado un mejor desarrollo y producción del hato ganadero del país.

La búsqueda de opciones forrajeras posibles para solucionar el déficit de forraje para el ganado durante las épocas secas es uno de los desafíos de los productores en la Zona de Quevedo. Las gramíneas tropicales son bajas en proteína digestible y altos porcentajes de fibra. Se ha demostrado que el forraje de leguminosas arbustivas y arbóreas es una alternativa para la alimentación de rumiantes en los trópicos especialmente en la época seca donde existe la escasez del forraje (Sánchez 2002; Lazcano *et al.*, 2012).

La *Tithonia diversifolia*, *Erythrina poeppigiana* y la *Cratylia argentea*, son especies que poseen valores nutricionales superiores a los de los pastos, unos de los atributos son: mejoran el reciclaje de nutrientes, previenen la erosión, reducen los efectos negativos del pisoteo animal sobre el suelo, ofrece una alta productividad de biomasa bajo condiciones de cero fertilizaciones y rápida recuperación después del corte, es ideal para utilizarla en sistema de corte y acarreo durante la época seca, y para la conservación de los suelos frágiles, siendo un excelente potencial para mejorar los parámetros productivos (López *et al.*, 2011; Lazcano *et al.*, 2012; Elizondo, 2005).

Las arbustivas y arbóreas forrajeras tropicales como banco de proteínas es una opción económica para el mediano y pequeño productor, debido a los altos costos alimenticios de los concentrados, lo que tiene un impacto ambiental positivo en el agroecosistema y en el bienestar animal (Rodríguez y Fondevila, 2014).

Importancia de las especies arbustivas y arbóreas forrajeras

Las plantas arbóreas y arbustivas permiten asegurar una dieta alimenticia para los rumiantes, muchos de estos forrajes tienen capacidad de producir biomasa en épocas de lluvias y secas donde los ambientes del medio son difíciles para los pastos (Ramírez *et al.*, 2008). Una de las ventajas de las arbóreas y arbustivas como principal alimento para los rumiantes radica en su producción de forraje durante la mayor parte del año con alto valor biológico (Ramírez, 2003).

Existen diferentes características agronómicas entre las especies arbóreas y arbustivas que son de trascendental importancia en la alimentación animal, unas de ellas son que sean de fácil adaptación, rápido crecimiento, adaptación a climas particulares, suelos pobres, resistencia a plagas y enfermedades, alta producción de forraje, alto valor nutricional y que sea palatable por los rumiantes (Ivory, 1990).

Birmanía (2013), menciona varias de la importancia de las arbustivas y arbóreas forrajeras:

1. Las arbóreas ayudan a aumentar la disponibilidad de forraje durante la época seca
2. Provee una mayor fertilidad del suelo
3. Favorecen a las plantaciones de arbustos forrajeros asociados
4. Aportan materia orgánica y nutriente al suelo superficial

5. Mejoran las condiciones micro climáticas inmediatas, a través de la sombra proyectada por sus copas
6. Producen mayor cantidad de materia seca por unidad de superficie
7. Proveen una dieta más balanceada desde el punto de vista nutritivo
8. La sombra protege a los animales del calor excesivo causado por la radiación solar directa y les permite mantener su temperatura corporal en un rango confortable
9. Se utiliza como abono verde para la producción de forraje de alta calidad
10. Resistente a podas periódicas
11. Rápido rebrotes

Factores que perturban la permanencia de las plantas arbustivas y arbóreas tropicales

Condiciones ambientales

Acidez. Es habitual que la gran parte de las leguminosas forrajeras se desarrollan bien en suelos con pH cercano a 5.0, y de forma vigorosa a un pH de 6.5 (Kretschmer, 1988).

Fertilidad. La productividad de las leguminosas se ha relacionado con la mayoría de los elementos esenciales pero su efecto en la persistencia no ha sido demostrado. Pero indudablemente la deficiencia de fósforo (P) limita la persistencia de las leguminosas. Existen incertidumbres que la deficiencia de potasio (K) en su gran mayoría de los suelos tropicales sea la causa la muerte de las leguminosas en pastoreo; sin embargo, la respuesta a la aplicación del (K) se ha evidenciado en varias investigaciones (Kretschmer, 1988).

Temperatura. Las altas temperaturas tienen un incremento en la lignificación de la pared celular de las plantas y reduce la digestibilidad (Cerón, 2010).

Precipitación pluvial. Las lluvias son muy importantes para la tenacidad de las leguminosas. En algunos casos se confunde con otros factores como la capacidad del suelo para mantener la humedad y con la estructura y profundidad radical de la leguminosa (Kretschmer, 1988). La falta de agua tiende a prolongar el crecimiento de las plantas, lo que reduce el envejecimiento que trae como resultado un leve aumento en la digestibilidad y una disminución en la producción del forraje (Cerón, 2010).

Factores que influyen en la calidad nutritiva

Las plantas, crecen en medios adecuados a sus requerimientos ya que algunas experimentan fluctuaciones de acuerdo con el ambiente y el estrés que modifican su morfología y su tasa de desarrollo lo que limita la producción y alteran su calidad, debido a varios factores: temperatura, el agua, la eliofanía, la deficiencia de nutrientes y las plagas y enfermedades (Buxton y Fales, 1994).

En la temperatura, se ha observado que los componentes de la pared celular depositados en condiciones de bajas temperaturas se encuentran menos lignificados y presentan altos valores en digestibilidad, en cambio, en temperaturas altas, la síntesis de lignina se incrementa preferentemente, y causa que el forraje producido presente baja la digestibilidad (Buxton y Fales, 1994).

También se ha encontrado que las concentraciones de fibra detergente ácido (FDA), celulosa y sílice se incrementa cuando aumenta la temperatura, pero de hemicelulosa disminuyen, sin embargo, los niveles de FDA decrecen y el nivel de lignina se incrementa con un aumento en la radiación solar, no obstante, la temperatura tiene efecto más profundo sobre la calidad del forraje que el flujo de luz (Nelson y Moser, 1994).

Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) (Hemsl.) Gray

Tithonia diversifolia es una planta herbácea o arbustiva robusta, perteneciente a la familia Asteraceae y es originaria de Centro América (México y Costa Rica), actualmente está localizado ampliamente en la zona tropical (Medina *et al.*, 2009). Posee un vasto rango de adaptación, soporta condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo de escasos nutrientes, es una planta con buena producción de forraje, crecimiento acelerado, baja demanda de fertilizantes y manejo para su cultivo (Ríos, 1997).

Clasificación taxonómica y descripción botánica

Tithonia diversifolia (Hemsl) Gray, es conocida comúnmente como botón de oro o mirasol en (Colombia), quil amargo (Guatemala) flor amarilla o árnica (Venezuela) y margaritona o árnica de la tierra (Cuba) (Medina *et al.*, 2009).

La *Tithonia diversifolia*, es oriunda de América Central y ha sido introducida en todas las regiones del trópico (Maina *et al.*, 2012). Una de las cualidades de esta especie es su alto potencial forrajero para la alimentación animal que se la destaca por su fácil establecimiento, tenacidad al corte frecuente, tolerancia a suelos desgastados (Nieves *et al.*, 2011).

Es nativa de Centro América (Nash, 1976), se localiza ampliamente distribuida en la zona tropical y se tienen reportes del Sur de México, Honduras, El Salvador, Guatemala, Costa Rica, Panamá, India, Ceilán, Cuba, Venezuela y Colombia (González *et al.*, 2006).

La familia Compositae tiene unas 15.000 especies distribuidas por todas partes (Gómez y Rivera, 1987). *T. diversifolia* adquiere diez especies originarias de Centro América y fue introducida a Filipinas (Cairns, 1997b).

Según Murgueitio *et al.*, (2001), esta planta tiene un vertiginoso y vigoroso crecimiento, una adaptación a suelos con pH a partir de ácidos hasta alcalinos, pobres, baja fertilidad, se desarrolla a una altitud de 0 a 2700 m.s.n.m, con precipitaciones que fluctúan entre 600 y 6.000 mm año⁻¹. Sin embargo, es una planta muy tolerante a la sequía, es resistente a la quema moderada, posee una pronta recuperación después de cada corte de cosecha e incluso a nivel del suelo (Medina *et al.*, 2009). Mahecha y Rosales (2005) precisa que la *Tithonia diversifolia* es una planta con buena capacidad de producción de forraje y una vertiginosa recuperación después del corte.

La *T. diversifolia*, es una planta no leguminosa, con alto porcentaje de PC hasta 33%, ostenta meritorios niveles de fósforo, gran volumen radicular, una particularidad específica de recuperar los escasos nutrientes del suelo y soportar la poda a nivel del suelo (Mahecha y Rosales, 2000).

La O *et al.*, (2012) realizó la composición química de *Tithonia diversifolia* obteniendo valores de 88,76% MS; 21,97% Cenizas; 78,02% MO; 38,38% FND y 18,26% PB. Sin embargo, en un trabajo ejecutado con forraje de botón de oro se halló un 23,00% de MS y 21,40% de ceniza; 78,60% MO y 24,30% de proteína en la materia seca (Rosales, 1992). Carmona (2007), menciona que la *Tithonia diversifolia* tiene valores de 24-35% MS; 15-28% PC y 16-38% de FDN. Ríos (1998), registra valores de PC 14-28%, TND entre 45-48% y MS entre 14-23%, en el follaje. El botón de oro tiene un contenido de proteína cruda (PC) que oscilan de 14 y 28%, una digestibilidad que fluctúa entre 50 y 90% (Medina *et al.*, 2009).

Tithonia diversifolia es una planta con una alta degradación de la digestibilidad (*in vitro*) (La O *et al.*, 2012)

Tabla 1. Digestibilidad aparente (*in vitro*) de *Tithonia diversifolia*

DAIVMS	73,96
DAIVMO	57,71
DAIVFDN	28,39
DAIVFDA	11,55

Fuente: La O *et al.*, (2012)

*DAIVMS= Digestibilidad aparente (*in vitro*) de la materia seca; DAIVMO= Digestibilidad aparente (*in vitro*) de la materia orgánica; DAIVFDN= Digestibilidad aparente (*in vitro*) de la fibra detergente neutra; DAIVFDA= Digestibilidad aparente (*in vitro*) de la fibra detergente ácida

Sin embargo, Soto *et al.*, (2009) hayo una DIVMS en la biomasa total de *T. diversifolia* de 57,0 y 48,9% a los 70 y 98 días, respectivamente.

Se evaluó la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia*, en Buga (Colombia), a 1.000 m.s.n.m, con una precipitación bimodal de 1.200 mm año⁻¹, en suelos de textura arcillosa y con pH de 6,5. La producción potencial de biomasa en el primer corte bajo las condiciones y densidades de siembra evaluadas (2,66; 1,77 y 1,33 plantas m²), sería de 82; 57 y 46 t ha⁻¹ (Ríos, 1995).

La producción de forraje verde estimada es de aproximadamente 30 a 70 t ha⁻¹, dependiendo de la distancia de siembra, suelos y estado fenológico (Rodríguez, 1990). Ríos (1998) reporta una producción de biomasa de 31,46 t ha⁻¹ en densidades de siembra de 0,75 x 0,75 m y una producción potencial de 21,16 t ha⁻¹ en densidades de 1,0 x 0,75 m. Puede producir hasta 275 t FV ha⁻¹ año⁻¹ y unas

55 t MS ha⁻¹ año⁻¹ Lazcano *et al.*, (2012). Soto *et al.*, (2009) obtuvo una biomasa digerible a los 70 y 98 días de 15,7 y 16,5 t ha⁻¹ año⁻¹

Caraca (*Erythrina poeppigiana*)

La *Erythrina* es una planta arbórea perteneciente a la familia fabaceae, se distribuye en América Tropical, desde Panamá hasta Bolivia, incluyendo las islas del Caribe. (CATIE, 1997)

En la tabla 2, se presenta la clasificación taxonómica de la *Erythrina poeppigiana*

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..
Clasificación taxonómica y descripción botánica de la *Erythrina poeppigiana*

Reino	Plantae
Orden	Fabales
Género	<i>Erythrina</i>
Especie	<i>Erythrina poeppigiana</i>
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Tribu	Phaseoleae
Clase	Magnoliopsida

Fuente: Fassbender *et al.*, (1991)

Se la encuentra en altitudes desde 600 hasta 1700 m.s.n.m, con temperaturas promedios anuales de 18 a 28°C y con precipitaciones pluviales de 1000 a 3000 mm año⁻¹. Es una planta que se adapta en “suelos de textura franco arcillosa a franca, con drenaje regular a algo excesivo, se desarrolla también en suelos pobres, arenosos profundos y arcillosos, es una especie tropical, de 20 a 25 m de

altura y hasta 50 cm de diámetro, la corteza es de pardo grisáceas con espinas y sus hojas son alternas compuestas por tres folíolos de 5 a 18 cm de largo y de 4 a 15 cm de ancho en forma de rombo (CATIE, 1997).

Soto *et al.*, (2009) hallaron una DIVMS en la biomasa total de *E. poeppigiana* de 58,5 y 46,7% a los 70 y 98 días, respectivamente. Suárez *et al.*, (2008) al evaluar la composición bromatológica y la degradabilidad *in vitro* en caraca encontraron valores para PC, FDN, FDA y DIVMS de 16,80; 78,63; 59,14 y 46,86%. Camero (1994) al evaluar la composición bromatológica y la degradabilidad *in vitro* en caraca encontraron valores para DIVMS, PC, FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina 52,40; 26,40; 59,20; 34,50; 25,10; 21,00 y 13,40%. Gonzáles y Cáceres (2002) al estudiar la composición bromatológica de caraca en época lluviosa y poco lluviosa obtuvieron valores para la MS (22,10 y 25,30%), MO (89,90 y 90,50%), PB (24,90 y 25,30%) y FB (34,20 y 32,10%)

Soto *et al.*, (2009) hallaron una producción de biomasa a los 70 y 98 días de 9,6 y 10,9 t MS ha⁻¹ año⁻¹ de *E. poeppigiana*. Estudios realizados durante cuatro años en el trópico húmedo muestran que un banco de *Erythrina berteroana* se producen cerca 6,00 t ha⁻¹ año⁻¹ (García, 2003). Camero y Muhanunad (1995) obtuvieron en el trópico húmedo de 3 a 4,50 t MS comestible ha⁻¹, cada tres meses. de Borel y Benavides (1993) obtuvieron rendimientos desde 10 a 20 t MS ha⁻¹ año⁻¹ de hojas y tallos.

Veranera (*Cratylia argentea*)

La *Cratylia* es una planta arbustiva perteneciente a la familia leguminoseae, es originaria de Brasil y se encuentra ampliamente distribuida en América (Perú, Colombia y Argentina). Es una planta que se adapta a suelos ácidos y épocas secas prolongadas (Argel y Iascano, 1998; Enríquez *et al.*, 2003).

La *Cratylia argentea* es un arbusto oriundo del Amazonas de la parte central de Brasil, del Perú, Bolivia y noreste de Argentina, caracterizado por su vasta adaptación a suelos ácidos de las zonas tropicales con sequías largas, produce apropiados rendimientos de biomasa bajo corte, lo que conlleva a un rápido rebrote durante las épocas secas debido a su sistema radical vigoroso (Pizarro *et al.*, 1995; Enríquez *et al.*, 2003).

Se considera a *Cratylia argentea* como una planta neotropical distribuida al sur de la Cuenca del río Amazonas y al Oeste de la cordillera de los Andes, comprendiendo partes de Brasil, Perú, Bolivia y la Cuenca del río Paraná al noreste de Argentina (Argel y Iascano, 1998).

La *Cratylia argentea* presenta un crecimiento inicial lento después de la siembra, pero posteriormente es capaz de alcanzar producciones de forraje verde elevadas, cuya planta es considerada como potencial forrajero, puede adaptarse hasta los 930 m.s.n.m., con una precipitación pluvial que varía desde los 997 hasta 4000 mm año⁻¹, con un pH entre 3,8 a 5,9 en suelos pobres y ácidos, por lo que es un arbusto que alcanza entre 1,5 y 3,0 m de altura o en forma de lianas volubles con unas hojas trifoliadas y estipuladas (Argel y Iascano, 1998).

Según Pizarro *et al.* (1995) la alta retención foliar especialmente en las hojas jóvenes y la capacidad de rebrote durante la época seca es una de las características más preponderante de *C. argentea*, estas características están asociadas con el desarrollo de raíces vigorosas que alcanzan hasta 2 m de longitud y que favorecen la tolerancia de la planta a la sequía, aun en condiciones extremas de suelos pobres y ácidos como los de Planaltina en Brasil.

En suelos ácidos de baja fertilidad como es en el Departamento del Cauca (Colombia) revelan que la planta tiene pocos rendimientos productivos por

encima de los 1200 m.s.n.m., lo que sugiere que la *Cratylia argentea* tiene inconvenientes de adaptación en suelos ácidos y temperaturas bajas (Maass, 1995).

Franco *et al.*, (1998) al evaluar la degradabilidad ruminal y la composición química *Cratylia argentea* a los 60 días hallaron valores para PC, FDN, FDA y DIVMS (22,80; 55,60; 33,80 y 53,40%). Celis *et al.*, (2004) al evaluar la calidad nutritiva de *Cratylia argentea* obtuvieron valores de PC, MS, MO, Cenizas, FDN, FDA, LDA y DIVMS (19,92; 89,30; 90,6; 9,40; 62,40; 39,90; 16,90 y 47,00%). Wilson y Lascano (1997) al estudiar la *Cratylia* como suplemento encontraron valores de MO, PC, FDN, FDA y DIVMS (91,00; 19,00; 67,00; 43,00 y 45,00%). Sin embargo, a los 90 días presentaron un contenido de PC, DIVMS (23,00; 53,00%) (Argel y lascano, 1998; Wilson y lascano, 1997). Suárez *et al.*, (2008) al evaluar la composición bromatológica y la degradabilidad *in vitro* en *Cratylia* encontraron valores para PC, FDN, FDA y DIVMS de 17,82; 62,64; 54,72 y 45,34%.

Argel y Lascano (1998) al evaluar una plantación de *Cratylia* menor de 1 año, cosechadas cada 60 días, encontraron mayor producción individual por planta cuando la densidad de siembra fue de (6000 plantas ha⁻¹) obtuvo (100 g planta⁻¹ de MS, lo que equivale a 60 t ha⁻¹ corte⁻¹) que en la densidad de (10000 plantas ha⁻¹) registro valores de (75 g planta⁻¹ de MS, lo que equivale a 75 t ha⁻¹ corte⁻¹), estos rendimientos fueron en época seca de 6 meses se ha visto cuando la planta es cosechada por primera vez a los 4 meses de edad y después cada 60 días rinden menos MS por corte (65 g planta⁻¹) que cuando se cosecha inicialmente a los 6 o 8 meses de edad (77 y 101 g planta⁻¹ respectivamente).

Reportes en Costa Rica (Xavier *et al.*, 1990), indican producciones de 16 y 5 t MS⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹ en dos localidades, este trabajo estuvo afectado por diferencias en

climas, en la primera localidad con una precipitación de 4.000 m.m, anuales en época lluviosa y en la segunda localidad una precipitación de 1.600 m.m, con 5 a 6 meses de sequía, lo cual implica los factores antes mencionados en la producción.

Enríquez *et al.*, (2003), halló rendimientos de *Cratylia argentea* en diferentes densidades de siembra.

Tabla 3. Producción anual de materia seca de *Cratylia argentea* cosechada a diferentes días de corte y distancia de siembra (kg ha^{-1})

Frecuencia de corte (días)	Densidad poblacional de plantas (plantas ha^{-1})			Promedio
	6,666	10,000	20,000	
60	3030 c	4933 b	8293 b	5419 c
90	5470 b	6590 a	8160 b	6740 b
120	9141 a	6873 a	11266 a	9093 a
Promedio	5880 b	6132 b	9240 a	

Fuente: Enríquez *et al.*, (2003)

Para conocer el valor nutricional de los alimentos debe determinarse mediante los análisis químicos proximales, pero el valor real para los animales, sólo puede conocerse después de haber tenido en cuenta las pérdidas que se producen durante la digestión, absorción y metabolismo del animal (Mc Donald *et al.*, 1988).

La degradabilidad y la digestibilidad de los forrajes son primordiales para establecer su valor nutritivo y por ende formular raciones alimenticias para rumiantes y no rumiantes (Bochi-Brum *et al.*, 1999). El nicho primario del rumiante es la digestión y utilización de material de la pared celular (Van Soest, 1982).

La degradabilidad ruminal de un forraje, tiene un valor relativo pues depende de dos aspectos fundamentales como es el caso de la velocidad de degradación y velocidad de tránsito ruminal, a su vez, la primera se determina por la solubilidad y estructura molecular, y actividad de los microorganismos y puede afectarse por el pH, tamaño de partícula, relación forraje: concentrado, y otros factores como la ingestión de agua o materia seca, alterando la degradabilidad ruminal (Noguera y Posada, 2007)

La degradabilidad de los alimentos se define como la cantidad que no se excreta en heces y, por tanto, se considera absorbida por el animal que se expresa en relación con la MS (Mc Donald *et al.*, 1988).

La estimación de la degradabilidad efectiva (DE) de la fracción potencialmente degradable en el rumen (b) (DEb), es quizá el cálculo más importante en el estudio de la cinética ruminal dado que permite establecer la proporción de fracciones nutricionales que son degradadas y aquellas que escapan a la degradación ruminal, la estimación correcta de este parámetro es necesaria para un adecuado manejo nutricional de los rumiantes y, en consecuencia, para una mejor utilización de los nutrientes (Correa, 2009).

Método (*in vitro*)

La degradabilidad de los alimentos puede ser estimada por métodos que simulen el proceso de digestión, uno de ellos es el método *in vitro* que sirve para estimar a nivel de laboratorio la digestibilidad de los alimentos (Makkar, 2004).

La técnica de la degradabilidad *in vitro* simula la digestibilidad del tracto digestivo del rumiante y requiere de la elaboración de un inóculo que contenga microorganismos ruminales viables (Tilley y Terry, 1963). Este método consiste

en reproducir a los microorganismos ruminales en condiciones de laboratorio lo que sucede en el organismo animal mediante una reproducción lo más parecido a lo real (Mojica, 2010). Los métodos *in vitro* para evaluar la digestibilidad son útiles porque son más rápidos, sencillos y menos costosos que los métodos de digestibilidad *in vivo*.

La técnica *in vitro* de Tilley y Terry (1963) consisten en tubos o botellas de vidrio en los que se incuba durante cierto tiempo un sustrato determinado con una solución mezcla de inóculo microbiano y distintas proporciones de tampón para mantener constante el pH adecuado para la actividad (estas comillas no tienen razón de ser) microbiana, minerales y una solución reductora para minimizar la concentración de oxígeno en el medio, estimando la fermentación por desaparición gravimétrica del sustrato.

El procedimiento propuesto por (Tilley y Terry, 1963) con ligeras modificaciones ampliamente utilizado en la mayoría de los laboratorios, sin embargo, la técnica desarrollada por Van Soest *et al.* (1966), supone una alternativa al método de Tilley y Terry, ya que permite una valoración más rápida de los alimentos sin afectar negativamente a la precisión del valor obtenido (Van Soest, 1994). El procedimiento *in vitro* consiste en una incubación de los alimentos con líquido ruminal durante 48 horas a 39°C, los valores obtenidos se consideran una estimación de la degradabilidad real de los alimentos (Van Soest *et al.*, 1966). La técnica *in vitro* ocurre una variabilidad en los resultados, debido a que los microorganismos ruminales está influenciada por el tipo y cantidad de alimento proporcionada al animal (Torres *et al.*, 2009).

La calidad de los nutrientes en un alimento está determinada por la composición bromatológica de dicho alimento y por su digestibilidad (Van Soest, 1994).

Según Orskov y McDonald (1979) las particularidades de la curva de degradación se describen por medio de la fórmula:

$$P = a + b (1 - e^{-ct})$$

Donde:

P = degradabilidad potencial

t = tiempo de incubación

a = intercepto con el eje “Y” en el tiempo cero. Representa el sustrato soluble y completamente degradable que sale rápidamente de la bolsa

b = la diferencia entre el intercepto (a) y la asíntota, representa la fracción insoluble pero potencialmente degradable del sustrato el cual es degradado por los microorganismos

c = tasa constante de la degradación de la fracción b

$(a+b)$ = simboliza la fracción potencialmente degradable de la muestra

La ecuación supone la existencia de tres fracciones en el alimento, a ; una fracción no degradable que representa la fracción del alimento que permanece en la bolsa después de un tiempo de incubación, b ; fracción insoluble pero potencialmente degradable por los microorganismos ruminales, c ; fracción rápidamente degradable que además del material soluble incluye pequeñas partículas que pueden salir de la bolsa de nylon (Rosero y Posada, 2007).

Tabla 5. *Porcentajes de degradabilidad de los forrajes*

Piensos	Digestibilidad (%)
Forraje de buena calidad	65 – 70
Forraje de calidad intermedia	55 – 65
Forraje de baja calidad	Menor de 55
Balanceado	75 – 85

Fuente: Jarillo *et al.*, (2007).

Cinética de la degradación ruminal

Según Galyean y May (1995), la tasa de pasaje de las partículas del rumen puede tener un efecto importante en el consumo y digestibilidad. Los forrajes picados y peletizados tienden a incrementar la tasa de pasaje, seguido por un incremento en el consumo voluntario de alimento. Al mismo tiempo es a menudo reducida por el picado y peletizado de los forrajes, pues las partículas tienen oportunidad para sufrir fermentación. Además, los cambios en la digestibilidad pueden tener efecto en la tasa de pasaje. Si el alimento es reducido a partículas más pequeñas, la tasa de pasaje puede incrementarse y subsecuentemente, el consumo se incrementa.

Según Owens y Hanson (1992), la cinética ruminal es muy importante para comprender y en su caso manipular los procesos digestivos del ganado. La remoción de los residuos del rumen determina el tiempo disponible para la fermentación y por lo tanto el llenado ruminal y eficiencia en síntesis de proteína microbiana. Los fluidos pasan más rápido que las partículas pequeñas, y estos más rápidos que las partículas más grandes.

Rosero y Posada (2007) reportan en un ensayo que la cinética de degradación es solo una de las fuentes de variación que pueden afectar la tasa y la extensión de la degradación. La digestibilidad ruminal tiene un valor relativo, pues depende de dos aspectos fundamentales, a; la velocidad de degradación y, b; la velocidad de tránsito ruminal, esto a su vez está determinado por la solubilidad, su estructura molecular, su actividad microbiana y puede ser afectada por el pH, tamaño de partícula, el tipo de forraje, concentrado y otros factores como la ingestión de agua o materia seca, alterando la digestibilidad ruminal (Rosero y Posada, 2007).

El recambio ruminal (expresado en h) de líquidos y sólidos se refiere al tiempo requerido para el ingreso de un material dado, en una cantidad igual a la existente en el rumen. Este parámetro es la recíproca de la tasa de dilución. La tasa de recambio de la porción líquida y sólida es la cantidad de material que sale del rumen por unidad de tiempo, y la tasa de recambio fraccional o tasa constante es la fracción del total de las partículas del rumen, emergiendo del mismo por unidad de tiempo (Ellis *et al.*, 1979).

Fermentación ruminal

El rumen es una cámara de fermentación anaeróbica, cuya población microbiana se mantiene al ingerir y masticar alimentos con regularidad, añadiendo tampones y eliminando los ácidos producidos, arrastrando los residuos alimenticios no digeribles y los productos microbianos, manteniendo unas condiciones apropiadas de pH, temperatura y humedad para el crecimiento microbiano (Owens y Goetsch, 1986).

Los microorganismos ruminales dependen del animal para disponer de las condiciones óptimas para su crecimiento y el rumiante depende de los productos de fermentación anaeróbica del alimento fibroso que ingiere y la actividad biosintética microbiana para cubrir sus propias necesidades nutritivas (Yokohama y Johnson, 1988). El metabolismo del rumiante está enfocado a aprovechar los productos de la fermentación microbiana como los ácidos grasos volátiles (AGV), sin embargo, no todos los productos de la fermentación microbiana son útiles para el rumiante, también los hay de inútiles como el metano, o incluso nocivos como el amoníaco y los nitratos (Owens y Goetsch, 1986).

Características morfoagronómica, rendimientos de producción, composición bromatológica y digestibilidad in vitro de especies arbustivas y arbóreas forrajeras

En el litoral Pacífico Ecuatoriano específicamente en la provincia de Los Ríos los sistemas de alimentación en rumiantes se basan particularmente en las gramíneas tropicales, situación que decae por los bajos rendimientos de biomasa, baja calidad nutricional y su digestibilidad lo que se ve afectada por las condiciones agroclimáticas durante todo el año. Los rumiantes en el trópico su alimentación se basa concretamente en el consumo de forrajes, por lo que es muy trascendental evaluar la composición bromatológica y su digestibilidad, con el fin de valorar los nutrientes y el consumo que aprovecha el rumiante (Avellaneda *et al.*, 2015). Sin embargo, el estado fenológico y la productividad de un forraje está íntimamente influenciado por las condiciones agroclimáticas, las distribuciones anuales de las precipitaciones y manejo, lo que no permite que manifieste en su gran mayoría su potencialidad productiva y nutritiva de los forrajes (Avellaneda, 2003). La producción y el valor nutricional de los forrajes en el trópico se ve afectado por los factores agroclimáticos (Minson y McLeod, 1970; Stobbs, 1975; Cubillos *et al.*, 1975). La calidad nutricional y la producción de los forrajes tropicales se ve afectado por las edades de corte, las precipitaciones y la especie forrajera (Elizondo-Salazar, 2017).

Debido a una baja calidad nutricional, altas concentraciones de las fracciones fibrosas y bajos rendimientos de producción de MS que poseen los pastos tropicales, el forraje de las arbustivas y arbóreas es una alternativa nutricional en la alimentación de rumiantes con el fin de mejorar los parámetros productivos durante los periodos de escasez de los forrajes (Mílera *et al.*, 2010). Los árboles forrajeros establecidos como bancos de proteína mediante un

sistema de corte y acarreo es una alternativa para optimizar la sostenibilidad y sustentabilidad en la alimentación de rumiantes (Suárez *et al.*, 2008)

Se conoce que las plantas arbustivas y arbóreas mejoran el reciclaje de nutrientes, previene la erosión, reduce los efectos del pisoteo animal sobre el suelo, presenta mayor rendimiento de biomasa, se lo utiliza en un sistema de y acarreo para los medianos y pequeños productores y sirve para la conservación de suelos frágiles (Murgueitio, 2009). Los forrajes en los trópicos húmedos, especialmente en el período seco la calidad nutrimental y la biomasa forrajera se ve afectada, por la cual no se cubre el requerimiento nutricional de los rumiantes (Gallegos *et al.*, 2013). Existen algunas especies arbustivas y arbóreas adaptadas a las condiciones de la época seca, que ya han sido estudiadas en otras regiones tropicales de América Latina (Pizarro y Carvalho, 1996), sin embargo, es viable la introducción de las especies arbustivas y arbóreas en la región de Litoral del Pacífico Ecuatoriano, con el propósito de evaluar su comportamiento agronómico y su valor nutrimental. De tal manera existe evidencias de que la *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y la *C. argentea*, tienen un alto contenido de PC de 18-28%, bajos contenidos de FDN de 32-60% y FDA de 10-41%; tiene buen contenido de fósforo, un gran volumen radicular, buena característica de recuperar los exiguos nutrientes del suelo, posee una buena adaptación, soporta condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo, es muy rústica y es resistente a la poda a nivel del suelo y la quema (Wanjau, 1998; Benavides, 2002). Además, tiene un acelerado desarrollo y baja demanda de insumos y manejo para el cultivo y una exorbitante producción de biomasa forrajera en la época seca y lluviosa (Ríos, 2002; Roa y Galeano, 2015).

Existen evidencias de que *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea* son plantas promisorias para la alimentación de rumiantes y no rumiantes. Por lo

que es fundamental estudiar en el conocimiento de esta fuente alimentaria (La O *et al.*, 2012; Nieves *et al.* 2011). Los sistemas de producción en rumiantes presentan serios problemas con la alimentación animal debido a la escasez del forraje durante las épocas estacionales, las especies forrajeras y las edades de cosecha la cual influyen en la calidad de los forrajes. Sin embargo, la madurez fisiológica, las especies forrajeras y las épocas influyen en las características morfoagronómicas, rendimientos de producción, su composición bromatológica y su digestibilidad, por lo que es necesario reportar dicha información a los pequeños y medianos productores sobre sus características agronómicas y su valor nutricional que estas poseen. El objetivo de la presente investigación fue evaluar las características morfoagronómica, rendimientos de producción, composición bromatológica y la digestibilidad *in vitro* de las especies arbustivas, arbóreas y las edades de corte durante la época seca y lluviosa.

Localización

El trabajo experimental se realizó en la Finca Experimental “La María”, propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizada en la Provincia de los Ríos, del Cantón Mocache, ubicado en el km 7 de la vía Quevedo-El Empalme, en una zona clasificada como bosque húmedo tropical (Bh-T), a una altura de 73 msnm, temperatura promedio de 24,70°C, precipitación 1640,90 mm año⁻¹, una humedad relativa del 84,54% y una topografía plana (INIAP, 2018).

Establecimiento y manejo de las especies forrajeras

Previo al establecimiento del trabajo experimental se realizó un análisis de suelo teniendo como resultado un suelo Andisol cuyas características son pH 5,5%; materia orgánica (MO) 20%; nitrógeno (N) 26%; fosforo (P) 5 ppm; potasio (K) 0,27 meq 100 ml⁻¹; calcio (Ca) 8 meq 100 ml⁻¹; magnesio (Mg) 1,4 meq 100 ml⁻¹,

con los siguientes componentes de textura: arena, arcilla y limo de 30, 37 y 33%, respectivamente (INIAP, 2018). El clima es tropical húmedo, con dos estaciones definidas: a) época lluviosa: con precipitaciones altas y temperaturas altas de enero a junio, b) época seca: con escasas precipitaciones y temperaturas bajas de julio a diciembre. En la figura 1 se muestra la precipitación (mm) y las temperaturas máximas y mínimas (°C) para el periodo experimental

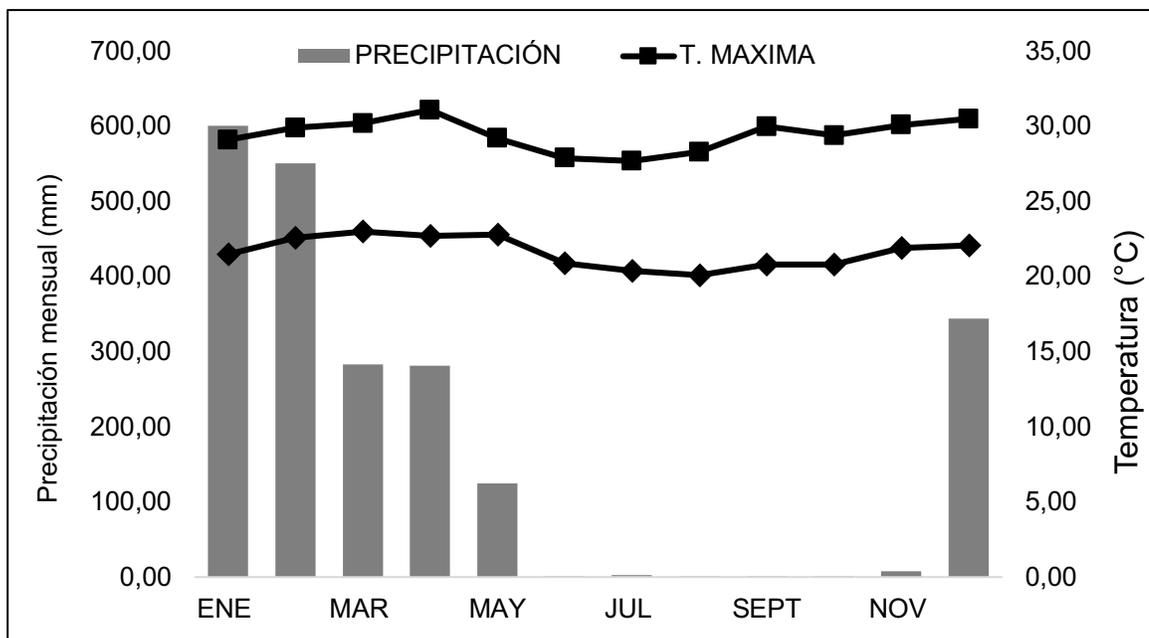


Figura 1. Precipitación (mm) y temperaturas máximas y mínimas (°C) para el periodo lluvioso (enero – marzo) y periodo seco (agosto – octubre). Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuaria (INIAP) 2018.

Las características morfoagronómica y rendimientos de producción de *Tithonia diversifolia* (TD), *Cratylia argentea* (CA) y *Erythrina poeppigiana* (EP), fue de la colección del programa de Pastos y Forrajes de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. La misma fue establecida en enero del 2017. La siembra se realizó al inicio de las lluvias por semilla sexual la *Cratylia argentea* a 1 cm de

profundidad y la *Tithonia diversifolia* y *Erythrina poeppigiana* se sembró por estaca con 6 yemas a una profundidad a 30 cm (siembra directa) a una distancia de siembra de 1 m entre planta, 1 m entre surcos. El terreno no se regó ni se fertilizo durante el experimento.

Una vez sembradas todas las plantas en las parcelas a los 12 meses de edad se hizo un corte de uniformidad a 50 cm (Toledo y Schultze, 1982); en adelante se realizaron cortes cada 30, 45, 60 y 75 días, para proceder a evaluar las características morfoagronómica y rendimientos de producción. El sitio experimental tuvo una superficie de 432 m², de las cuales se distribuyeron las 768 plantas para la época seca y lluviosa.

El análisis de la composición bromatológica se realizó a partir del forraje cosechado del experimento de los rendimientos de producción de planta completa (integral) para la época seca y lluviosa. Las muestras de los forrajes fueron secadas en una estufa de aire forzado a 60°C por 48 horas y se molió a 1 mm en un molino a martillo (THOMAS-Wiley, USA, Model 4). De las muestras de los rendimientos de producción se realizó la digestibilidad *in vitro* aparente.

Características morfoagronómica y rendimientos de producción

Para las variables características morfoagronómicas se detallan a continuación:

Altura de planta (HP) (cm): Se determinó cada quince días, desde el corte de uniformización (0,50 cm) hasta el ápice de la planta de cada especie forrajera (Holguín *et al.*, 2015).

Área Dosel (AD) (m): Se utilizó en base a la ecuación para el cálculo del área del círculo. Se procedió a la toma de datos de dos diámetros perpendiculares del

área de dosel y cada uno se divide entre 2 para luego desarrollar la ecuación $A = \pi (D_1/2 * D_2/2)$, donde D es el diámetro (Holguín *et al.*, 2015).

Índice de área foliar (IAF): Se determinó dividiendo el área foliar (AF) / área de suelo (AS) (Navarro *et al.*, 2012).

Número de hojas por plantas (NHP): Se lo realizó cada quince días a todas las plantas seleccionadas al azar teniendo en cuenta el efecto del borde, posteriormente se contó el número de hojas por cada planta (Navarro *et al.*, 2012).

Número de tallos por plantas (NTP): Se lo realizó cada quince días a todas las plantas seleccionadas al azar teniendo en cuenta el efecto del borde, posteriormente se contó el número de tallos por cada planta (Navarro *et al.*, 2012).

Para las variables rendimientos de producción:

Peso de hoja (PH) (g): Se realizó cada 15 días a cada unidad experimental donde fueron pesadas y picadas expresado en gramos de materia seca (Navarro *et al.*, 2012).

Peso de tallo (PT) (g): Se realizó cada 15 días a cada unidad experimental donde fueron pesadas y picadas expresado en gramos de materia seca (Navarro *et al.*, 2012).

Relación hoja/tallo (RHT) (g): Se estableció pesando por separado las hojas (PH) y los tallos (PT) para hacer el cálculo de la relación hoja/tallo medido en gramos (Holguín *et al.*, 2015).

Biomasa en materia seca (BMS): Las muestras del forraje (tallos más hojas) se realizó cada 15 días en estado de prefloración, cortándose a 50 cm de la planta a cada unidad experimental fueron pesadas y picadas; retirando 1 kg de las mismas; de donde se pesaron 300 g y se llevaron a una estufa a 65°C por 72 horas para determinar la producción de materia seca (Holguín *et al.*, 2015).

Producción (Prod/ha) (T/ha). Se calculó la producción por superficie medida en cantidad (T) de materia seca por hectárea (Holguín *et al.*, 2015).

Análisis bromatológicos

La materia seca (MS), ceniza y proteína cruda (PC) se determinaron según lo descrito por AOAC (2007). La proteína se determinó utilizando un micro Kjeldahl ($N \times 6.25$). Los análisis de fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA) se realizó según Van Soest (1991), utilizando método 12 y 13 respectivamente, ANKOM2000 analizador de fibra (ANKOM Technology, Macedon, NY, EEUU).

Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), materia orgánica (DIVMO), fibra detergente neutra (DIVFDN) y fibra detergente ácido (DIVFDA), se utilizó la técnica de Tilley y Terry (1963), que consistió en incubar por un tiempo 48 horas las muestras de forraje molido, con microorganismos del rumen (líquido ruminal) y una mezcla de saliva artificial de McDougal (1948), utilizando cuatro toros Brahman de $250,0 \pm 20,5$ kg de peso vivo, dotados de una fistula con cánula en el rumen. La incubación se la realizó utilizando un DaisyII® (ANKOM Technology, Fairport, NY-USA 2000), con, bolsas FN° 57, tamaño de poro de 25 μ m.

Diseño experimental y análisis estadístico

Todas las variables fueron analizadas como un diseño completo al azar (DCA) en arreglo factorial 3x4; F (especies forrajeras: F1= *Tithonia diversifolia*; F2= *Erythrina poeppigiana* y F3= *Cratylia argentea*) x E (Edad de cosecha: E1= 30 días de cosecha; E2= 45 días de cosecha; E3= 60 días de cosecha y E4= 75 días de cosecha), con 4 repeticiones (parcelas) independientemente para la época seca y lluviosa según el siguiente modelo lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + E_j + F \times E + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : es la variable de respuesta

μ : es la media experimental

F_i : es el efecto de la i-ésima forrajes

E_j : es el efecto de la j-ésima edad de cosecha

$F \times E$: es el efecto de la interacción entre los forrajes y la edad de cosecha

E_{ijk} : es el error experimental asociado a la k-ésima observación.

Todas las variables se analizaron según el diseño empleado utilizando PROC GLM del SAS (2011) y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Características morfoagronómicas

La AP, NTP, AD y el IAF registró diferencias estadísticas ($P < 0,05$) en la época seca por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades, sin embargo, el NHP no registró diferencias ($P > 0,05$) para los factores bajo estudio. De manera similar, en la época lluviosa la AP, NHP, NTP y el IAF presentaron cambios ($P < 0,05$) por efecto de tipo de forrajes, edades y su interacción, sin embargo, el AD no registró diferencias estadísticas ($P > 0,05$) (Tabla 3-1).

Tabla 1 Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-1. Características morfoagronómicas de *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea*, a diferentes edades de corte durante la época seca y lluviosa en base seca

Variables	Características morfoagronómicas										
	Época seca					Época lluviosa					
	AP (m)	NHP	NTP	AD (m ²)	IAF (m ² planta ⁻¹)	AP (m)	NHP	NTP	AD (m ²)	IAF (m ² planta ⁻¹)	
Forrajes											
<i>T. diversifolia</i>	1,41 a	169,45 a	15,61 a	0,44 ab	3,46 a	1,68 a	228,1 b	21,83 a	0,72 a	4,48 a	
<i>E. poeppigiana</i>	0,60 c	154,41 a	4,47 b	0,48 a	1,29 b	0,95 b	232,6 b	6,59 c	0,57 a	1,82 c	
<i>C. argentea</i>	0,85 b	172,44 a	5,32 b	0,31 b	1,21 b	0,65 c	334,7 a	10,75 b	0,60 a	2,80 b	
Edades											
30	0,45 c	111,63 a	9,17 a	0,29 b	1,43 b	0,52 d	190,6 c	16,25 a	0,56 a	2,27 b	
45	0,87 b	154,33 a	8,58 ab	0,57 a	1,67 b	0,94 c	241,6 bc	14,29 ab	0,62 a	3,04 ab	
60	1,15 a	209,18 a	10,07 a	0,25 b	2,59 a	1,25 b	287,2 ab	12,16 bc	0,63 a	3,25 a	
75	1,34 a	186,60 a	6,04 b	0,54 a	2,25 ab	1,67 a	341,2 a	9,52 c	0,72 a	3,57 a	
Interacción											
<i>T. diversifolia</i>	30	0,37	173,8	18,1	0,53	3,28	0,65	272,8	32,0	0,72	4,52
	45	1,23	186,3	17,6	0,52	3,03	1,50	257,3	24,0	0,85	5,26
	60	1,90	202,8	17,4	0,41	4,70	1,93	205,8	17,4	0,61	4,74
	75	2,14	115,0	9,3	0,29	2,81	2,64	176,8	13,9	0,70	3,39

<i>E. poeppigiana</i>	30	0,41	82,0	4,6	0,16	0,52	0,39	162,8	7,6	0,46	1,15
	45	0,73	160,4	4,1	0,81	1,12	0,41	137,6	6,8	0,46	0,91
	60	0,52	143,7	4,6	0,15	1,18	0,72	261,1	5,8	0,64	1,93
	75	0,75	231,6	4,7	0,80	2,34	1,09	369,0	6,2	0,74	3,31
<i>C. argentea</i>	30	0,57	79,1	4,9	0,18	0,48	0,53	136,3	9,1	0,50	1,13
	45	0,66	116,3	4,1	0,37	0,86	0,92	329,9	12,1	0,55	2,95
	60	1,05	281,1	8,2	0,18	1,90	1,10	394,9	13,2	0,64	3,09
	75	1,12	213,3	4,1	0,52	1,61	1,27	477,9	8,5	0,72	4,02
EEM		0,10	48,42	1,39	0,09	0,38	0,08	39,29	1,45	0,11	0,39
Efecto forraje		0,0001	0,8533	0,0001	0,0240	0,0001	0,0001	0,0005	0,0001	0,1181	0,0001
Efecto edades		0,0001	0,0943	0,0076	0,0001	0,0024	0,0001	0,0003	0,0001	0,3115	0,0017
Efecto forraje x edades		0,0001	0,1330	0,0112	0,0001	0,0168	0,0001	0,0001	0,0001	0,3374	0,0001

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media

AP= altura de planta, NHP= números de hojas por plantas, NTP= número de tallos por plantas, AD= área dosel, IAF= índice de área foliar

Rendimientos de producción

El PT, RHT, Biomasa y Producción registró diferencias estadísticas ($P < 0,05$) en la época seca por el efecto tipo de forrajes, edades y para la interacción forrajes por edades, y el PH por efecto edades. Mientras, en la época lluviosa el PH, PT, Biomasa y Producción presentaron cambios ($P < 0,05$) por efecto de tipo forrajes, edades y su interacción, y la RHT por efecto de forrajes y edades (Tabla 3-2).

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-2. Rendimientos de producción de *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea*, a diferentes edades de corte durante la época seca y lluviosa en base seca

Variables	Rendimientos de producción †										
	Época seca					Época lluviosa					
	PH (g planta ⁻¹)	PT (g planta ⁻¹)	RHT (g)	Biomasa (g planta ⁻¹)	Prod (t ha ⁻¹)	PH (g planta ⁻¹)	PT (g planta ⁻¹)	RHT (g)	Biomasa (g planta ⁻¹)	Prod (t ha ⁻¹)	
Forrajes											
<i>T. diversifolia</i>	74,71 a	159,08 a	1,03 c	226,88 a	2,27 a	87,29 a	162,26 a	0,97 b	290,78 a	2,91 a	
<i>E. poeppigiana</i>	56,94 a	43,77 b	1,39 b	98,94 b	0,99 b	52,46 b	25,96 c	2,24 a	95,60 c	0,96 c	
<i>C. argentea</i>	59,92 a	33,26 b	2,15 a	89,97 b	0,86 b	86,20 a	58,66 b	1,87 a	155,89 b	1,56 b	
Edades											
30	24,43 b	12,21 b	2,17 a	34,90 b	0,35 b	29,13 d	13,27 d	2,36 a	42,29 d	0,42 d	
45	58,19 ab	49,02 b	1,63 b	105,03 b	0,99 b	63,48 c	52,42 c	1,73 b	119,51 c	1,20 c	
60	94,83 a	119,45 a	1,19 c	217,84 a	2,18 a	90,74 b	111,14 b	1,37 b	215,67 b	2,16 b	
75	77,98 a	134,11 a	1,12 c	196,62 a	1,97 a	117,81 a	152,34 a	1,27 b	345,33 a	3,46 a	
Interacción											
<i>T. diversifolia</i>	30	31,9	15,1	2,2	43,3	0,43	41,6	19,8	2,1	61,1	0,62
	45	79,6	86,8	1,01	164,8	1,65	88,5	102,7	0,9	194,7	1,95
	60	123,1	249,6	0,5	384,6	3,84	113,8	223,0	0,5	365,0	3,65
	75	64,2	284,8	0,3	314,9	3,15	105,0	303,7	0,4	542,0	5,42
<i>E. poeppigiana</i>	30	19,9	13,7	1,4	34,0	0,34	20,8	8,8	2,3	28,9	0,29
	45	61,3	45,2	1,6	102,0	1,02	24,5	10,0	2,5	35,7	0,36
	60	52,6	41,3	1,3	93,2	0,93	52,2	27,7	2,2	81,7	0,81
	75	93,9	74,9	1,2	166,5	1,66	112,4	57,2	2,0	236,2	2,36
<i>C. argentea</i>	30	21,4	7,9	2,8	27,4	0,27	25,0	11,2	2,7	36,4	0,36

	45	33,7	15,1	2,2	48,3	0,31	77,5	44,6	1,8	128,2	1,28
	60	108,8	67,4	1,7	175,8	1,76	106,3	82,7	1,5	200,1	2,00
	75	75,8	42,7	1,9	108,5	1,09	136,1	96,1	1,5	258,5	2,59
EEM		17,10	20,75	0,16	38,61	0,39	9,20	15,76	0,25	29,34	0,29
Efecto forrajes		0,3017	0,0001	0,000	0,0001	0,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
				1		1					
Efecto edades		0,0001	0,0001	0,000	0,0001	0,000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
				1		1					
Efecto forraje x edades		0,0796	0,0010	0,000	0,0149	0,013	0,0019	0,0001	0,0544	0,0002	0,0002
				1		7					

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media; †= corte

PH= peso de hoja, PT= peso de tallo, RHT= relación hoja/tallo, Prod= producción

Composición bromatológica

La MS, MO y FDA registró diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para la época seca por el efecto entre forrajes, entre edades y su interacción forrajes por edades, la PC por el efecto edades y su interacción forrajes por edades y la FDN por efecto entre forrajes y edades. Así mismo, en la época lluviosa MS, MO, FDN y FDA presentaron cambios ($P < 0,05$) por efecto de tipo de forrajes, edades y su interacción, así mismo la PC por el efecto entre edades y su interacción. (Tabla 3-3).

Tabla 1 Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-3. Composición bromatológica de *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea*, a diferentes edades de corte durante la época seca y lluviosa en base seca

Variables	Época seca					Época lluviosa					
	MS	MO	PC	FDN	FDA	MS	MO	PC	FDN	FDA	
Forrajes											
<i>T. diversifolia</i>	11,27 c	85,65 c	16,98 a	53,96 b	42,57 a	10,58 c	86,82 b	16,18 a	54,22 c	43,57 a	
<i>E. poeppigiana</i>	17,72 b	91,32 a	17,66 a	59,56 a	40,30 ab	14,94 b	91,42 a	16,31 a	59,75 b	40,00 b	
<i>C. argétea</i>	23,16 a	89,60 b	18,38 a	62,29 a	38,90 b	22,34 a	90,76 a	16,95 a	61,71 a	40,44 b	
Edades											
30	13,42 d	87,74 c	21,53 a	52,27 b	33,85 c	11,17 d	88,08 b	21,10 a	53,92 c	36,12 c	
45	15,63 c	87,22 c	19,37 b	56,91 b	39,90 b	14,34 c	88,34 b	15,78 a	56,19 b	40,48 b	
60	18,99 b	89,42 b	16,95 c	62,52 a	44,41 a	16,33 b	90,92 a	15,38 b	61,40 a	43,98 a	
75	21,51 a	91,03 a	12,85 d	62,72 a	44,19 a	21,98 a	91,32 a	13,65 c	62,75 a	44,78 a	
Interacción											
<i>T. diversifolia</i>	30	8,9	81,9	22,2	45,19	34,6	8,1	82,6	22,60	49,2	40,3
	45	8,7	83,2	20,3	49,4	39,5	8,2	84,2	19,1	49,1	39,5
	60	11,9	86,7	17,5	58,7	46,2	10,1	89,6	13,8	57,4	46,7
	75	15,6	90,8	8,0	62,6	50,1	16,0	90,9	9,9	61,3	47,8
<i>E. poeppigiana</i>	30	12,1	90,8	20,8	53,6	35,5	10,1	91,4	18,9	56,9	34,7
	45	17,9	90,3	18,9	60,4	41,5	14,0	90,7	14,1	58,4	41,7
	60	19,4	92,6	16,4	61,9	42,3	13,9	91,9	16,5	62,0	41,6
	75	21,2	91,7	14,6	62,3	42,1	16,0	91,6	15,8	61,7	42,1

	30	19,2	90,6	21,6	58,0	31,7	15,4	90,2	21,8	55,7	33,4
<i>C. argentea</i>	45	20,2	88,2	18,9	60,9	38,7	20,9	90,1	15,3	61,1	40,3
	60	25,6	89,0	17,0	66,9	44,8	25,0	91,2	15,5	64,9	43,6
	75	27,6	90,6	16,0	63,3	40,5	28,2	91,5	15,2	65,2	44,5
EEM		0,86	0,72	0,92	2,14	1,38	0,62	0,68	0,64	0,85	0,74
Efecto forraje		0,0001	0,0001	0,1104	0,0001	0,0022	0,0001	0,0001	0,2481	0,0001	0,0001
Efecto edades		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Efecto forraje x edades		0,0183	0,0001	0,0001	0,0673	0,0040	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media

MS= materia seca, MO= materia orgánica, PC= proteína cruda, FDN= fibra detergente neutra, FDA= fibra detergente ácido

Digestibilidad in vitro aparente

La DIVMS, DIVMO, DIVFDN y DIVFDA se evidencia diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para la época seca y lluviosa por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades (Tabla 3-4).

Tabla 3-4. Digestibilidad *in vitro* aparente de *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea* a diferentes edades de corte, en la época seca y lluviosa

Variables	Época seca				Época lluviosa				
	Digestibilidad <i>in vitro</i> aparente				Digestibilidad <i>in vitro</i> aparente				
	MS	MO	FDN	FDA	MS	MO	FDN	FDA	
Forrajes									
<i>T. diversifolia</i>	51,46 a	46,26 a	43,64 b	32,94 a	61,93 a	57,32 b	58,77 b	52,0 3 a	
<i>E. poeppigiana</i>	51,59 a	47,15 a	47,82 a	29,78 b	62,3 3 a	59,26 a	62,25 a	51,8 9 a	
<i>C. argentea</i>	38,3 3 b	34,08 b	35,81 c	26,59 c	46,9 2 b	42,77 c	45,06 c	21,6 0 b	
Edades									
30	58,8 4 a	54,68 a	52,58 a	36,95 a	67,9 9 a	63,88 a	65,32 a	51,84 a	
45	46,4 6 b	42,44 b	43,68 b	30,12 b	57,67 b	54,37 b	55,71 b	44,5 3 b	
60	41,72 c	36,52 c	40,88 c	27,89 c	54,9 3 c	51,04 c	54,09 b	39,6 0 c	
75	41,4 8 c	36,34 c	32,56 d	24,12 d	47,6 6 d	43,23 d	46,33 c	31,3 9 d	
Interacción									
<i>T. diversifolia</i>	30	62,4	60,0	52,8	37,8	72,3	65,9	67,4	61,3
	45	55,7	48,3	44,5	34,0	66,2	63,3	62,3	59,4
	60	48,5	40,9	44,4	32,7	62,4	58,7	58,9	51,3
	75	39,2	45,9	33,0	27,2	46,9	41,4	46,6	36,2
<i>E. poeppigiana</i>	30	63,2	58,6	57,5	42,0	74,3	70,9	74,2	61,7
	45	48,5	46,5	51,2	28,2	60,4	58,1	60,4	54,0
	60	47,2	41,9	43,7	26,2	59,0	55,6	61,7	48,9
	75	47,4	41,7	38,9	22,7	55,7	52,5	52,6	42,9
<i>C. argentea</i>	30	50,9	45,5	47,5	31,1	57,4	54,7	54,4	32,5
	45	35,2	32,6	35,4	28,2	46,4	41,8	44,4	20,3

	60	29,4	26,8	34,6	24,7	43,5	38,8	41,7	18,6
	75	37,8	31,5	25,8	22,4	40,4	35,8	39,8	15,1
EEM		1,52	0,54	0,73	0,62	0,68	0,96	1,26	1,10
Efecto forrajes		0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
		01	1	1	1	01	1	1	01
Efecto edades		0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
		01	1	1	1	01	1	1	01
Efecto forrajes x edades		0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
		01	1	1	1	01	1	3	01

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media

DIVMS= digestibilidad *in vitro* materia seca, DIVMO= digestibilidad *in vitro* materia orgánica, DIVFDN= digestibilidad *in vitro* fibra detergente neutra, DIVFDA= digestibilidad *in vitro* fibra detergente ácido

El déficit de humedad del suelo tiene una relación directa en el crecimiento y desarrollo de los forrajes, provocando una reducción del área foliar, de la actividad fotosintética y por consiguiente la producción de MS (Machado, 1996). En este contexto los resultados de esta investigación se asociaron a las condiciones ambientales y a una mayor precipitación, dando como resultados una mejor AP, NHP, NTP, AD, IAF, PH, PT, RHT, Biomasa y la Producción, lo que se evidencia para la época lluviosa (Tabla 3-1 y 3-2). De acuerdo con Enríquez *et al.* (2003) destacan que los rendimientos de producción de MS se encuentran directamente relacionados con la edad de corte de la planta. Pathak *et al.* (1980); Pérez y Meléndez (1980) y Ella *et al.* (1989), en estudios realizados con otras especies de arbustos forrajeros descubrieron que las edades de corte se relacionaron con mayores producciones de materia seca. Así mismo, la producción MS total están íntimamente ligado con el área foliar debido a la intercepción de luz solar y la fotosíntesis, lo que se relaciona con una mayor tasa de crecimiento y rendimientos de una planta (Turgut *et al.*, 2005). La radiación solar es uno de los factores más importante para la producción de forraje ya que se asocia con la madurez fisiológica y el crecimiento de la planta (Castillo *et al.*, 2008). La rapidez de recuperación de los carbohidratos de reserva de un forraje

está relacionada con la fotosíntesis, ya que depende del remanente de hojas jóvenes de una planta (Adjei *et al.*, 1989). Los carbohidratos de reserva que posee una planta forrajera como mecanismo de rebrote, permite tener una persistencia y su producción; formadas especialmente por carbohidratos y compuestos nitrogenados (Castillo *et al.*, 2008).

Según Wanjau (1998), la edad de cosecha de una planta influye en los porcentajes de MS a medida que aumenta su madurez fisiológica. En esta investigación, la edad de corte se asoció a una mayor cantidad de MS, MO, FDN y FDA tanto para la época seca como para la lluviosa (Tabla 3-3). En un trabajo ejecutado en *T. diversifolia* se reporta que la MS puede estar desde 13,5 hasta 25,0%, en función de la edad y la frecuencia de corte (Mahecha *et al.*, 2007). Esto indica que la edad de rebrote de la *E. poeppigiana* influye en los porcentajes de MS, lo que trae como consecuencia una disminución en la PC (Choque *et al.*, 2018). Es muy sustancial que la edad de cosecha de las plantas, el manejo agronómico y la época del año son factores que influyen sobre el contenido de la MS en *T. diversifolia* (Alonso *et al.*, 2013). Mahecha y Rosales (2005) enuncian que el follaje de *T. diversifolia* presenta variaciones en su composición química dependiendo del estado fenológico en que se encuentre. La MS aumento con la edad del rebrote, debido a su estado fenológico y por ende a un aumento de las fracciones fibrosas de la planta (Verdecia *et al.*, 2018)

La edad de corte de una planta tiene una directa relación sobre las condiciones ambientales, a medida que aumenta la edad se reducen los porcentajes de PC y se incrementa la FDN y FDA lo que se evidencia en esta investigación para la época seca y lluviosa (Tabla 3-3). Las condiciones agroclimáticas, la madurez fisiológica y entre otros factores, establecen la variabilidad en el porcentaje de PC de los forrajes (Juárez *et al.*, 2007). Cruywagen *et al.* (2007), mencionan a medida que se aumenta de la edad de rebrote existe una disminución en el porcentaje de PC y un aumento en la FDN en los pastos. La composición

bromatológica de un pasto durante el periodo de rebrote reduce el porcentaje de PC y de cenizas, aumentando el contenido de la pared celular y lignina (Reynolds 1995, Sheaffer 2016, White and Wolf 2009). Los bajos porcentajes de la PC con la edad de cosecha pudiera estar relacionado con la síntesis de compuestos proteicos, al incremento de las fracciones fibrosas y a las condiciones ambientales (Meza *et al.*, 2014 y Gómez *et al.*, 2017). Los porcentajes de PC de estas especies se encuentra en un rango normal con otras especies como *G. sepium* (14,7%), *L. leucocephala* (22,2%) y *E. poeppigiana* (21,4%) (Murgueitio, 2009).

Los altos porcentajes de la FDN y FDA con la edad de cosecha pudiera estar relacionado con la madurez fisiológica de la planta, provocando un decremento en el contenido celular citoplasmático; reduciendo el lumen celular de sus componentes solubles e incrementando la fibra (Rodríguez, 2017). El comportamiento de las fracciones fibrosas en los forrajes está relacionado con el aumento de la madurez fisiológica de la planta y muchas veces está asociado con la reducción del número de hojas jóvenes (Milera *et al.*, 2010).

El efecto entre las especies forrajeras pudiera estar asociado a las características que poseen cada especie forrajera en función de su composición química, condiciones ambientales y a las precipitaciones durante el trabajo experimental (Tabla 3-3). Habitualmente la composición bromatológica de una planta varía en función de la edad, especie, manejo y las condiciones edafoclimática (Ramírez *et al.*, 2010). Valles *et al.* (2014) mencionan que las condiciones medioambientales en especial las épocas del año y los días de rebrotes tiene influencia en la calidad nutricional de un forraje. Así mismo, Choque *et al.* (2018) indican que la composición bromatológica de los forrajes tropicales se ve afectada por las condiciones ambientales y por la deficiencia de nitrógeno que existe en el suelo. Las condiciones edafoclimáticas tienden a disminuir la calidad de los forrajes (Morillo, 1994).

La edad de corte influye en la digestibilidad de la MS, MO, FDN y FDA (Barros *et al.* 2017; Sánchez *et al.* 2008; Lascano, 1996; Miquilena *et al.* 1995; Hides *et al.* 1983). En este trabajo experimental, la edad de corte se asoció a una menor digestibilidad de la MS, MO, FDN y FDA tanto para la época seca como para la lluviosa (Tabla 3-4). La baja digestibilidad de los forrajes se debe a la edad de corte de la planta por los componentes estructurales que estos poseen (Minson 1972; Lanyasunya *et al.* 2006). Rodríguez y Murgueitio (2002) indican que la disminución de la digestibilidad está relacionada con la edad de la planta, lo que se asocia a la lignificación de la pared celular, siendo los forrajes más fibrosos y menos digestibles. Así mismo, Avellaneda *et al.* (2015) manifiestan que los componentes estructurales de las plantas son más degradables a edades de cortes tempranos y en función de la especie forrajera. La edad de cosecha afecta en la morfología de la planta, y por ende la calidad del forraje (Nelson y Moser 1994). La baja calidad de los forrajes con la edad de corte esta intimamente relacionado con el decremento de la relación hoja-tallo (Ugherughe, 1986; Hill *et al.*, 1989). La presencia de metabolitos secundarios que pueden afectar la digestibilidad (Jackson *et al.*, 1996), como es el caso de los taninos condensados totales son más altos durante la época de sequía que en las de lluvias (Santacoloma y Granados, 2012), lo que afecta el consumo y la digestibilidad de la MS (Flores *et al.*, 1999; Gutiérrez *et al.*, 2003).

Los resultados en este estudio permiten evidenciar que las características morfoagronómicas y los rendimientos de producción difieren sobre las edades de corte y las especies forrajeras, independientemente para la época seca y lluviosa, siendo la mejor edad de corte a los 75 días y la mejor especie la *T. diversifolia*.

La edad de corte presentó variaciones en su composición química, en la época seca y lluviosa. Sin embargo, la mejor PC, FDN y FDA se evidencia a los 30 días de edad y la mayor MS y MO la registro la edad a los 75 días.

La digestibilidad *in vitro* presentó cambios significativos para las edades de corte y las especies forrajeras, para la época seca y lluviosa; siendo la mejor edad de corte a los 30 días y las mejores especies la *T. diversifolia* y la *E. poeppigiana*.

Degradación ruminal de nutrientes *in vitro* de especies arbustivas y arbóreas tropicales en el Litoral Ecuatoriano

La zona central del Litoral Ecuatoriano carece de fuentes alimenticias para la producción animal, lo que se convierte un problema en el abastecimiento del forraje en la época seca (Estupiñán *et al.*, 2007). La ganadería tropical enfrenta grandes desafíos, especialmente en la época seca, debido a que disminuyen de manera rápida la disponibilidad y la calidad de los forrajes (Cuartas *et al.*, 2014). En el trópico seco la producción de los forrajes durante la época seca es muy escasa y de bajo valor nutricional debido a sus altos porcentajes de carbohidratos estructurales (> 70%), bajo porcentaje de PC (< 7%) y bajo contenido de carbohidratos no estructurales, Rojas *et al.* (2018), lo que se ven afectados su valor nutricional, existiendo un desbalance en la MO fermentable y el contenido de nitrógeno utilizable para la microflora ruminal (Noceck y Russell 1988; Van Soest, 1994).

Se enfatiza que, durante la época seca la calidad del forraje disminuye, existiendo baja digestibilidad, degradación y fermentación ruminal en el tracto digestivo posterior (Hess y Domínguez, 1995). Bajo estas condiciones existen plantas arbustivas y arbóreas ricas en nitrógeno (Vivas *et al.* (2017), presentando altos valores de PC y que se adaptan a diferentes ambientes (López *et al.*, 2017). Durante las épocas secas o lluviosas, las forrajeras arbustivas y arbóreas es de vital importancia ya que proveen un forraje de alto valor nutricional, particularmente en proteínas, vitaminas y minerales, cuyo forraje es recomendable para la alimentación de rumiantes mejorando así su digestibilidad (Delgado *et al.*, 2001; Beauchemin *et al.*, 2003).

Muchas especies arbustivas y arbóreas tienen mayor valor nutricional que mejoran a las gramíneas y obteniendo mayor producción de forraje y de gran valor biológico, rápido crecimiento, baja demanda de insumos, tienen un amplio

rango de adaptación, resistencia al corte frecuente, toleran condiciones de acides del suelo y baja fertilidad Tun, (2004); Mahecha *et al.* (2007); Ramírez *et al.* (2007); Medina *et al.* (2009); Verdecia *et al.* (2011), dichas características son satisfactorias para mejorar los sistemas de producción animal sostenible (Mejía-Díaz *et al.*, 2017; Rodríguez, 2017). Existen evidencias de que *Tithonia diversifolia*, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea* son plantas forrajeras promisorias para la alimentación de rumiantes y no rumiantes lo que conlleva profundizar en el estudio de estos forrajes (Nieves *et al.*, 2011).

El uso de las especies arbóreas, arbustivas y las edades de cosecha en el Ecuador es de vital importancia desde el punto de vista nutricional en la alimentación de rumiantes, ya que esta va a depender de su composición bromatológica, condiciones agroclimáticas y edad fenológica del forraje, lo que influye en su calidad nutricional mejorando así los parámetros productivos y reproductivos en rumiantes. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la cinética de degradación de nutrientes *in vitro* de la materia seca, materia orgánica, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida del forraje de *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea* a diferentes edades de corte durante las épocas seca y lluviosa.

El trabajo experimental se realizó en la Finca Experimental “La María”, propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizada en la Provincia de los Ríos, del Cantón Mocache, ubicado en el km 7 de la vía Quevedo-El Empalme, en una zona clasificada como bosque húmedo tropical (Bh-T), a una altura de 73 msnm, temperatura promedio de 24,70°C, precipitación 1640,90 mm año¹, una humedad relativa del 84,54% y una topografía plana (INIAP, 2018).

Se utilizó la planta completa de tres especies arbustivas forrajeras (*Tithonia diversifolia*, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea*) y cuatro edades de corte (30, 45, 60 y 75 días) para las épocas seca y lluviosa.

El forraje cosechado, fue homogenizado y secado durante 48 h en estufa de aire forzado a 60 °C, se molió a 1 mm en un molino a martillo (THOMAS-Wiley, USA, Model 4.) para la degradabilidad ruminal *in vitro*.

Se utilizaron cuatro toros Brahman de 250,0 ± 20,5 kg de peso vivo, dotados de una cánula ruminal (cuatro pulgadas de diámetro interno, Bar Diamond, Parma, Idaho, EEUU). Los animales fueron pastoreados (praderas) de *Panicum maximum*, con agua *ad libitum*.

El contenido ruminal (líquido y fracciones solidas) se realizó por separado para cada toro (cuatro animales por repeticiones). El contenido ruminal se recolectó antes de salir a pastoreo a los animales y se conservó a 39 °C en un termo de plástico sellado durante el transporte al laboratorio.

Se realizó la valoración de la degradabilidad ruminal *in vitro* de la MS, MO, FDN y FDA de las especies *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y la *C. argentea* cosechadas a los 30, 45, 60 y 75 días para la época seca y lluviosa. La solución buffer utilizada estuvo compuesta por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores según el procedimiento descrito por Menke y Steingass (1988). El inóculo (70:30 medio; saliva artificial/inóculo; contenido ruminal) bajo constante flujo de CO₂. Se siguió el protocolo recomendado por el fabricante para el incubador DaisyII®, (ANKOM Technology, Fairport, NY-USA A220) (ANKOM, 2004) a una temperatura de 39,2 ± 0,5 °C, usando bolsas FN° 57 con un tamaño de poro de 25 µm y dimensiones de 5 x 4 cm fabricadas de poliéster/polietileno y se depositaron 0,30 g de muestra de cada tratamiento y se

incubaron por 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h. Las bolsas fueron removidas al final de los tiempos de incubación, lavadas con agua corriente y secadas a 60 °C. La desaparición de los nutrientes fue calculada como una proporción del material incubado y residual. Posteriormente, se determinó la FDN y FDA con la metodología de ANKOM® FIBER ANALYZER A220 Technology Method de Van Soest *et al.* (1991). Los datos fueron ajustados a la ecuación: $Y = a + b(1 - e^{-ct})$ (Ørskov y McDonald, 1979).

Donde:

Y = degradabilidad potencial

t = tiempo de incubación

a = intercepto con el eje “Y” en el tiempo cero. Representa el sustrato soluble y completamente degradable que sale rápidamente de la bolsa

b = la diferencia entre el intercepto (a) y la asíntota, representa la fracción insoluble pero potencialmente degradable del sustrato el cual es degradado por los microorganismos

c = tasa constante de la degradación de la fracción b (% h⁻¹)

$(a+b)$ = simboliza la fracción potencialmente degradable de la muestra

Todas las variables fueron analizadas como un diseño completo al azar (DCA) en arreglo factorial 3x4; F (Forrajes: F1= *Tithonia diversifolia*; F2= *Erythrina poeppigiana* y F3= *Cratylia argentea*) x E (Edad de cosecha: E1= 30 días de cosecha; E2= 45 días de cosecha; E3= 60 días de cosecha y E4= 75 días de cosecha), con 4 repeticiones independientemente para la época seca y lluviosa según el siguiente modelo lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + E_j + F \times E + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : es la variable de respuesta

μ : es la media experimental

F_i : es el efecto de la i -ésima forrajes

E_j : es el efecto de la j -ésima edad de cosecha

$F \times E$: es el efecto de la interacción entre los forrajes y la edad de cosecha

E_{ijk} : es el error experimental asociado a la k -ésima observación.

Las variables se analizaron según el diseño empleado utilizando PROC GLM del SAS (2011). La comparación de medias mediante la prueba de Tukey. Excepto la cinética de degradación ruminal *in vitro* de la MS, MO, FDN y FDA, se analizó con el programa Graphpad Prism 6 (San Diego, EEUU).

Cinética de degradación ruminal *in vitro* de la materia seca (MS)

La degradación de la MS registro diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para la época seca por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades sobre la fracción soluble (a), la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b), la degradación potencial (a+b) y la degradación efectiva a tasas de pasaje por el rumen (DE), así mismo para la tasa de degradación (c) por el efecto entre forrajes y edades. (Tabla 4-2 y Figura 4-1 y 4-2). La degradación de la MS registro diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para la época lluviosa por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades sobre la fracción soluble (a), la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b), la tasa de degradación (c), la degradación potencial (a+b) y la degradación efectiva a tasas de pasaje por el rumen (DE). (Tabla 4-2 y Figura 4-1 y 4-2).

Tabla 5. Parámetros de degradación ruminal *in vitro* de especies arbustivas y arbóreas a diferentes edades de corte, en la época seca y lluviosa (MS%)

Variables	Época seca							Época lluviosa							
	Cinética de degradación				DE			Cinética de degradación				DE			
	a	b	c	a+b	0.02 k	0.05 k	0.08 k	a	b	c	a+b	0.02 k	0.05 k	0.08 k	
Forrajes															
<i>T. diversifolia</i>	4,22 b	51,01 a	0,060 a	55,23 a	42,91 a	31,93 a	26,03 a	6,14 b	62,16 a	0,064 a	68,29 a	53,30 a	40,83 a	33,60 a	
<i>E. poeppigiana</i>	7,53 a	50,75 a	0,039 b	58,27 a	40,84 a	29,60 b	24,05 b	3,69 c	62,33 a	0,060 a	66,02 b	50,28 b	37,53 b	30,28 b	
<i>C. argentea</i>	7,08 a	38,12 b	0,035 b	45,19 b	31,27 b	22,84 c	18,80 c	8,46 a	41,99 b	0,051 b	50,45 c	38,55 c	29,67 c	24,86 c	
Edades															
30	6,14 ab	57,68 a	0,054 a	63,82 a	47,56 a	35,53 a	28,99 a	3,88 c	67,80 a	0,060 ab	71,68 a	54,70 a	40,84 a	32,93 a	
45	5,69 b	46,87 b	0,043 b	52,56 b	37,38 b	27,29 b	22,13 b	5,87 b	55,85 b	0,057 bc	61,72 b	47,04 b	35,61 b	29,21 b	
60	4,46 b	43,56 bc	0,042 b	48,02 c	34,45 c	26,05 bc	21,83 b	7,60 a	49,12 c	0,062 a	56,72 c	44,72 c	34,79 c	29,05 b	
75	8,81 a	38,38 c	0,039 b	47,19 c	33,13 c	23,62 c	18,89 c	7,03 ab	49,21 c	0,054 c	56,23 c	43,04 d	32,80 d	27,12 c	
Interacción															
<i>T. diversifolia</i>	30	3,7	61,2	0,071	64,9	51,2	39,3	32,2	3,3	72,2	0,056	75,5	56,5	41,4	33,0
	45	1,6	58,3	0,061	59,8	45,3	33,5	26,7	2,6	66,7	0,079	69,3	55,8	43,4	35,7
	60	2,2	51,2	0,054	53,4	39,4	28,6	19,8	9,3	54,9	0,060	64,2	50,5	39,3	32,9
	75	9,4	33,4	0,052	42,8	33,3	26,3	22,6	9,3	54,9	0,060	64,2	50,5	39,3	32,9
<i>E. poeppigiana</i>	30	7,6	62,3	0,045	69,9	50,5	36,9	29,9	1,2	77,2	0,066	78,4	60,4	45,1	36,0
	45	11,7	43,0	0,035	54,7	39,1	29,5	24,9	4,1	61,5	0,049	65,6	47,6	34,4	27,3
	60	5,0	48,4	0,036	53,4	35,8	24,9	19,8	8,3	52,7	0,065	60,9	48,5	38,0	31,9
	75	5,8	49,3	0,039	55,1	37,9	27,0	21,6	1,21	57,9	0,060	59,2	44,6	32,7	25,9

	30	7,1	49,6	0,046	56,7	41,1	30,1	24,8	7,1	54,0	0,058	61,1	47,3	36,1	29,8
<i>C.</i>	45	3,8	39,4	0,032	43,1	27,7	18,9	14,9	10,9	39,3	0,043	50,3	37,7	29,1	24,7
<i>argentea</i>	60	6,2	31,1	0,028	37,3	24,2	17,3	14,2	5,2	39,8	0,061	45,0	35,2	27,1	22,4
	75	11,3	32,4	0,036	43,7	32,1	24,8	21,3	10,5	34,8	0,043	45,3	34,1	26,4	22,6
EEM		1,35	2,49	0,005	1,85	1,23	1,11	1,05	0,70	0,93	2,5	0,58	0,32	0,29	0,29
Efecto forraje		0,002	0,0001	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,0001	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		6			1	1	1		01	1	1	1	1	1	01
Efecto edad		0,003	0,0001	0,0048	0,000	0,000	0,000	0,0001	0,00	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,00
		1			1	1	1		01	1	9	1	1	1	01
Efecto forraje x edad		0,000	0,0001	0,7785	0,000	0,000	0,000	0,0004	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		2			1	1	1		01	1	1	1	1	1	01

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media; MS: materia seca

a: fracción soluble, b: fracción insoluble pero potencialmente degradable, c: tasa de degradación en % h, a+b: potencial de degradación %, DE; degradación efectiva, k: tasa de pasaje por el rumen 0.02; 0.05; 0.08 % h⁻¹

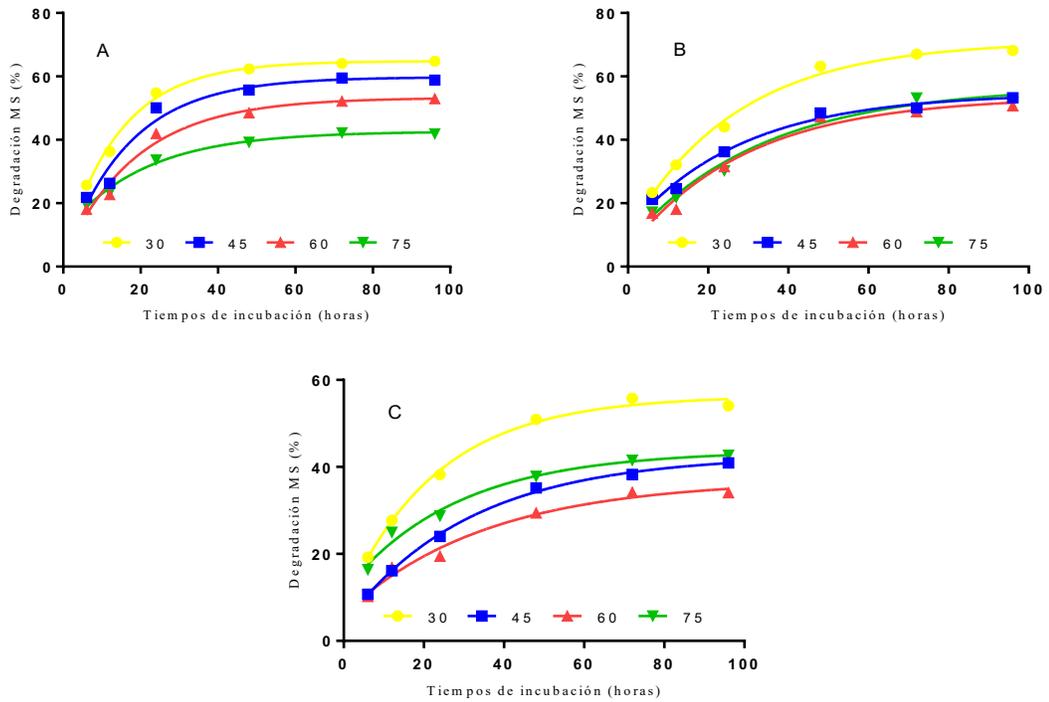
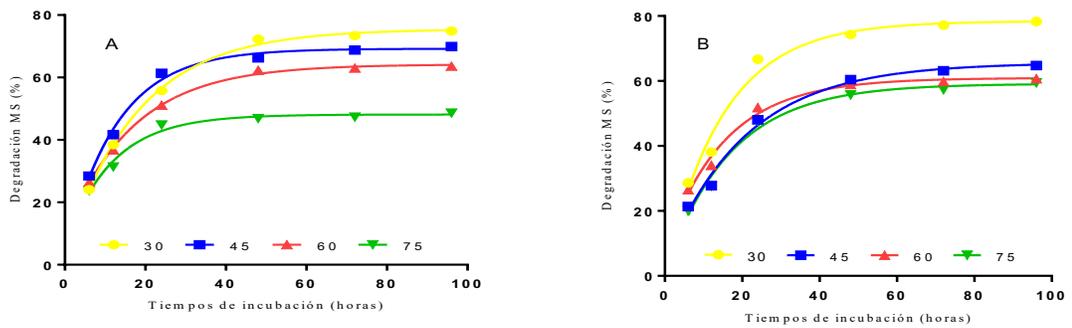


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-1. Cinética de degradación *in vitro* (CDIV) de la materia seca (MS) de *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte en la época seca



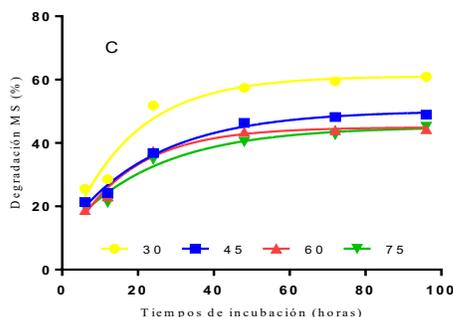


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-2. Cinética de degradación *in vitro* (CDIV) de la materia seca (MS) de *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte en la época lluviosa

Cinética de degradación ruminal *in vitro* de la materia orgánica (MO)

La degradación de la MO registro diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para la época seca por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades sobre la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b), la tasa de degradación (c), la degradación potencial (a+b) y la degradación efectiva a tasas de pasaje por el rumen (DE), así mismo para la fracción soluble (a) por efecto entre edades y su interacción (Tabla 4-3 y Figura 4-3 y 4-4). Sin embargo, la degradación de la MO registro diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para la época lluviosa por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades sobre la fracción soluble (a), la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b), la tasa de degradación (c), la degradación potencial (a+b) y la degradación efectiva a tasas de pasaje por el rumen (DE). (Tabla 4-3 y Figura 4-3 y 4-4).

Tabla 6. Parámetros de degradación ruminal *in vitro* de especies arbustivas y arbóreas a diferentes edades de corte, en la época seca y lluviosa (MO%)

Variables	Época seca							Época lluviosa							
	Cinética de degradación				DE			Cinética de degradación				DE			
	a	b	c	a+b	0.02 k	0.05 k	0.08 k	a	b	c	a+b	0.02k	0.05k	0.08k	
Forrajes															
<i>T. diversifolia</i>	3,73 a	48,89 b	0,043 a	52,62 b	36,92 b	26,14 b	20,65 b	3,73 a	58,36 b	0,050 b	62,09 b	44,72 a	32,15 a	25,50 a	
<i>E. poeppigiana</i>	3,19 a	50,47 a	0,044 a	53,66 a	37,91 a	26,93 a	21,24 a	2,15 b	62,69 a	0,045 b	64,84 a	45,26 a	31,56 b	24,48 b	
<i>C. argentea</i>	3,64 a	37,58 c	0,037 b	41,21 c	27,93 c	19,62 c	15,57 c	4,72 a	42,19 c	0,058 a	46,91 c	35,23 b	26,48 c	21,69 c	
Edades															
30	2,88 b	57,04 a	0,049 a	59,91 a	43,08 a	30,81 a	24,30 a	4,57 a	65,96 a	0,045 b	70,52 a	49,94 a	35,53 a	28,08 a	
45	3,38 b	46,70 b	0,037 c	50,07 b	33,60 b	23,12 b	18,15 c	3,75 ab	55,68 b	0,042 b	59,43 b	41,40 b	29,10 b	22,85 b	
60	0,82 c	42,52 c	0,041 b	43,34 c	30,85 c	22,78 c	15,37 d	2,17 b	53,12 c	0,047 b	55,29 c	39,35 c	27,85 c	21,80 c	
75	7,00 a	36,33 d	0,039 bc	43,33 c	29,45 d	20,11 d	18,80 b	3,65 ab	42,91 d	0,070 a	46,55 d	36,27 d	27,77 c	22,83 b	
Interacción															
<i>T. diversifolia</i>	30	2,2	63,0	0,039	65,1	43,9	29,9	23,0	4,3	69,8	0,042	74,0	51,4	34,0	28,2
	45	1,8	54,7	0,043	56,4	39,2	27,1	21,0	4,1	64,3	0,043	68,4	47,9	33,7	26,5
	60	0,8	47,6	0,044	48,4	33,4	23,0	17,6	1,0	61,2	0,054	62,2	45,6	32,7	25,6
	75	10,2	30,3	0,045	40,5	31,2	24,5	21,1	5,5	38,2	0,060	43,7	34,1	26,3	21,8
<i>E. poeppigiana</i>	30	1,9	61,1	0,056	63,0	46,9	34,1	27,0	7,3	70,8	0,043	78,0	55,5	40,0	32,0
	45	8,1	45,2	0,037	53,2	37,3	27,2	22,3	0,4	63,2	0,042	63,7	43,2	29,2	22,1
	60	0,8	48,3	0,045	49,1	34,2	23,7	18,2	0,5	60,8	0,041	61,2	41,2	27,7	20,9
	75	2,0	47,2	0,039	49,2	33,3	22,7	17,5	0,5	56,0	0,054	56,5	41,2	29,4	22,9

	30	4,6	47,0	0,051	51,6	38,4	28,4	23,0	2,2	57,4	0,050	59,5	43,0	30,1	24,1
<i>C.</i>	45	0,3	40,2	0,030	40,5	24,4	15,3	11,2	6,7	39,5	0,041	46,2	33,2	24,4	20,0
<i>argentea</i>	60	0,9	31,6	0,034	32,5	20,8	13,7	10,4	5,1	37,4	0,047	42,4	31,3	23,2	19,0
	75	8,8	31,4	0,032	40,3	28,1	21,1	17,79	4,9	34,5	0,096	39,5	33,5	27,6	23,8
EEM		0,41	0,50	1,10	0,38	0,19	0,18	0,18	0,74	1,04	2,9	0,79	0,35	0,29	0,30
Efecto forrajes		0,144	0,0001	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,0001	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		8			1	1	1		01	1	1	1	1	1	01
Efecto edad		0,003	0,0001	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,0001	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		1			1	1	1		33	1	1	1	1	1	01
Efecto forraje x edad		0,000	0,0001	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,0001	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		2			1	1	1		01	1	1	1	1	1	01

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media; MO: materia orgánica

a: fracción soluble, b: fracción insoluble pero potencialmente degradable, c: tasa de degradación en % h, a+b: potencial de degradación %, DE; degradación efectiva, k: tasa de pasaje por el rumen 0.02; 0.05; 0.08 % h⁻¹

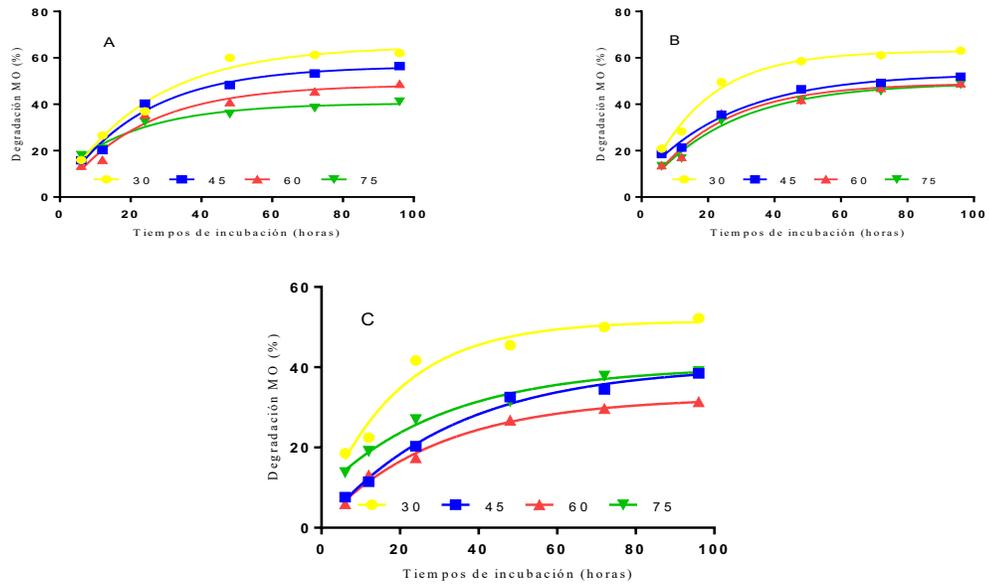


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-3. Cinética de degradación *in vitro* (CDIV) de la materia orgánica (MO) de *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte en la época seca.

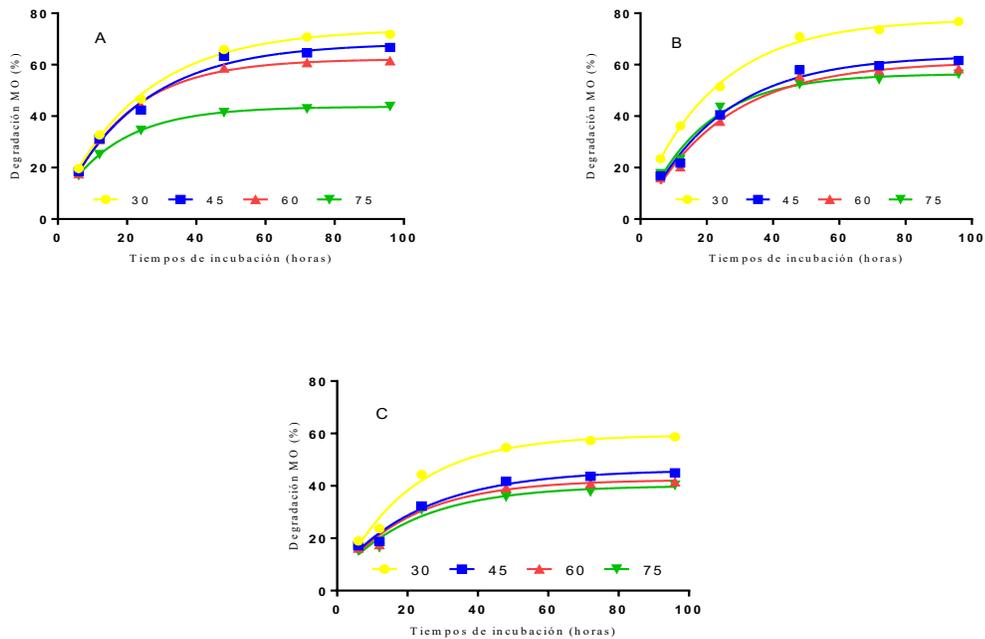


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-4. Cinética de degradación *in vitro* (CDIV) de la materia orgánica (MO) de *T.*

diversifolia (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte en la época lluviosa.

Cinética de degradación ruminal *in vitro* de la fibra detergente neutra (FDN)

La degradación de la FDN registro diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para la época seca y lluviosa por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades sobre la fracción soluble (a), la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b), la tasa de degradación (c), la degradación potencial (a+b) y la degradación efectiva a tasas de pasaje por el rumen (DE) (Tabla 4-4 y Figura 4-5 y 4-6).

Tabla 7. Parámetros de degradación ruminal *in vitro* de especies arbustivas y arbóreas a diferentes edades de corte, en la época seca y lluviosa (FDN%)

Variables	Época seca							Época lluviosa							
	Cinética de degradación				DE			Cinética de degradación				DE			
	a	b	c	a+b	0.02 k	0.05 k	0.08 k	a	b	c	a+b	0.02 k	0.05 k	0.08 k	
Forrajes															
<i>T. diversifolia</i>	3,09 b	46,94 b	0,044 a	50,02 b	35,26 b	25,14 b	19,90 a	1,68 b	63,27 a	0,043 b	64,94 b	44,62 b	30,76 b	23,68 b	
<i>E. poeppigiana</i>	2,52 b	53,00 a	0,040 a	55,51 a	37,68 a	26,02 a	20,19 a	4,66 a	61,35 b	0,047 a	66,00 a	47,76 a	34,50 a	27,48 a	
<i>C. argentea</i>	8,60 a	36,86 c	0,029 b	45,45 c	30,36 c	22,29 c	18,62 b	4,84 a	45,05 c	0,042 b	49,88 c	35,47 c	25,59 c	20,54 c	
Edades															
30	2,23 c	55,97 a	0,049 a	58,20 a	41,93 a	29,89 a	23,46 a	2,40 c	66,58 a	0,052 a	68,97 a	50,44 a	36,29 a	28,58 a	
45	7,90 a	45,23 b	0,038 b	53,12 b	37,10 b	27,31 b	22,48 b	2,27 c	59,62 b	0,044 b	61,88 b	43,16 b	30,09 b	23,36 b	
60	4,25 b	43,52 c	0,037 b	47,77 c	32,27 c	22,71 c	18,05 c	4,23 b	54,58 c	0,041 c	58,81 c	40,35 c	28,27 c	22,25 c	
75	4,56 b	37,68 d	0,028 c	42,24 d	26,44 d	18,01 d	14,28 d	5,99 a	45,45 d	0,040 c	51,43 d	36,52 d	26,47 d	21,41 d	
Interacción															
<i>T. diversifolia</i>	30	0,2	57,1	0,052	57,2	41,3	29,2	22,5	0,7	71,6	0,052	72,3	52,3	37,1	28,8
	45	0,9	51,0	0,050	51,8	37,2	26,2	20,3	1,3	68,3	0,041	69,6	47,2	32,1	24,5
	60	5,1	44,0	0,047	49,1	35,7	26,2	21,2	0,6	66,3	0,034	66,8	42,2	27,3	20,1
	75	6,3	35,7	0,028	41,9	27,0	19,0	15,5	4,2	47,0	0,046	51,1	36,8	26,5	21,2
<i>E. poeppigiana</i>	30	0,6	63,1	0,049	63,7	45,5	31,9	24,7	3,8	73,4	0,052	77,4	57,0	41,3	32,8
	45	8,3	48,3	0,043	56,5	41,3	30,6	25,2	4,1	61,5	0,049	65,6	47,6	34,4	27,3
	60	0,8	51,2	0,039	52,2	34,8	23,4	17,7	3,5	59,3	0,048	62,8	45,2	32,4	25,6
	75	0,4	49,2	0,028	49,6	29,2	18,1	13,2	7,2	50,9	0,040	58,2	41,2	29,9	24,3

	30	5,9	47,8	0,045	53,7	39,1	28,6	23,2	2,7	54,5	0,052	57,2	42,1	30,5	24,2
<i>C.</i>	45	14,6	36,4	0,020	51,0	32,9	25,1	22,0	4,1	49,1	0,042	50,5	34,7	23,8	18,3
<i>argentea</i>	60	6,9	35,1	0,025	42,1	26,3	18,6	15,3	8,6	38,2	0,038	46,8	33,6	25,1	20,9
	75	7,0	28,1	0,027	35,1	23,2	16,9	14,1	6,6	38,4	0,037	45,0	31,6	23,0	18,8
EEM		0,60	0,68	2,4	0,52	0,38	0,39	0,35	0,54	0,90	0,001	0,61	0,34	0,24	0,22
Efecto forrajes		0,000	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,0001	0,00
		1		1	1	1	1	1	01	1		1	1		01
Efecto edad		0,000	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,0001	0,00
		1		1	1	1	1	1	01	1		1	1		01
Efecto forraje x edad		0,000	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,0001	0,00
		1		1	1	1	1	1	01	1		1	1		01

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media; FDN: fibra detergente neutra

a: fracción soluble, b: fracción insoluble pero potencialmente degradable, c: tasa de degradación en % h, a+b: potencial de degradación %, DE; degradación efectiva, k: tasa de pasaje por el rumen 0.02; 0.05; 0.08 % h⁻¹

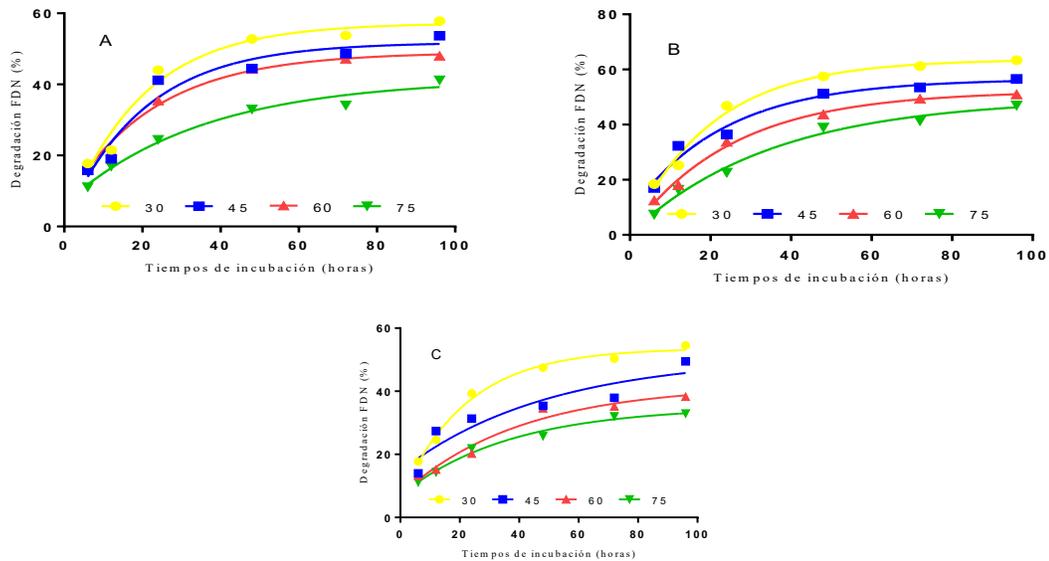


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-5. Cinética de degradación *in vitro* (DIV) de la fibra detergente neutra (FDN) de *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte en la época seca

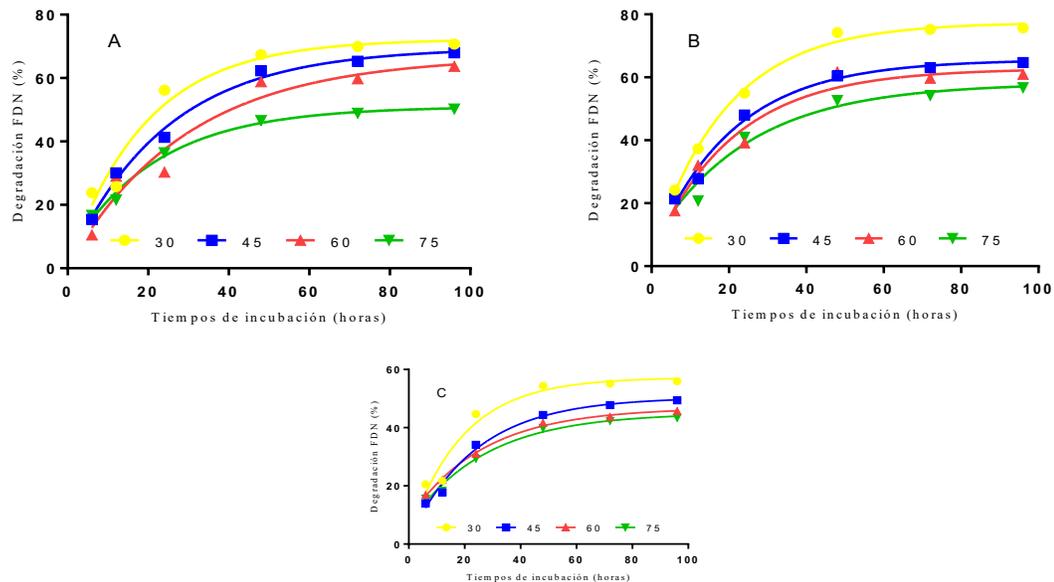


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-6. Cinética de degradación *in vitro* (CDIV) de la fibra detergente neutra (FDN) de *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte en la época lluviosa.

Cinética de degradación ruminal *in vitro* de la fibra detergente ácida (FDA)

La degradación de la FDA registro diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para la época seca y lluviosa por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades sobre la fracción soluble (a), la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b), la tasa de degradación (c), la degradación potencial (a+b) y la degradación efectiva a tasas de pasaje por el rumen (DE) (Tabla 4-5 y Figura 4-7 y 4-8).

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-8. Parámetros de degradación ruminal *in vitro* de especies arbustivas y arbóreas a diferentes edades de corte, en la época seca y lluviosa (FDA%)

Variables	Época seca							Época lluviosa							
	Cinética de degradación				DE			Cinética de degradación				DE			
	a	b	c	a+b	0.02 k	0.05 k	0.08 k	a	b	c	a+b	0.02 k	0.05 k	0.08 k	
Forrajes															
<i>T. diversifolia</i>	6,01 b	35,24 a	0,035 a	41,25 a	28,34 a	20,47 a	16,72 a	6,20 a	53,67 a	0,038 b	59,86 a	41,64 a	29,76 a	23,87 a	
<i>E. poeppigiana</i>	4,95 c	32,84 b	0,030 b	37,79 b	24,68 b	17,42 c	14,09 c	5,82 a	53,07 a	0,042 a	58,89 b	41,61 a	29,95 a	24,05 a	
<i>C. argentea</i>	9,11 a	27,56 c	0,025 c	36,67 c	24,30 b	18,22 b	15,62 b	4,66 b	22,18 b	0,033 c	26,83 c	18,57 b	13,65 b	11,31 b	
Edades															
30	4,73 c	39,53 a	0,039 a	44,25 a	30,78 a	22,04 a	17,71 a	4,44 b	52,65 a	0,047 a	57,09 a	41,58 a	30,21 a	24,18 a	
45	9,26 a	30,40 b	0,030 b	39,65 b	27,49 b	20,67 b	17,57 a	6,49 a	43,31 b	0,040 b	49,80 b	35,49 b	25,90 b	21,08 b	
60	6,41 b	30,62 b	0,026 c	37,03 c	23,64 c	16,84 c	13,90 b	4,26 b	43,06 b	0,034 c	47,32 c	31,82 c	22,19 c	17,55 c	
75	6,36 b	26,99 c	0,025 c	33,34 d	21,17 d	15,26 d	12,73 c	7,05 a	32,86 c	0,029 d	39,90 d	26,86 d	19,52 d	16,16 d	
Interacción															
<i>T. diversifolia</i>	30	1,5	44,2	0,044	45,7	31,7	22,0	17,0	2,5	65,2	0,046	67,6	47,8	33,6	26,2
	45	9,4	35,3	0,033	44,7	31,3	23,4	19,7	5,5	59,4	0,041	64,9	45,4	32,3	25,6
	60	7,4	33,5	0,029	40,9	27,1	19,6	16,2	4,3	56,8	0,038	61,0	41,4	28,7	22,5
	75	5,7	28,0	0,033	33,7	23,2	17,0	13,9	12,6	33,3	0,028	45,9	32,0	24,5	21,2
<i>E. poeppigiana</i>	30	3,4	43,0	0,043	46,4	32,7	23,2	18,4	4,0	61,1	0,053	65,6	48,7	35,7	28,5
	45	5,9	30,9	0,031	36,8	24,6	17,6	14,5	10,0	49,4	0,042	59,4	43,6	32,7	27,1
	60	3,7	31,4	0,026	35,0	21,4	14,5	11,4	4,5	53,1	0,036	57,6	38,6	26,7	21,0
	75	6,9	26,2	0,020	33,1	20,0	14,4	12,2	4,8	48,2	0,036	53,0	35,6	24,8	19,6

	30	9,3	31,4	0,029	40,8	27,9	20,0	17,7	6,9	31,2	0,044	38,0	28,4	21,4	17,9
<i>C.</i>	45	12,5	25,1	0,026	37,5	26,6	21,0	18,6	4,0	21,2	0,036	25,1	17,5	12,8	10,5
<i>argentea</i>	60	8,2	27,0	0,022	35,2	22,4	16,5	14,1	4,0	19,3	0,029	23,3	15,5	11,2	9,2
	75	6,5	26,8	0,022	33,3	20,3	14,5	12,1	3,9	17,1	0,024	20,9	13,1	9,3	7,7
EEM		0,54	0,65	1,2	0,47	0,27	0,33	0,37	0,57	0,66	0,01	0,42	0,27	0,23	0,24
Efecto forraje		0,00	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,0001	0,00
		01	1		1	1	1	1	15	1		1	1		01
Efecto edad		0,00	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,0001	0,00
		01	1		1	1	1	1	01	1		1	1		01
Efecto forraje x edad		0,00	0,000	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,0132	0,000	0,000	0,0001	0,00
		01	1		1	1	1	1	01	1		1	1		01

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media; FDA: fibra detergente ácida

a: fracción soluble, b: fracción insoluble pero potencialmente degradable, c: tasa de degradación en % h⁻¹, a+b: potencial de degradación %, DE; degradación efectiva, k: tasa de pasaje por el rumen 0.02; 0.05; 0.08 % h⁻¹

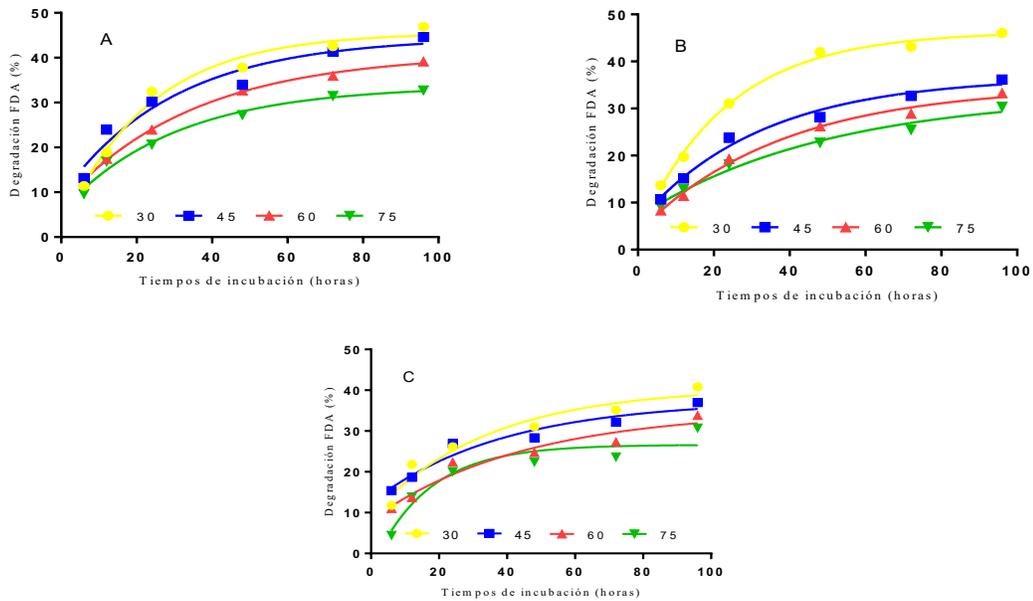


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-7. Cinética de degradación *in vitro* (CDIV) de la fibra detergente ácida (FDA) de *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte en la época seca

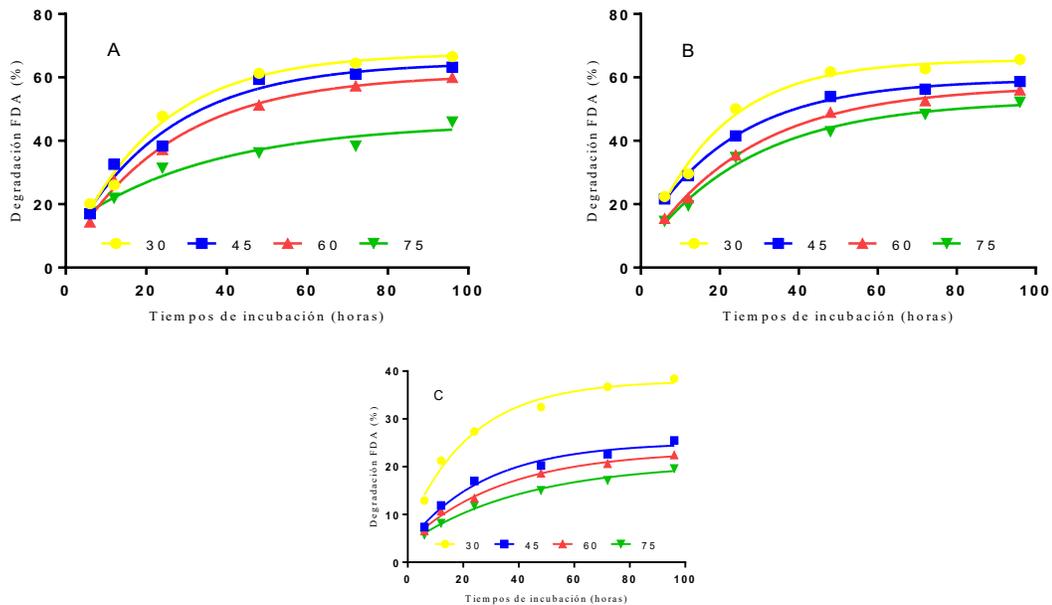


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-8. Cinética de degradación *in vitro* (CDIV) de la fibra detergente ácida (FDA) de *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de

corte en la época lluviosa.

Los mayores parámetros de degradación ruminal de la MS, MO, FDN y FDA (Tabla 4-2, 4-3, 4-4 y 4-5) está asociado a las edades de corte y a los componentes estructurales de la composición bromatológica (Tabla 3-3), esto indica que a medida que se incrementan las edades de corte se evidencia un decremento en la degradación de los nutrientes debido a la mayor lignificación que existe en la pared celular de los forrajes, tanto para la época seca como para la lluviosa. La edad de la planta influye en el contenido de la pared celular, haciéndolo más difícil y lenta su digestión por parte de los microorganismos ruminales (Gutiérrez *et al.*, 2015; Barros *et al.*, 2017). Un forraje a temprana edad de corte tendrá una menor lignificación de la pared celular lo que facilita la acción de los microorganismos del rumen y aumenta la degradación ruminal y la tasa de degradación por hora (McSweeney *et al.*, 2001; Ferreira *et al.*, 2016).

Los forrajes con altos niveles de FDN y FDA disminuye su digestibilidad y conlleva a una disminución en la tasa de degradación, tasa de pasaje del forraje a través del rumen y el consumo (Pulido y Leavep, 2000; Godoy y Chicco, 1991). Salem *et al.* (2011) y Peng *et al.* (2014) mencionan que los bajos contenidos de carbohidratos favorecen al acceso a los microorganismos ruminales y facilita su degradación. La FDN y FDA, que representan la pared celular, a una edad temprana contiene mejores compuestos solubles aprovechables para los microorganismos ruminales (Palma, 2006). La degradabilidad de un forraje está relacionada con el grado de aprovechamiento y depende de la edad de la planta (Valles *et al.*, 2014; Herrera *et al.*, 2017).

Los forrajes están formados por tres fracciones: de rápida degradación, de lenta degradación, y la indigestible (Roa y Galeano, 2015). En la primera consta a los azúcares y algunos compuestos nitrogenados solubles que desaparecen en las primeras seis horas; en la segunda se incluyen parte de los componentes de la

FDN, la celulosa y la hemicelulosa, que son degradadas hasta las 72 h y sus valores dependen del tipo de forraje y su estado de madurez (Rosero *et al.*, 2010). Es importante señalar que a medida que se incrementó las edades de corte en las especies forrajeras, disminuyen los parámetros de degradación ruminal (Correa, 2008). La cinética de fermentación ruminal depende de dos aspectos críticos: la velocidad para iniciar la degradación y la tasa de pasaje “k”. La combinación de estos dos aspectos establece la cantidad neta de microorganismos que sintetizan los nutrientes y posteriormente son aprovechados y digeridos en el abomaso y el intestino del animal (Sosa *et al.*, 2004).

El efecto de las especies forrajeras sobre los parámetros de la degradación ruminal, MS, MO, FDN y FDA (Tabla 4-2, 4-3, 4-4 y 4-5) está asociada al cultivar, especie, composición bromatológica y a las condiciones agroclimáticas para la época seca y lluviosa. Las especies forrajeras sufren cambios porcentuales en su composición química, digestibilidad y valor nutritivo durante la madurez fisiológica y a las condiciones agroclimatológicas, principalmente en la época seca (Van Soest, 1982). La O *et al.*, (2012) mencionan que el porcentaje de metabolitos secundarios en plantas arbustivas y arbóreas tropicales pueden restringir o favorecer la degradabilidad ruminal de los nutrientes. Así mismo, la presencia de taninos en algunas especies arbustivas y arbóreas y otros factores de la planta puede influir en la baja degradación de la MS (Keir *et al.*, 1997; Delgado *et al.*, 2001). La especie, el cultivar, el manejo de la planta, las condiciones edafoclimáticas y la madurez fisiológica de la planta influyen en la degradación ruminal de los nutrientes (Choque *et al.*, 2018).

T. diversifolia posee alto porcentaje de PC y carbohidratos solubles permitiendo de una mejor eficiencia a los microorganismos ruminales, específicamente a las bacterias celulolíticas favoreciendo la degradación de la fibra y su alta

fermentabilidad (Mahecha y Rosales, 2005; La O *et al.*, 2012). *T. diversifolia* es una planta herbácea que contiene alto contenido de nitrógeno total, buen contenido de aminoácidos esenciales y bajo porcentajes de fibra (González-Castillo *et al.*, 2014; Murgueitio *et al.*, 2015). Así mismo, Mejía-Díaz *et al.*, (2017) y Rodríguez (2017) indicaron que *T. diversifolia* reportan niveles altos de carbohidratos solubles (18,41 - 33%) y baja fracción de fibra, permitiendo una mejor eficiencia de la proteína degradable en el rumen, lo que lo hace una alternativa para la alimentación en rumiantes. Así mismo, Mahecha y Rosales (2005); La O *et al.*, (2010), destaca el potencial de *T. diversifolia* como forrajera no leguminosa, de alto valor nutritivo, con altos contenidos de proteína soluble de hasta el 40% de la proteína total, minerales, alta digestibilidad de la materia seca y un porcentaje de azúcares totales del 39.80% y carbohidratos solubles en agua 7,20% lo que permite tener una alta fermentación ruminal. La *T. diversifolia* presenta niveles altos de carbohidratos solubles comparada con otras forrajeras tropicales (Medina *et al.*, 2009).

Los resultados encontrados en la degradabilidad de la MS, MO, FDN y FDA se asemejan a los reportados a los de Wilson y Lascano (1997) quienes mencionan unas de las ventajas que tiene la *C. argentea* comparadas con otras leguminosas arbustivas son sus bajos contenidos de taninos, altos porcentajes de PC, haciéndolo un forraje de excelente fuente de nitrógeno fermentable en el rumen. Al respecto Xavier *et al.*, (1990), reportan que el follaje de *C. argentea* tiene bajos contenidos de taninos condensados (alrededor de 0.2%) y puede tener hasta 7,0% de N foliar a los 21 días de rebrote. Así mismo, los resultados reportados por el CIAT muestran que *C. argentea* contiene metabolitos secundarios y presencia de hidroxycumarinas (Raaflaub y Lascano, 1995), las cuales según (Reed, 1986; Rittner y Reed, 1992) son más tóxicas que las mismas cumarinas. Por el contrario, en *Tithonia diversifolia* bajos porcentajes de taninos condensados, lo que concuerda con Cerdas (2018) quien manifiesta que

la *T. diversifolia* contiene una cumarina, posiblemente colina y fenoles, pero en niveles bajos, que no representan problemas para los rumiantes y no rumiantes. Se ha demostrado que *T. diversifolia* posee bajos contenidos de taninos en la fracción comestible (Verdecia *et al.*, 2011) y de algunas leguminosas tropicales (Devendra, 1995; Medina *et al.*, 2009). Así mismo, *T. diversifolia* presentan reductores totales (+++), moderadas de taninos (++) , flavonoides y alcaloides, así como bajos valores (+) de saponinas, terpenos y antocianidinas (Scull *et al.*, 2008).

Los bajos porcentajes de la degradación de MS, MO, FDN y FDA de *C. argentea* puede estar asociado con su alto contenido en la FDN y la presencia de taninos condensados, que, dada su potencialidad de formar complejos con proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, saponinas entre otros (Mueller, 1989; Mueller y McAllan, 1992) pueden ligar los carbohidratos estructurales y hacer indigestible en su gran mayoría a los nutrientes por acción de los microorganismos ruminales. Sin embargo, estas diferencias entre forrajeras se deban a la composición bromatológica y a los taninos para cada especie. Los bajos parámetros de la degradación ruminal de FDN en *C. argentea*, puede estar asociado a una alta concentración de lignina. Al respecto Dehority and Johnson (1961), obtuvieron una alta proporción de celulosa y hemicelulosa que son protegidas contra la microflora del rumen por una capa de lignina, la cual es responsable de la baja digestibilidad de los forrajes. Los bajos parámetros de la degradación ruminal se debe a las sustancias inhibitorias de la degradabilidad de la pared celular de la *C. argentea*, debido a que, por lo general, existe una estrecha relación entre el incremento del consumo de nitrógeno y la digestibilidad de la FDN (Campling *et al.*, 1961; Pichard *et al.*, 1988). Así mismo, Dzowella *et al.*, (1995) el evaluar la degradabilidad de *Acacia angustissima*, *Flemingia macrophylla* y *C. calothyrsus*, encontraron una degradabilidad de 48, 42 y 40% y altos porcentajes de taninos condensados (9.3, 10.8 y 8.4 g kg⁻¹,

respectivamente). Minson (1990) reporta que los forrajes con altos porcentajes de fracciones fibrosas tienden a ser menos digestible.

La tasa de degradación, nos indica que hay una gran variabilidad entre las especies forrajeras y las edades de corte, donde podemos indicar que a mayor porcentaje de tasa de pasaje mayor consumo voluntario de los nutrientes. Así mismo, la DE, la *C. argentea* mostró los menores porcentajes para MS, MO, FDN y FDA, evidenciándose que tal como lo sugieren Ørskov (2002) y Ascencio *et al.*, (2018) la DE se encuentra asociada con la fracción b.

Los resultados de los parámetros de la degradabilidad ruminal *in vitro* para la MS, MO, FDN y FDA lo registraron las especies *E. poeppigiana* y la *T. diversifolia* a los 30 días de corte, evidenciándose que al incrementarse la edad de corte estos disminuyen tanto para la época seca y lluviosa.

El uso del forraje (planta completa) de *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea* utilizadas a temprana edad tiene un alto valor nutricional para la suplementación de rumiantes en el trópico durante la época lluviosa y seca.

Evaluación de especies forrajeras tropicales sobre la producción de gas, AGV, CH₄ y CO₂

Los sistemas de producción en rumiantes (PR), en el Litoral Pacífico Ecuatoriano se ve limitada por escasa disponibilidad, baja calidad nutricional y alto contenido de las fracciones fibrosas de los pastos durante la época seca. La baja calidad de los forrajes genera problemas, en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (CO₂, CH₄) promoviendo pérdidas energéticas considerables en el animal (2-12% de su energía disponible) Abarca *et al.* (2010), debido a los altos niveles de carbohidratos estructurales en los forrajes (Kurihara *et al.*, 1999).

Las emisiones de CH₄, CO₂ y otros gases nocivos al medio ambiente son los principales agentes causantes del calentamiento global (Bunthoeun *et al.*, 2007). En la actualidad, está creciendo interés por reducir la emisión de GEI por rumiantes sin que afecte la función del rumen (Elghandour *et al.*, 2016). La producción de CH₄ es una consecuencia inevitable de la fermentación de los carbohidratos en el rumen (Delgado *et al.*, 2007), esto favorece cuando los animales se alimentan con forrajes tropicales de baja calidad (Delgado *et al.*, 2007).

Los microorganismos ruminales, que residen en los rumiantes, digieren los nutrientes por el proceso fermentativo (Mona *et al.*, 2017). La fermentación ruminal produce metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y otros efectos perjudiciales (Mona *et al.*, 2017). La producción de gas metano a partir del rumiante es uno de los procesos energéticamente derrochadores responsables de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen con aproximadamente el 18% de todas las emisiones de GEI, mientras que el CO₂ representa aproximadamente el 9% de las emisiones (FAO, 2006). Durante la

fermentación ruminal a partir de los carbohidratos de los forrajes se produce el CH₄ por parte de microorganismos ruminales ya que es una fuente de energía para su propagación como síntesis de este gas (Kurihara *et al.*, 1999; Deppenmeier y Müller, 2008). La producción de CH₄ es sustancial, ya que permite disminuir la concentración de hidrógeno (H₂) en el rumen y así mantener estable su funcionamiento (Cardona *et al.*, 2017).

La técnica PG *in vitro* ayuda a estudiar degradación potencial del rumen de alimentos para rumiantes de manera muy efectiva (Vallejo *et al.*, 2016) y permite la estimación del sustrato requerido para producir ácidos grasos volátiles y el valor energético del alimento (Mona *et al.*, 2017). El valor nutritivo de los forrajes está en función de la proporción y el porcentaje de consumo, de la digestibilidad a través de la eficiencia de los microorganismos ruminales (Barnes y Marten, 1979). Durante la digestión, una proporción de carbohidratos estructurales pueden ser hidrolizados, fermentados y degradados por microorganismos ruminales, dando como resultado los productos finales los ácidos grasos volátiles (Krause *et al.*, 2003). Así mismo, se conoce que los carbohidratos fácilmente fermentables son efectivos para promover el crecimiento microbiano de las paredes celulares (Bach *et al.* 2005).

Una alternativa frente a esta problemática, es el uso de árboles y arbustos tropicales en la alimentación de rumiantes, ha demostrado disminuir la generación de GEI, por la presencia de metabolitos secundarios (saponinas, fenólicos, terpenoides, taninos, glucósidos, fenólicos, alcaloides, aceites esenciales, etc), tienen la posibilidad de modificar el proceso de fermentación ruminal (Ortiz *et al.*, 2014; Barros *et al.*, 2017; Salem *et al.*, 2014a, c). Así mismo, la inclusión de forrajes con bajos contenidos nutricionales en dietas alimenticias, tienden a tener un pH básico y por consiguiente está asociado a una

mayor producción de CH₄ (Moss *et al.*, 2000), mientras que dietas con altos contenidos de carbohidratos solubles tienden a reducirse.

Estudios señalan que las especies forrajeras es una estrategia para la alimentación de rumiantes como es la *Tithonia diversifolia*, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea*, debido alto valor nutricional (balance proteína-carbohidratos solubles) (Medina *et al.*, 2009; Jayanegara *et al.*, 2013) y a la disminución de CH₄ en pruebas *in vitro* existiendo una disminución de los GEI (Galindo *et al.*, 2011; Mauricio *et al.*, 2014; Delgado *et al.*, 2007).

La *Tithonia diversifolia*, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea* a tempranas edades presenta mayor calidad nutricional y por ende bajas cantidades de gases de efecto invernadero lo que hace que estas especies forrajeras sea una opción para la alimentación animal. El objetivo del presente trabajo fue evaluar mediante estudios *in vitro*, el efecto de las especies arbustivas forrajeras, botón de oro (*Tithonia diversifolia*), caraca (*Erythrina poeppigiana*), veranera (*Cratylia argentea*) y las edades de corte (30, 45, 60 y 75 días) durante la época seca y lluviosa, sobre la producción de gas *in vitro*, pH, metano, dióxido de carbono y ácidos grasos volátiles.

El estudio se realizó en la Finca Experimental “La María”, propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizada en la Provincia de los Ríos, del Cantón Mocache, ubicado en el km 7 de la vía Quevedo-El Empalme, en una zona clasificada como bosque húmedo tropical (Bh-T), a una altura de 73 msnm.

Se utilizó la planta completa de tres especies arbustivas (*Tithonia diversifolia*, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea*) y cuatro edades de corte (30, 45, 60 y 75 días) para la época seca y lluviosa. Las muestras se deshidrataron a una

estufa de aire forzado a 60 °C por 48 horas, se molió a 1 mm en un molino a martillo (THOMAS-Wiley, USA, Model 4.).

Se utilizaron cuatro toros Brahman de $250,0 \pm 20,5$ kg de peso vivo, provistos de una cánula ruminal (cuatro pulgadas de diámetro interno, Bar Diamond, Parma, Idaho, EEUU). Los animales estuvieron por separados en corrales individuales, donde fueron alimentados con *P. maximum* y se les proporcionó agua *ad libitum*.

Cinética de producción de gas *in vitro*, metano y dióxido de carbono

El análisis en el laboratorio se hizo dentro de la hora de la recolección en un medio rico en nitrógeno según Menke y Steingass (1988). La producción de gas se determinó según la metodología descrita por Theodorou *et al.*, (1994). En breve, 0,4 g de materia seca (MS) de cada tratamiento se colocó en botellas de vidrio de 100 ml de capacidad nominal, se añadió 60 ml de inóculo ruminal (70:30 medio/inóculo ruminal) bajo un flujo de CO₂ constante. Las botellas se sellaron y se incubaron a 39 - 40 °C en un baño maría para alcanzar la etapa mesofílica. La presión de gas y el volumen se midieron manualmente a las 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 h después de la incubación con un transductor de presión DELTA OHM modelo DO 9704 (Delta OHM, Padova, Italia), metano y dióxido de carbono con un monitor de gas GX-6000 (analizador de gas RKI Instruments, GX-6000, Tokio, Japón) y jeringas plásticas. Para cada tratamiento se utilizaron cuatro botellas (repeticiones) por cada tiempo de incubación y cuatro botellas adicionales como blanco.

Para estimar los parámetros cinéticos de PG, CH₄ y CO₂, datos de PG, CH₄ y CO₂ (mL/g MS) se analizó con el programa Graphpad Prism 6 (San Diego, EEUU).

Los datos para PG se ajustaron a la ecuación $Y = D (1 - e^{-kt})$ (Krishnamoorthy *et al.*, 1991).

Donde:

Y: Producción acumulada de gas en un momento dado (ml)

D: Producción potencial acumulativa de gas (ml)

k: Tasa de producción de gas (h^{-1})

t: Tiempo de fermentación (h)

τ : Retraso inicial para el inicio de la fermentación (h)

Los datos para CH₄ y CO₂ se ajustaron a la ecuación $GV (1 + (B/t) c)^{-1}$ (Groot *et al.*, 1996).

Donde:

GV: Cinética de producción de gas (ml/gas)

B/t: Asíntota de producción de gas

c: tasa de producción de gas ($\% h^{-1}$)

Producción y perfil de AGV

Se colectó una submuestra de 8 mL en viales color ámbar rotulados, adicionándole 0,2 mL de H₂SO₄ al 50 % y se almacenaron a -20 °C. Previo a su medición se descongelaron a 4 °C, agregándole 1,6 mL de ácido metafosfórico al 25%, centrifugándose nuevamente con las características arriba mencionadas y fueron preservadas en refrigeración (4 °C) hasta realizar su análisis mediante la técnica de Brotz y Schaeffer (1987).

Los AGV fueron analizados por medio de un cromatógrafo de gases (SRI 8610, SRI Instruments, CA), con una columna Alltech ECONO-CAPTM ECTM de 15 m de largo, un diámetro externo de 0,53 mm y 0,25 mm de diámetro interno. Se

inyectó 0,6 µL a temperatura del inyector de 230°C y detector de flama de 250°C, la rampa de temperatura del horno fue de 100°C, 20°C por min y 190°C por 1 min, un tiempo promedio de lectura de 1,51; 1,92 y 2,48 min para los ácidos acético, propiónico y butírico y un tiempo de lectura neta de 6,83 min. La toma de la muestra fue a las 6 h de incubación.

pH.

El pH del medio se midió con un potenciómetro (Hanna® HI2211, Italia; calibración: pH 7 y 4) a las 6, 12 y 24 h de incubación.

Diseño experimental y análisis estadístico

Todas las variables fueron analizadas como un diseño completo al azar (DCA) en un arreglo factorial 3x4; F (forrajes: F1= *Tithonia diversifolia*; F2= *Erythrina poeppigiana* y F3= *Cratylia argentea*) x E (Edad de cosecha: E1= 30 días de cosecha; E2= 45 días de cosecha; E3= 60 días de cosecha y E4= 75 días de cosecha), con 4 repeticiones independientemente para la época seca y lluviosa, según el siguiente modelo lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + E_j + E_{jE} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : es la variable de respuesta

μ : es la media experimental

F_i : es el efecto de la i-ésima forrajes

E_j : es el efecto de la j-ésima edad de cosecha

F_{jE} : es el efecto de la interacción entre los forrajes y la edad de cosecha

E_{ijk} : es el error experimental asociado a la k-ésima observación.

La cinética de PG, CH₄, y CO₂ se analizó con el programa Graphpad Prism 6 (San Diego, EEUU). Todas las variables fueron analizadas según el diseño empleado

utilizando PROC GLM del SAS (2011) y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Producción de gas *in vitro* (PG)

La PG acumulada (B) registró diferencias estadísticas ($P < 0,05$) en la época seca por el efecto entre forrajes y entre edades, a excepción para la interacción forrajes por edades ($P > 0,05$), por consiguiente, la tasa de producción de gas (c) se evidencia diferencias estadísticas ($P < 0,05$) por el efecto entre forrajes, edades y su interacción forrajes por edades. (Tabla 5-1 y Figura 5-1). De manera similar en la época lluviosa la PG acumulada (B) presentó cambios ($P < 0,05$) por efecto de tipo de forrajes y edades, a excepción de su interacción ($P > 0,05$), así mismo, la tasa de producción de gas (c) presenta diferencia estadística por efecto forrajes, edades y su interacción ($P < 0,05$) (Tabla 5-1 y Figura 5-2).

pH.

El pH a las 6, 12 y 24 horas no se evidencio diferencias ($P > 0,05$) por el efecto entre edades, forrajes y su interacción forrajes por edades, para la épocas seca y lluviosa (Tabla 5-1).

Tabla 9. Parámetros de producción de gas *in vitro* (mL gas/0,400 g de fermentación de MS) y pH de especies arbustivas y arbóreas a diferentes edades de corte, en la época seca y lluviosa

Variables	Época seca					Época lluviosa					
	PGIV		pH			PGIV		pH			
	B	c	6 h	12 h	24 h	B	c	6 h	12 h	24 h	
Forrajes											
<i>T. diversifolia</i>	108,00 b	0,045 b	7,62 a	7,62 a	7,70 a	96,99 b	0,047 b	7,62 a	7,63 a	7,67 a	
<i>E. poeppigiana</i>	114,01 b	0,040 b	7,60 a	7,66 a	7,65 a	116,30 a	0,037 c	7,60 a	7,65 a	7,62 a	
<i>C. argentea</i>	121,73 a	0,053 a	7,62 a	7,67 a	7,67 a	118,38 a	0,054 a	7,63 a	7,69 a	7,65 a	
Edades											
30	108,20 b	0,037 c	7,60 a	7,67 a	7,67 a	103,53 c	0,037 c	7,61 a	7,68 a	7,64 a	
45	114,31 ab	0,037 c	7,61 a	7,66 a	7,65 a	108,92 b	0,044 bc	7,61 a	7,68 a	7,63 a	
60	117,33 a	0,049 b	7,62 a	7,63 a	7,65 a	112,62 ab	0,047 b	7,63 a	7,65 a	7,62 a	
75	118,47 a	0,062 a	7,61 a	7,62 a	7,71 a	117,15 a	0,056 a	7,62 a	7,62 a	7,69 a	
Interacción											
<i>T. diversifolia</i>	30	100,82 b	0,034 b	7,65	7,70	7,73	88,89 d	0,035 d	7,65	7,70	7,71
	45	105,48 ab	0,033 b	7,61	7,67	7,70	95,08 d	0,039 cd	7,62	7,67	7,67
	60	112,58 ab	0,040 b	7,61	7,57	7,67	96,19 cd	0,045 bcd	7,62	7,61	7,64
	75	113,13 ab	0,073 a	7,61	7,53	7,69	107,82 b	0,068 a	7,60	7,53	7,67
<i>E. poeppigiana</i>	30	105,22 ab	0,036 b	7,57	7,66	7,62	107,40 bc	0,033 d	7,58	7,67	7,58
	45	115,03 ab	0,036 b	7,61	7,69	7,64	113,05 ab	0,038 cd	7,61	7,65	7,61
	60	116,83 ab	0,064 a	7,59	7,67	7,62	122,12 a	0,038 cd	7,59	7,66	7,61
	75	118,95 ab	0,067 a	7,63	7,62	7,71	122,62 a	0,039 cd	7,62	7,62	7,69
<i>C. argentea</i>	30	118,55 ab	0,041 b	7,59	7,65	7,68	114,32 ab	0,042 cd	7,60	7,66	7,64
	45	122,43 a	0,040 b	7,61	7,64	7,62	118,65 ab	0,054 abc	7,61	7,71	7,61
	60	122,60 a	0,064 a	7,68	7,67	7,66	119,55 a	0,059 ab	7,68	7,69	7,62
	75	123,33 a	0,067 a	7,61	7,71	7,73	121,02 a	0,068 ab	7,63	7,71	7,72
EEM	4,03	0,003	0,02	0,06	0,04	1,35	0,003	0,03	0,05	0,04	
Efecto forrajes	0,0001	0,0001	0,271	0,456	0,1411	0,0001	0,0001	0,247	0,223	0,3252	
Efecto edades	0,0164	0,0001	0,775	0,689	0,1754	0,0001	0,0001	0,866	0,436	0,2363	

Efecto forrajes x edades	0,8737	0,0001	³ 0,107	⁴ 0,477	0,5102	0,0552	0,0016	² 0,336	³ 0,528	0,6432
			₃	₇				₁	₁	

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media; pH= potencial de hidrógeno
 Producción de gas acumulada [PG (mL gas)] (B) y tasa de producción de gas % en hora (c): los parámetros se ajustaron a la ecuación
 $Y = D (1 - e^{-kt})$ (Krishnamoorthy *et al.*, 1991).

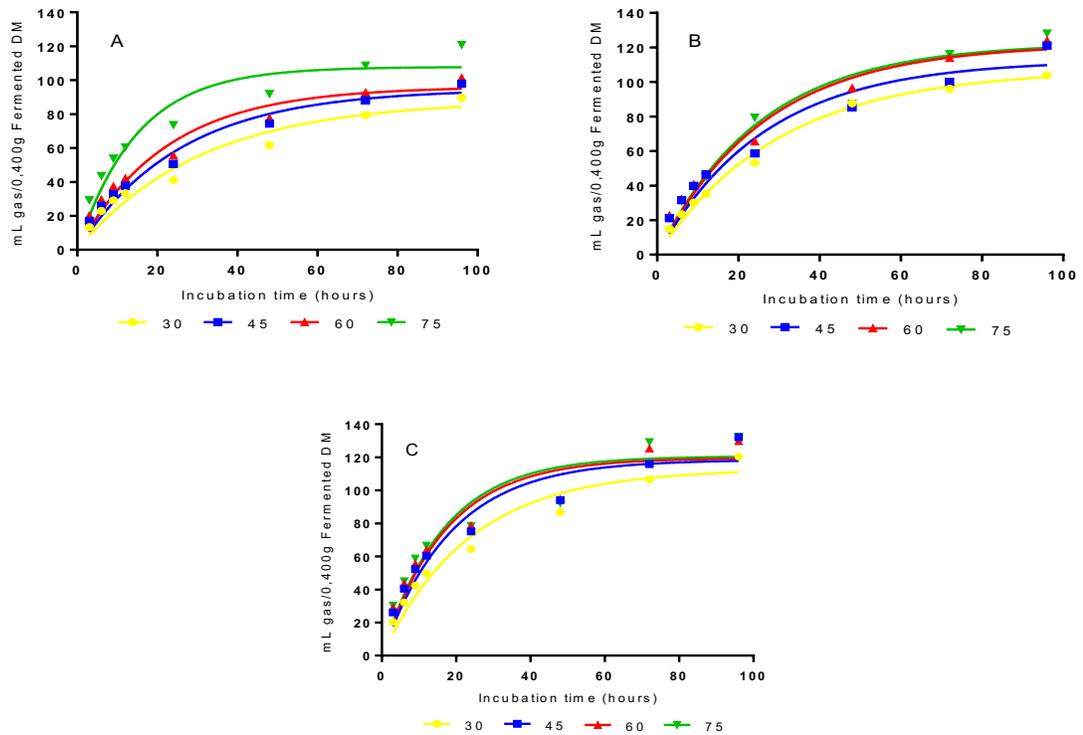
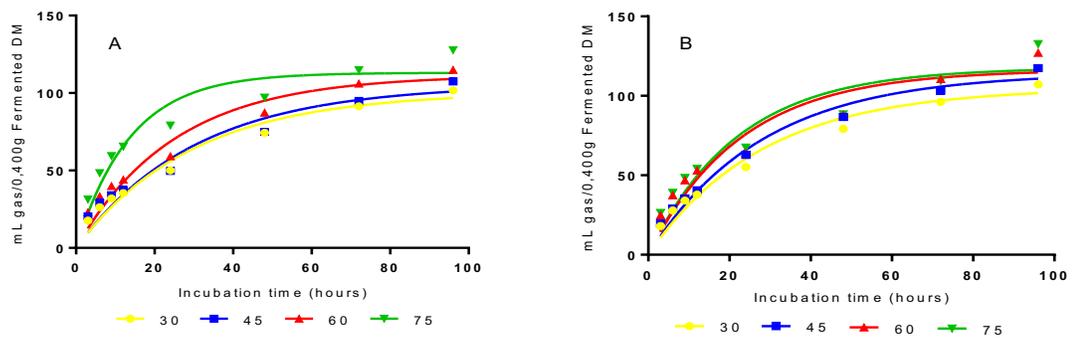


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-9. Cinética de producción de gas *in vitro* [PG (mL gas)] en *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte durante la época lluviosa



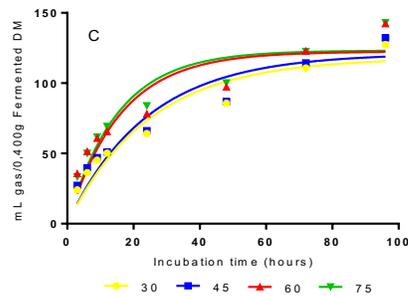


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-10. Cinética de producción de gas *in vitro* [PG (mL gas)] en *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte durante la época seca

Ácidos grasos volátiles (AGV)

La producción de AGV de (acético, propiónico y butírico) en la época seca no registra diferencias estadísticas ($P > 0,05$) para el efecto entre edades, entre forrajes y para la interacción forrajes por edades. Sin embargo, en la época lluviosa la producción de AGV (acético) presenta diferencias estadísticas ($P < 0,05$) en los forrajes y su interacción, a excepción para las edades ($P > 0,05$), así mismo, el ácido propiónico se evidencia diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para los forrajes, exceptuándose para las edades y su interacción ($P > 0,05$), de la misma manera, el ácido butírico presenta diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para el efecto forraje, a excepción para las edades y su interacción ($P > 0,05$) (Tabla 5-2).

Tabla 1 Producción de ácidos grasos volátiles (molar %) *in vitro* de especies arbustivas y arbóreas a diferentes edades de corte, en la época seca y lluviosa

Variables	Época seca				Época lluviosa				
	Rumen AGV (molar %)				Rumen AGV (molar %)				
	Acético	Propionico	Butírico	Total AGV (mmol/L)	Acético	Propionico	Butírico	Total AGV (mmol/L)	
Forrajes									
<i>T. diversifolia</i>	73,19 a	16,54 a	10,27 a	35,56 a	76,03 ab	15,81 b	8,16 a	30,18 a	
<i>E. poeppigiana</i>	73,36 a	16,69 a	9,94 a	34,28 a	76,39 a	15,92 b	7,70 b	29,34 a	
<i>C. argétea</i>	73,82 a	16,75 a	9,43 a	34,04 a	75,72 b	16,31 a	7,97 ab	32,28 a	
Edades									
30	73,53 a	16,49 a	9,99 a	34,70 a	76,31 a	15,83 a	7,86 a	29,94 a	
45	73,29 a	16,66 a	10,06 a	33,84 a	75,88 a	16,11 a	8,01 a	28,02 a	
60	73,34 a	16,65 a	10,01 a	34,65 a	76,02 a	16,00 a	7,98 a	32,56 a	
75	73,67 a	16,86 a	9,47 a	35,32 a	75,96 a	16,10 a	7,93 a	31,88 a	
Interacción									
<i>T. diversifolia</i>	30	73,08	16,17	10,74	35,75	76,50	15,53	7,97	29,07
	45	73,51	16,34	10,16	36,51	75,65	15,90	8,45	29,36
	60	73,18	16,58	10,25	36,19	75,89	15,98	8,13	28,59
	75	72,98	7,09	9,93	33,99	76,07	15,84	8,10	33,72
<i>E. poeppigiana</i>	30	73,61	16,50	9,89	35,17	76,10	16,01	7,90	27,57
	45	72,65	17,20	10,16	32,12	75,99	16,17	7,85	28,31
	60	73,39	16,66	9,95	35,03	76,75	15,65	7,61	32,88
	75	73,81	16,42	9,77	34,81	76,73	15,84	7,44	33,33
<i>C. Argétea</i>	30	73,89	16,78	9,33	33,35	76,33	15,96	7,71	33,17
	45	73,70	16,44	9,86	32,88	76,02	16,26	7,72	26,41
	60	73,46	16,71	9,83	32,74	75,42	16,38	8,20	36,21
	75	74,22	17,08	8,71	37,18	75,10	16,64	8,26	33,33
EEM	0,79	0,45	0,82	1,75	0,22	0,19	0,22	4,45	
Efecto forrajes	0,5218	0,7921	0,3599	0,4255	0,0006	0,0104	0,0200	0,6326	
Efecto edades	0,9306	0,7846	0,7960	0,7797	0,1155	0,2401	0,8582	0,5947	
Efecto forraj x edad	0,9547	0,6494	0,9872	0,3887	0,0007	0,1518	0,1631	0,8688	

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media; AGV= ácidos grasos volátiles

Producción de gas metano (CH₄)

La producción de CH₄ mostró diferencias estadísticas ($p < 0.005$) en la época seca por efecto entre forrajes, edades y la interacción forrajes por edades, sobre la producción de gas (PG), la asíntota de producción de gas (B) y la tasa de producción de gas (c) ($p < 0.005$) (Tabla 5-3 y figura 5-3). De manera similar la producción de CH₄ en la época lluviosa presentó diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para el tipo de forrajes y edades, no siendo así para la interacción ($P > 0,05$), así mismo, la asíntota de producción de gas (B) reportó diferencias estadísticas ($P < 0,05$) para las edades y su interacción, a excepción de los forrajes ($P > 0,05$), así mismo, la tasa de producción de gas (c) tuvo un efecto para los forrajes, edades y su interacción ($P < 0,05$) (Tabla 5-3 y figura 5-4).

Producción de dióxido de carbono (CO₂)

La producción de CO₂ presenta diferencias estadísticas ($P < 0.005$) en la época seca, para el efecto entre edades y entre forrajes ($P < 0,05$), a excepción de la interacción forrajes por edades ($P > 0,05$), así mismo, la asíntota de producción de gas (B) y la tasa de producción de gas (c) tuvo un comportamiento diferente registrando diferencias estadísticas ($p < 0.005$) para el efecto entre forrajes, no siendo así ($P > 0,05$) para el efecto edades y su interacción forrajes por edades (Tabla 5-3 y figura 5-5). La producción de CO₂ presenta diferencias estadísticas ($P < 0.005$) en la época lluviosa, para los forrajes y las edades, a excepción de la interacción ($P > 0,05$), de igual manera, la asíntota de producción de gas (B) registro diferencias estadísticas en los forrajes ($P < 0,05$), no siendo así ($P > 0,05$) para las edades y su interacción, sin embargo, la tasa de producción de gas (c) registro diferencias para el tipo de forrajes, edades y su interacción ($P < 0,05$) (Tabla 5-3 y figura 5-6).

Tabla 1 Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-3. Parámetros de producción de gas *in vitro* CH₄ y CO₂ (mL gas/0,400 g de fermentación de MS) de especies arbustivas y arbóreas a diferentes edades de corte, en la época seca y lluviosa

Variables	Época seca						Época lluviosa						
	CH ₄			CO ₂			CH ₄			CO ₂			
	PG	B	c	PG	B	c	PG	B	c	PG	B	c	
Forrajes													
<i>T. diversifolia</i>	73,53 c	76,71 b	1,23 a	18,86 b	87,57 b	1,18 a	51,70 c	54,06 a	1,21 a	14,02 b	50,18 b	0,86 a	
<i>E. poeppigiana</i>	95,78 b	157,12 a	1,06 b	20,31 b	120,74 ab	0,63 b	64,01 b	56,47 a	1,20 a	18,75 a	84,86 ab	0,80 a	
<i>C. argéntea</i>	132,16 a	87,30 b	1,04 b	23,48 a	161,24 a	0,54 b	73,52 a	67,96 a	0,91 b	21,30 a	116,95 a	0,56 b	
Edades													
30	42,12 d	47,78 c	1,24 a	15,77 b	113,54 ab	0,81 a	35,70 d	47,75 b	1,34 a	12,50 c	82,25 a	0,85 a	
45	74,20 c	82,13 b	1,18 a	21,23 a	159,68 a	0,81 a	54,13 c	73,16 a	1,11 b	17,77 b	79,54 a	0,70 b	
60	136,28 b	210,05 a	1,14 a	22,57 a	115,49 ab	0,74 a	75,23 b	83,45 a	0,90 c	20,08 ab	89,34 a	0,69 b	
75	149,35 a	88,22 b	0,88 b	23,96 a	104,02 b	0,78 a	87,25 a	33,63 b	1,08 b	21,74 a	84,86 a	0,73 b	
Interacción													
<i>T. diversifolia</i>	30	21,39	41,45	1,39	13,44	96,73	1,12	19,93	53,85	1,39	8,98	31,56	1,10
	45	50,96	62,40	0,92	19,59	131,37	1,29	38,06	39,90	1,39	13,27	57,36	0,81
	60	116,03	153,44	0,92	20,72	60,01	1,14	73,76	100,22	0,88	16,47	69,37	0,70
	75	105,73	49,54	1,22	21,69	62,19	1,18	75,04	22,29	1,25	17,38	42,45	0,84
<i>E. poeppigiana</i>	30	52,83	50,66	1,26	16,24	132,65	0,75	33,86	27,89	1,64	14,64	74,66	0,83
	45	92,09	107,25	1,10	20,56	158,48	0,57	54,14	78,85	1,04	17,98	95,75	0,68
	60	182,60	340,78	0,75	21,85	120,22	0,53	74,72	80,78	0,95	19,98	82,81	0,85
	75	201,13	129,78	1,12	22,49	71,61	0,69	93,35	38,36	1,16	22,40	86,22	0,85
<i>C. argéntea</i>	30	52,14	51,22	1,05	17,63	111,25	0,57	53,31	61,51	1,05	13,89	140,52	0,61
	45	79,56	76,72	1,04	23,46	189,20	0,58	70,19	100,74	0,89	22,07	95,75	0,61
	60	110,21	135,92	0,97	25,13	166,25	0,55	77,23	69,35	0,87	23,80	115,84	0,54

	75	141,20	85,35	1,08	27,72	178,25	0,48	93,36	40,25	0,83	25,44	125,92	0,49
EEM		5,22	15,26	0,05	1,43	23,65	0,12	5,01	10,95	0,05	1,52	29,83	0,05
Efecto forrajes		0,0001	0,0001	0,00	0,000	0,0004	0,00	0,0001	0,1734	0,00	0,000	0,0120	0,0001
				01	2		01			01	1		
Efecto edades		0,0001	0,0001	0,00	0,000	0,0308	0,886	0,0001	0,0001	0,00	0,000	0,9810	0,0009
				01	1		9			01	1		
Efecto forrajes x edades		0,0001	0,0001	0,001	0,904	0,1706	0,814	0,0527	0,0046	0,00	0,703	0,8239	0,0007
				3	4		9			01	7		

*P<0,005; ** P<0,001; ns= no significativo; EEM= error estándar de la media; CH₄= metano; CO₂= dióxido de carbono
 Producción de gas *in vitro* (PG) [PG (mL CH₄ y CO₂)], la asíntota de producción de gas (B) y la tasa de producción de gas (c): los parámetros se ajustaron a la ecuación = $GV (1 + (B / t) C)^{-1}$ (Groot *et al.*, 1996).

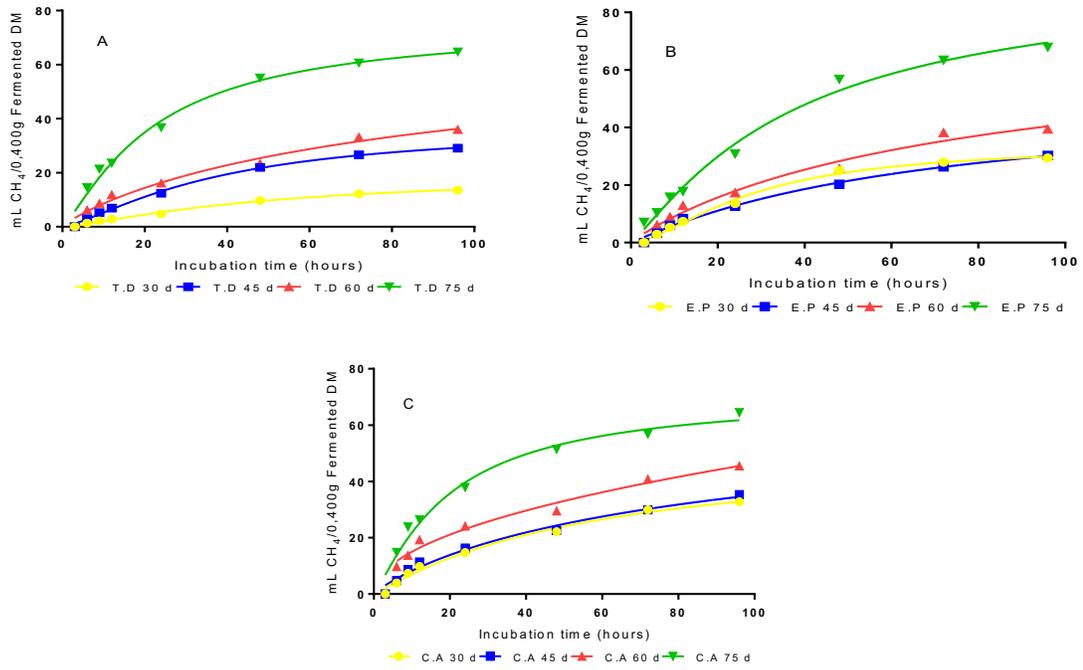
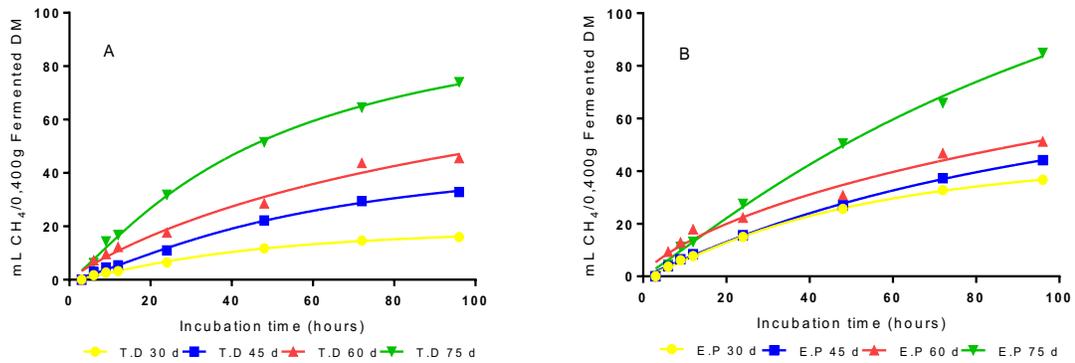


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-11. Cinética de producción de gas [PG (mL CH₄)] en *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte durante la época lluviosa



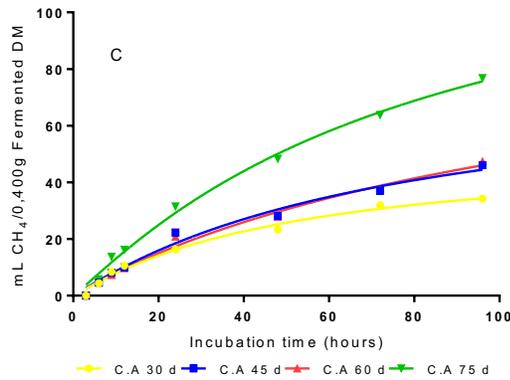


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-12. Cinética de producción de gas [PG (mL CH₄)] en *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte durante la época seca

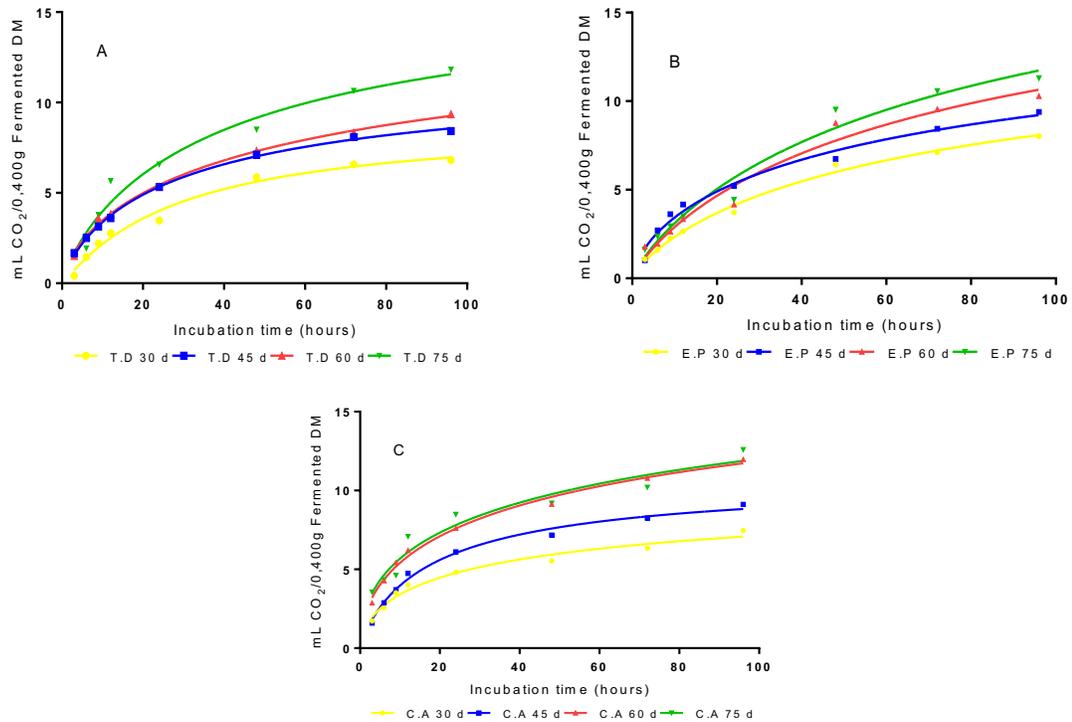


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-13. Cinética de producción de gas [PG (mL CO₂)] en *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte durante la época lluviosa

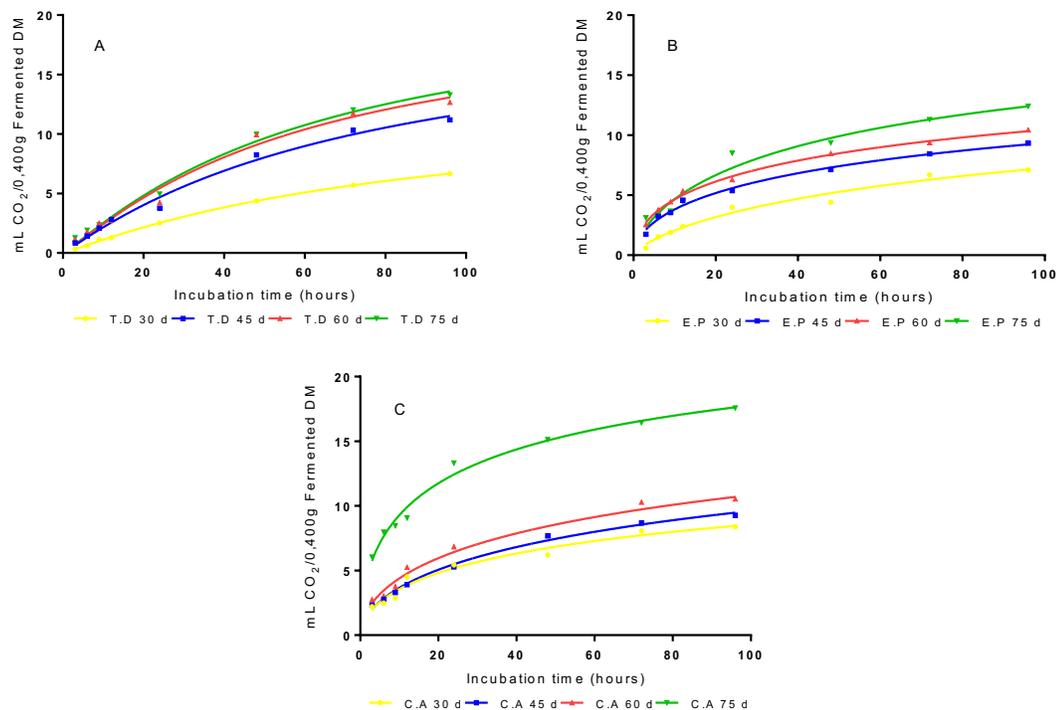


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-14. Cinética de producción de gas [PG (mL CO₂)] en *T. diversifolia* (A), *E. poeppigiana* (B) y *C. argentea* (C), a diferentes edades de corte durante la época seca

La menor producción de gas *in vitro* de la MS obtenidos en las edades de corte para la época seca y lluviosa (Tabla 5-1) esta asociado a un mayor porcentaje de PC y bajos contenidos de FDN y FDA a los 30 días de edad (Tabla 3-3). La calidad de un forraje (alto porcentaje de PC) y los bajos componentes estructurales de la pared celular (FDN y FDA) y posiblemente baja cantidad de taninos condensados, haciéndolo más aprovechable los nutrientes para la fermentación ruminal (Abreu *et al.*, 2003; Valencia, 2003). Barros-Rodríguez (2017) mencionan que la menor PGIV está asociada a un menor porcentaje en el contenido de la pared celular y a una mayor PC, transformando estos compuestos en amoniaco, aminoácidos, péptidos y ácidos grasos volátiles, produciéndose en el rumen como resultado de la degradación de las proteínas. La PGIV de la MS podría estar asociada a un mejor uso de la PC en el rumen, lo

que conlleva a un aumento en la síntesis de proteína microbiana en el tracto gastrointestinal. La baja PGIV de la MS también puede estar relacionada a una mejor utilización de la síntesis de proteína microbiana (Blummel *et al.*, 1997). La producción de gas es una medida indirecta de la degradación de los sustratos, particularmente de los carbohidratos estructurales y no estructurales. Además, está relacionado con la producción de AGV (Blümmel *et al.* 1999; Liu *et al.*, 2002). La medición de la PGIV evalúa la tasa y extensión de la digestión de los nutrientes (Stern *et al.*, 1997).

La mayor producción de gas *in vitro* de la MS en este trabajo con respecto a la edad de corte para la época seca y lluviosa (Tabla 5-1) está asociado a un menor porcentaje de PC y a un mayor FDN y FDA a los 75 días de corte (Tabla 3-3). La edad de corte y sus bajos contenidos de PC cercanos al 16%, sus altos porcentajes de FDN y FDA y posiblemente la presencia de metabolitos secundarios (Mueller, 1989; Mueller y McAllan, 1992; Fajardo, 1998) pueden ligar componentes de la pared celular y hacen en gran parte indisponible los nutrientes para los microorganismos (Bernal *et al.*, 2008). Los mayores PGIV a las 96 horas está relacionado con la cantidad de carbohidratos estructurales y a los nutrientes de rápida fermentación, que son atacados por los microorganismos ruminales y a sus enzimas, actuando de inmediato a las primeras horas los carbohidratos no estructurales (azúcares solubles, almidones, pectinas) y posteriormente a los carbohidratos estructurales, logrando así un incremento en la PGIV (La O *et al.*, 2008)

La edad de corte de un forraje se ve afectado por la fermentación ruminal, siendo uno de los principales factores que influyen en la producción de gas *in vitro*, CH₄ y CO₂ (Kumar *et al.*, 2014; Vanegas *et al.*, 2017). Anrique, (2010) y Darwin *et al.*, (2018) mencionan que el comportamiento de la producción de gas acumulado de un sustrato en los tiempos de fermentación medidos se atribuye a la

composición de la población bacteriana, ya que según el tipo de bacterias es el tipo de carbohidratos que fermentan. Pinos *et al.*, (2005) mencionan que durante la cinética de fermentación primero se fermentan carbohidratos no estructurales (azúcares solubles, vitaminas, almidones y pectinas) y por último los carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina). Los altos volúmenes de gas y porcentajes de degradación encontrados a edades de corte temprano en las especies *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea* originan la formación de AGV'S, en específico acetato y butirato los cuales están relacionados con generar aumentos en los volúmenes de PGIV (Getachew *et al.*, 2004).

La calidad del forraje y la disminución gas de metano en la fermentación de plantas arbustivas forrajeras tropicales se relaciona a los metabolitos secundarios (Tiemman *et al.*, 2008), y a la madurez fisiológica de la planta en sus fracciones fibrosas. El contenido de lignina de un forraje impide que se degrade la hemicelulosa. Los porcentajes de degradación de la hemicelulosa determinan la metanogénesis (Tiemman *et al.*, 2008). La inclusión de especies arbustivas y arbóreas en la alimentación dieta de rumiantes es una estrategia para disminuir las emisiones de CH₄ entérico (Kamra *et al.*, 2006; Lascano y Cárdenas, 2010; Mirzaei y Maheri, 2011).

Las diferencias entre las edades de corte en la emisión de CH₄ y CO₂ que están asociadas a las mayores concentraciones de fibra, a variaciones en la tasa de pasaje y posiblemente a la presencia de metabolitos secundarios para la época seca y lluviosa (Tabla 5-3). Conforme a mayor fermentación en los sustratos, la producción de CH₄ y CO₂ se redujo según el tipo de carbohidratos fermentables a nivel ruminal (Archiméde *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2000; Johnson & Johnson 1995; Ramírez *et al.*, 2012). Según Carmona *et al.*, (2005), la tasa de emisión de CH₄ en la fermentación a nivel ruminal está relacionada con las características

físico-químicas del forraje, lo que se relaciona con el consumo. Mayor porcentaje de carbohidratos estructurales genera mayor producción de CH₄ (Vanegas *et al.*, 2017).

La menor producción de CH₄ y CO₂ sobre las edades de corte está asociado a una mayor fermentabilidad del forraje durante la época seca y lluviosa, esto podría estar relacionada con el tipo de carbohidrato fermentado (Tabla 5-3). Así mismo Montenegro y Abarca (2000) mencionan que la producción de CH₄ y CO₂ se asocia con la madurez fisiológica de las plantas existiendo un aumento en el material lignocelulósico. La producción de CH₄ en los rumiantes está influenciada por factores como: el consumo, la digestibilidad, la composición de la dieta; en la cual la fermentación ruminal se modifica con forrajes de alto valor nutritivo minimizando el CH₄ (Bonilla & Lemus, 2012). De tal manera, que las especies forrajeras, las edades de corte y la época presentaron variaciones en la producción de CH₄ y CO₂, debido a su composición química difiere entre los mismos.

El uso de plantas arbóreas y arbustivas tropicales con bajos contenidos de metabolitos secundarios en la alimentación de rumiantes minimiza las emisiones de CH₄, siendo una alternativa para su mitigación (Lascano and Cárdenas, 2010; Santacoloma, 2011). La disminución en la producción de metano *in vitro* al incluir forrajeras como *Tithonia diversifolia* en la alimentación para rumiantes, denota una mejor eficiencia productiva (Carmona *et al.*, 2005; Galindo *et al.*, 2012). Así mismo, los bajos porcentajes de las fracciones fibrosas está asociada a una menor producción de metano entérico (Kreuzer & Hindrichsen, 2006), lo cual se evidencia que las edades de corte y sus contenidos de FDN y FDA tienen una relación directa con la emisión de gases de efecto invernadero. La composición de las fracciones fibrosas y la metanogénesis

están asociadas durante las primeras 24 h tiempo en la cual se fermenta el contenido celular, donde se hace más eficiente (Tiemman *et al.*, 2008).

Los resultados de AGV obtenidos en las especies forrajeras (Tabla 5-2) está asociado a las condiciones agroclimáticas, y a la composición bromatológica (Tabla 3-3) para la formación de los AGV, evidenciándose mejores resultados en la época lluviosa. La posible producción de mayor cantidad de AGV del acético con la época lluviosa, pudo deberse a una más rápida degradación de las especies forrajeras en relación con la edad de corte, debido al aporte de nutrientes de rápida fermentación como azúcares y proteínas solubles, favorece la formación de los AGV (Gallego *et al.*, 2014). El patrón de fermentación está relacionado con el tipo de la dieta y el tipo de carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) (Barros *et al.*, 2015). La *T. diversifolia* es una planta no leguminosa que contiene altos porcentajes de carbohidratos solubles, que es muy fundamental en la fermentación a nivel ruminal para la formación de AGV (Londoño *et al.*, 2019). Rodríguez *et al.*, (2009), reportaron que el perfil de AGV se modifica básicamente por el tipo de dieta, la relación forraje: alimento concentrado, el nivel de consumo y el empleo de aditivos, entre otros; el aumento de fuentes fibrosas generalmente conlleva a fermentación acética

Existen varios factores que intervienen para cambiar el pH en el rumen: la dieta suministrada, la solución búfer, el animal donante y la población microbiana. La saliva producida por el bovino tiende a tener un pH 8,2 en promedio, con alto contenido de sodio, potasio, bicarbonato y fosfato, cuyas características que le permiten su acción búfer en el licor ruminal Emery *et al.* (1960); Krause y Oetzel (2006), observaron un incremento en el pH del líquido ruminal al agregar una solución de saliva artificial, la cual dichos valores fueron atribuidos a las sales búfer contenidas en dicha solución (Elam y Davis, 1962)

La producción de gas se ve afectada por las especies forrajeras y las edades de corte para la época seca y lluviosa.

El pH no se vio afectado por las especies forrajeras ni por las edades de corte para la época seca y lluviosa.

La producción de AGV no se vio afectada por las especies forrajeras para la época seca, sin embargo, la época lluviosa presentó mayores AGV. La edad de corte no influyó en la producción de AGV para ninguna de las dos épocas.

La edad de corte influyó en la producción de CH₄ y CO₂ para la época seca y lluviosa, siendo la mejor edad de corte a los 30 días y la mejor especie la *T. diversifolia*.

El uso del forraje (planta completa) de *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea* utilizadas a temprana edad tiene un alto valor nutricional para la suplementación de rumiantes en el trópico durante la época lluviosa y seca.

Esta tesis presenta los resultados de las características morfoagronómica, los rendimientos de producción, composición bromatológica, la digestibilidad *in vitro*, la degradabilidad y su fermentación ruminal en *Tithonia diversifolia*, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea*, cosechada a diferentes edades de corte durante la época seca y lluviosa, como fuente alternativa para los rumiantes en la Zona de Quevedo. Se probaron las hipótesis propuestas: Si se identifica el mejor comportamiento agronómico y calidad nutricional entre las especies forrajeras *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea*, entonces, se podrá seleccionar la mejor especie de mayor productividad, características nutricionales y la edad de cosecha durante la época seca y lluviosa, en un suelo clasificado como Andisol, como alternativa

para mejorar los sistemas de producción ganadera de la Zona de Quevedo.

Las especies *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argétea* es un forraje indispensable para las épocas secas y lluviosas para la alimentación animal principalmente por sus altos rendimientos en ambas épocas, esto se debe a las buenas características morfológicas, rendimientos producción, composición bromatológica y su digestibilidad, hacen que estas especies se conviertan en una alternativa forrajera para ser utilizada ampliamente en sistemas sostenibles de producción animal del trópico.

Los resultados de la degradabilidad ruminal *in vitro* de la MS, MO, FDN y FDA disminuyeron al incrementarse la edad de corte. Los parámetros de la cinética ruminal *in vitro* se vieron afectados por la edad de corte. Las especies *T. diversifolia* y la *E. poeppigiana* presentaron los mejores parámetros de degradación ruminal *in vitro* de MS, MO, FDN y FDA. El uso del forraje (planta completa) de *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea* utilizadas a temprana edad tiene un alto valor nutricional para la suplementación de rumiantes en el trópico durante la época lluviosa.

El uso de especies arbustivas y arbóreas como es el caso de *Tithonia diversifolia*, *Erythrina poeppigiana* y *Cratylia argentea* a tempranas edades de corte mejoran los parámetros de fermentación ruminal y por ende reducen los gases de efecto invernadero durante la época seca y lluviosa, lo que permite indicar que es una alternativa alimenticia para los rumiantes por su alta degradabilidad en el rumen.

Referencias

- Abarca D, Martínez R, Muñoz J, Torres M, Vargas G. 2010. Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: Fuentes promisorias de fibra dietaria. *Rev Tecnol.* 23(2):63-9.
- Abreu, A., J.E. Carulla, M. Kreuzer, C.E. Lascano, T. Diaz, A. Cano y H.D. Hess. 2003. Efecto del fruto, del pericarpio y del extracto semipurificado de saponinas de *sapindus saponaria* sobre la fermentación ruminal y la metanogenesis *in vitro* en un sistema rusitec. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.* Vol. 16: 147-154
- Alonso, J., Achang, J., Santon, L. y Sampaio, R. 2013. Productividad de *Tithonia diversifolia* y conducta animal a diferentes momentos de comenzar el pastoreo. *Liv. Res. Rural. Dev.* 25:192. <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/alon25192.htm>
- Ankom Technology. Procedures for fiber and *in vitro* analysis [consultada: 16 noviembre, 2004] URL: [hpt:// www.ankom.com/homepage.html](http://www.ankom.com/homepage.html).
- Anrique, R. G. 2010. Metabolismo ruminal de los hidratos de carbono. *In: Contreras P., A., y M. Noro (eds). Rumen: Morfofisiología, Trastornos y Modulación de la Actividad Fermentativa.* 3ra ed. Valdivia, América. pp: 25-36.
- AOAC (Association of official analytical chemist). 2007. *Official Methods of Analysis.* 18th Edn. AOAC Inc., Arlington, VA, USA.
- Archiméde, H, Magdaleine, CM, Boval, M, Martin, C, Morgavi, DP, Lecomte, P, & Doreau, M 2011, 'Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 166-167, pp. 59-64.
- Argel, P y Lascano, C. 1998. *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze: Una nueva leguminosa arbustiva para suelos ácidos en zonas subhúmedas tropicales. *Pasturas Tropicales.* 20(1): 37 - 43.
- Argel, P y Lascano, C. 1998. *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze: Una nueva leguminosa arbustiva para suelos ácidos en zonas subhúmedas tropicales. *Pasturas Tropicales.* 20(1): 37 - 43.

- Avellaneda, J. 2003. Efectos de enzimas fibrolíticas exógenas en características nutritivas en gramíneas tropicales. Tesis Doctor en Ciencias. Montecillo – Texcoco. Edo de México. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Programa de Ganadería. Colegio de Posgraduados. 120 p.
- Avellaneda, J. H., Molina, C. A., Briones, W. R., Tubay, M. F. y Coello, S. 2015. In vitro degradation kinetics of four varieties of *Panicum maximun* at four crop growth stages. ESPAMCIENCIA. 26(2): 81-85.
- Bach, A., Calsamiglia, S. & Stern, M.D. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 88: 1.
- Barnes R, Marten G. Recent developments in predicting forage quality. J Anim Sci 1979; 48:1554-1561.
- Barros Rodríguez M, Solorio Sánchez F, Sandoval Castro C, Athol Klieve, Rojas Herrera R, Briceño Poot E, Ku Vera J. 2015. función ruminal *in vivo* e *in vitro* en ovejas alimentadas con *Leucaena leucocephala*. Trop Anim Health Prod. 47:757–764. doi.org/10.1007/s11250-015-0790-y
- Barros-Rodríguez M, Rovalino-Núñez V, Núñez-Torres O, Mera-Andrade R, Artieda-Rojas J, Vaca-Freire L. 2017. Composición química, cinética de degradación ruminal y producción de gas *in vitro* de arvenses con potencial forrajero. Livest Res Rural Dev 29(4). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/barr29071.html>
- Beauchemin, K; Colombatto, D; Morgvi, D; Yang, W. 2003. Use de exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. Journal of Animal Science. 81(2): 37-47
- Benavides, J.E. 2002. Utilization of mulberry in animal production systems. In: Mulberry for animal production. Animal Production and Health Paper No. 147. FAO, Rome. 291 p.
- Bernal, L; Ávila, P; Ramírez, G; Lascano, C; Tiemann, T y Hess, H. 2008. Efecto del ensilaje y el heno de *Calliandra calothyrsus*, *Flemingia macrophylla*, *Cratylia argentea* y *Vigna unguiculata* sobre la producción de gas *in vitro*. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 16(3): 97-103.
- Birmanía, W. (2013). Las arbóreas, una alternativa nutricional en la producción animal. Sitio argentino de producción animal. Disponible en www.produccion-animal.com.ar.

- Birmanian, W. (2013). Las arbóreas, una alternativa nutricional en la producción animal. Sitio argentino de producción animal. Disponible en www.produccion-animal.com.ar.
- Blümmel M, Makkar HPS and Becker K 1997 *In vitro* gas production: a technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 77: 24-34. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-0396.1997.tb00734.x/full>
- Blümmel, M., Aiple, K.P., Steingar, H. & Becker, K. 1999. A note on the stoichiometrical relationship of short chain fatty acid production and gas formation *in vitro* in feedstuffs of widely differing quality. *J. Anim. Physiol.* 81: 157
- Bochi-Brum, O.; Carro, D.; Valdés, C.; González, J. y López, S. (1999). Digestibilidad *in vitro* de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Arch. Zoot.*, 48(1):51-61.
- Bochi-Brum, O.; Carro, D.; Valdés, C.; González, J. y López, S. (1999). Digestibilidad *in vitro* de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Arch. Zoot.*, 48(1):51-61.
- Bochi-Brum, O.; Carro, D.; Valdés, C.; González, J. y López, S. (1999). Digestibilidad *in vitro* de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Arch. Zoot.*, 48(1):51-61.
- Bonilla-Cárdenas, J.A.; Lemus-Flores, C. 2012. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. *Rev Mex Cienc Pecu.* 3(2): 215-246.
- Brotz PG, Schaeffer DM.1987. Simultaneous determination of lactic acid and volatile fatty acids in microbial fermentation extracts by gas-liquid chromatography. *Journal of Microbiological Methods.* 6: 139-144.
- Bruni, M y Chilibroste, P. (2001). Simulación de la digestión ruminal por el método de la producción de gas. *Arch. Latinoam. Prod. Anima.* 9(1) 43-51.
- Bunthoeun, P.E.N., Takhashi, J., Matsouka, S., Takhashi, T., Salga, S., 2007. Major Chair of Animal Production the United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University. Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Iwate, USA
- Buxton, D y Fales, S. (1994). Plant environment and quality. En G.C. Fahey Jr. (Editor). *National Conference on Forage Quality, Evaluation and Utilization.* University of Nebraska: Lincoln, Nebraska, USA, pp. 55-199.

- Cairns, M. (1997a). Aproperty Rights Dimensions of Indigenous Fallow Management (IFM): Summary of Ten Intersecting Issues@ document prepared for the Asia-Pacific Resource Tenure Network (ARTN) Indonesia.
- Cairns, M. (1997b). Aproperty Rights Dimensions of Indigenous Fallow Management (IFM): Summary of Ten Intersecting Issues@ document prepared for the Asia-Pacific Resource Tenure Network (ARTN) Indonesia.
- Camero, A y Muhanunad, I. 1995. Bancos de proteína, de poro (*Erythrina berteroana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*). Agroforestería en las Américas. Mo 2 No.8 Oct –Dic 1995.
- Camero, L. 1994. Poro (*Erythrina poeppigiana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) como suplementos proteicos en la producción de leche. Pastos y forrajes, 16(1): 71-79.
- Camero, L. 1994. Poro (*Erythrina poeppigiana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) como suplementos proteicos en la producción de leche. Pastos y forrajes, 16(1): 71-79.
- Campllng, R.C.; Freer, M.; BAlch, C.C. 1961, Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 11. The relationship between the voluntary intake of roughages, the amount of digesta in the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tracto British Journal of Nutrition 15: 531-540
- Cardona, J; Mahecha, L y Angulo, J. 2017. Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. Agron. Mesoam. 28(2):405-426
- Carmona, J. (2007). Efecto de la utilización de arbóreas y arbustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos. *Revista Lasallista de Investigación*, 4(1): 40-50.
- Carmona, J.C., D.M. Bolívar, y L.A. Giraldo. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Rev. Col. Cienc. Pecu. 18:(1) 49-63.
- Castillo, A; Ligarreto, G; Garay. E. 2008. Producción de forraje en los pastos *Brachiaria decumbens* cv. Amargo y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo, sometidos a tres frecuencias y a dos intensidades de defoliación en

condiciones del piedemonte llanero colombiano. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 61(1):4336-4346.

CATIE (C.R.) Proyecto de semilla forestales. 1997. *Erythrina poeppigiana* (Walp.) Cook. Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales 15: 29-30.

Celis, G; Sánchez, H y Parra, F. 2004. Calidad nutritiva de las arbustivas forrajeras *Malvaviscus arboreus*, *Codariocalyx gyroides* y *Cratylia argentea* en la zona de ladera de los Departamentos de Cauca y Valle, Colombia. Revista Corpoica. 5(1): 56-59.

Celis, G; Sánchez, H y Parra, F. 2004. Calidad nutritiva de las arbustivas forrajeras *Malvaviscus arboreus*, *Codariocalyx gyroides* y *Cratylia argentea* en la zona de ladera de los Departamentos de Cauca y Valle, Colombia. Revista Corpoica. 5(1): 56-59.

Cerdas, R. 2018. Extracción de nutrientes y productividad de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilizantes nitrogenada. Inter Sedes. 39(19): 2215-2458.

Cerón, C. (2010). Evaluación agronómica y valor nutricional de 84 accesiones de la leguminosa (*Tadehagi triquetrum*) en suelos ácidos. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. 1-82 pp.

Cerón, C. (2010). Evaluación agronómica y valor nutricional de 84 accesiones de la leguminosa (*Tadehagi triquetrum*) en suelos ácidos. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. 1-82 pp.

Choque, H; Huaita, A; Cárdenas, L y Ramos, R. 2018. Efecto de rebrote en la degradación ruminal del pisonay (*Erythrina* sp) en el valle interandino de Abancay. Rev. Investig. Altoandina. 20(2): 189-202.

Correa, H. (2009). Estimación de la degradabilidad efectiva en el rumen mediante métodos numéricos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 61(2):54-67.

Correa, H. J. 2008. Estimación de la degradabilidad efectiva en el rumen mediante métodos numéricos. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 61 (2):4654-4657.

Cuartas, C. A.; Naranjo, J. F.; Tarazona, A. M. & Barahona, R. Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena*

leucocephala y su relación con el desempeño animal. *CES Med. Vet. Zootec.* 8 (1):70-81, 2013.

- Cubillos, G.; Vonhout, K.; Jimenez, C. 1975. Sistemas intensivos de alimentación del ganado en pastoreo. In El potencial para la producción del ganado de carne en América Tropical. CIAT., Cali, Colombia, Serie CS-10. p.125-142.
- Darwin, A. Barnes, and R. Cord-Ruwisch. 2018. *In vitro* rumen fermentation of soluble and non-soluble polymeric carbohydrates in relation to ruminal acidosis. *Ann. Microbiol.* 68 (1): 1-8.
- de Borel, R. y Benavides, J. 1993. La producción de biomasa de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) DE Cocine en una plantación de alta densidad. En: Westley, S.B. y Powell, M.H. (eds.) *Erythrina* en el Nuevo y el Viejo Mundo. La fijación de nitrógeno Tree Research Reports, número especial de 1993. pp. 211-216.
- Dehority, BA; Johnson, RR. 1961, Effect of particle size upon the *in vitro* cellulose digestibility of forages by rumen bacteria, *Journal of Dairy Science* 44: 2242-2249
- Delgado, D.; LA O.O.; Chongo, B.; Galindo, J.; Obregón, Y.; Aldama, A. 2001. Cinética de la degradación ruminal in situ de cuatro árboles forrajeros tropicales: *Leucaena leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sapindus saponaria* y *Gliricidia sepium*. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 35(2): 141-145.
- Delgado, D.; LA O.O.; Chongo, B.; Galindo, J.; Obregón, Y.; Aldama, A. 2001. Cinética de la degradación ruminal in situ de cuatro árboles forrajeros tropicales: *Leucaena leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sapindus saponaria* y *Gliricidia sepium*. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 35(2): 141-145.
- Deppenmeier, U., and V. Müller. 2008. Life close to the thermodynamic limit: how methanogenic archaea conserve energy. *Results Probl. Cell. Differ.* 45:123-152.
- Devendra, C. 1995. Composition and nutritive value of legumes tropical animal nutrition. Eds. J. D´Mello y C. Devendra. CAB INTERNATIONAL, UK. p. 49-66
- Dzowella, B; Hove, L and Topps J. 1995. Nutritional and anti-nutritional characters and rumen degradability of dry matter and nitrogen for some

- tree species with potential for agroforestry in Zimbabwe. *Animal Feed Science and Technology* 55:207-214.
- Elam, C. J. y R. E. Davis. 1962. Ruminant characteristics and bloat incidence in cattle as influenced by feeding synthetic saliva salts and sodium chloride. *J. Anim. Sci.* 21: 327-330.
- Elghandour, M.M.Y., Kholif, A.E., Salem, A.Z.M., de Oca, R.M., Barbabosa, A., Mariezcurrena, M., Olafadehan, O.A., 2016a. Addressing sustainable ruminant methane and carbon dioxide emissions of soybean hulls by organic acid salts. *J. Clean. Prod.* 135, 194-200.
- Elizondo-Salazar, J. 2017. Biomass yield and nutritional quality of three forages harvested at two cutting height. *Agronomía Mesoamericana*. 28(2): 329-340. doi:10.15517/ma.v28i2.23418
- Ella, A., Jacobsen, C., Stür, W.W. y Blair, G. 1989. Effect of plant density and cutting frequency on the productivity of four tree legumes. *Trop. Grassl.* 23: 28-34.
- Ellis, W.; Matis, J. y Lascano, C. (1979). Quantitating ruminal turnover. *Fed. Proc.* 38:2702
- Emery, R. S., C. K. Smith, R. M. Grimes, C. F. Huffman y C. W. Duncan. 1960. Physical and chemical changes in bovine saliva and rumen liquid
- Enríquez, J; Hernández, A; Pérez, J; Quero, A; Moreno, J. Densidad de siembra y frecuencias de corte en el rendimiento de *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze en el sur de Veracruz. *Téc Pecú Méx* 2003; 41(1): 75-84.
- Estupiñán, K; Vasco, D; Duchi, N. 2007. Digestibilidad de los componentes de la pared celular del forraje de *Canavalia ensiformis* (L) DC. En diferentes edades de corte. *Revista Tecnológica ESPOL.* 20(1): 223-228.
- Fajardo, C.H. 1998. Estudio de la interacción *in vitro* entre proteínas de origen vegetal y taninos. Trabajo de grado para optar al título de químico. Universidad nacional de Colombia. Sede Bogota. Facultad de ciencias. Departamento de química. 76 p.
- FAO, 2006. Livestock a Major Threat to the Environment: Remedies Urgently Needed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- Fassbender, HW, Beer, J., Heüveldop, J., Imbach, A., Enríquez, G. y Bonneman, A. (1991) Diez años de saldos de materia orgánica y

- nutrientes en sistemas agroforestales en el CATIE, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 45, 173-183.
- Ferreira R, Bezerra L, Edvan R, Araújo M, Marques C, Torreão J and Parente H 2016 Physicochemical composition and ruminal degradability of leucaena ensiled with different levels of buriti fruit peel. *Grassland Science*. 62(3): 160-166.
- Flores, O., Ibrahim, M., Kass, D., & Andrade, H. 1999. El efecto de los taninos en especies leñosas forrajeras sobre la utilización de nitrógeno por bovinos. *Revista Agroforestería en las Américas*. 6 (23). <http://web.catie.ac.cr/informacion/RAFA/>
- Franco, M; Ibrahim, M; Camero, A y Araya, J. 1998. Degradabilidad ruminal *in situ* y solubilidad de la proteína de rebrotes de *Cratylia argentea* de diferentes edades. *Avances de Investigación*. 5(17-18) 29-33
- Galindo, J., N. González, A. Sosa, T. Ruíz, V. Torres, A. Aldana, H. Díaz, O. Moreira, L. Sarduy, y A. Noda. 2011. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones *in vitro*. *Rev. Cubana de Cienc. Agríc.* 45:33-37.
- Galindo, J., N. González, I. Scull, Y. Marrero, A. Sosa, A. Aldana, O. Moreira, D. Delgado, T. Ruiz, G. Febles, V. Torres, O. La O, L. Sarduy, A. Noda, y O. Achang. 2012. Efecto de *Samanea saman* (Jacq.) Merr., *Albizia lebbek* (L.) Benth y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (material vegetal 23) en la población de metanógenos y en la ecología microbiana ruminal. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 46:273-278.
- Gallego, L.A., L. Mahecha, y J. Angulo. 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agron. Mesoam.* 25:393-403.
- Galyean, M. y May, T. (1995). *Laboratory Procedures in Animal Nutrition Research*. New Mexico State University. Department of Animal and Range Sciences.
- García, D.; Medina, J.; Cova, L.; Torres, A.; Soca, M.; Pizzani, A.; Baldizán, A y Domínguez, E. (2009). Preferencia de vacunos por el follaje de doce especies con potencial para sistemas agrosilvopastoriles en el estado Trujillo, Venezuela. *Pastos y Forrajes*. 31(3):255-270.

- García, D.E. 2003. Efecto de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de *Morus alba* (Linn). Tesis Maestría. EEPF “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba
- Giraldo, C.; Valderrama, E.; Montoya, L. y Armbrrecht, I. (2006). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) sobre herbivoría de *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae). En: Resúmenes IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción animal sostenible y III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible. EEPF “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba. Enero, 113 pp.
- Godínez, B. (2014). Evaluación de la degradación efectiva y el comportamiento productivo de ovinos de pelo alimentados con Sacchamaiz. Tesis de Magister en Ciencias. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgraduados. Tabasco, México. pp: 89
- Godoy DE L., S.; Chicco R.C. 1991. Degradación ruminal *in situ* de diferentes fuentes de proteína. *Zoot. Trop.* 9(1):3-24.
- Gómez, A. & Rivera, H. (1987). Descripción de malezas en plantaciones de café. Cenicafé, Colombia. 481 p.
- González, E y Cáceres, O. 2002. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos y Forrajes*, 25 (1): 15-20.
- González, J.C; Hahn, C.M y Narváez, W. 2014 Características botánicas de *Tithonia diversifolia* (Asterales: Asteraceae) y su uso en la alimentación animal. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 18 (2): 45-58.
- González, L; Román, M; Mora, A. (2006). Evaluación del crecimiento de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) gray. Colectadas en dos localidades del estado de Jalisco. *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. XVII Semana de la Investigación Científica*. ISBN 970-27-1045-6-. pp 80-84
- Grijalva, J; Ramos, R y Vera, A. (2011). Pasturas para sistemas silvopastoriles: Alternativas para el desarrollo sostenible de la ganadería en la Amazonía baja de Ecuador. *Boletín Técnico N° 156 (1-28)*. Programa Nacional de Forestería del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Impresión: NINA Comunicaciones, Quito, Ecuador, 24p.
- Groot, Jeroen C.J.; Cone, John W.; Williams, Barbara A.; Debersaques, Filip M.A.; Lantinga, Egbert A. 1996. Multiphasic analysis of gas production kinetics for *in vitro* fermentation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 64(1): 77–89. DOI: [https://doi.org/10.1016/S03778401\(96\)01012-7](https://doi.org/10.1016/S03778401(96)01012-7)

Gutiérrez, D; Borjas, R.; Rodríguez, H; Rodríguez, Z; Stuart, R y Sarduy, L. 2015. Evaluación de la composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de ensilaje mixto con *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-169: *Moringa oleifera*. Revista Avances en Investigación Agropecuaria 19(3): 3 7-16.

Herrera, R.S; Verdecia, D.M; Ramírez, J.L; García, M., y Cruz, A.M. 2017. Metabolitos secundarios de *Leucaena leucocephala*. Su relación con algunos elementos del clima, diferentes expresiones de digestibilidad y metabolitos primarios. Cuban Journal of Agricultural Science, 51(1), 107-116.

Hess, H y Domínguez, J. 1995. Follaje de nacedero (*Trichanthera gigantea*) como suplemento en la alimentación de ovinos. Pasturas Tropicales. 30(3): 1-5

Hides, D.H., Lovatt, J.A. y Hayward, M.V. 1983. Influence of stage of maturity on the nutritive value of Italian reyrgrasses. Grass Forage Sci. 38: 33-38.

Hill, K., J. R. Wilson and M. Shelton. 1989. Yield, persistence and dry matter digestibility of some C3, C4 and C3/ C4 Panicum species. Tropical Grasslands. 23: 240-249.

Holguin, V; Ortiz, S; Velasco, A. y Mora, J. (2015). Evaluacion multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemls.) A. Gray en Candelaria, Valle del Cauca. Rev Med Vet Zoot. 62(2): 57-72. <http://dx.doi.org/10.15446/rfmvz.v62n2.51995>.

III Censo Nacional Agropecuario (2000). MAGAP – SICA. www.magap.gob.ec

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo) (2015). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continúa (ESPAC). En línea: Consultado el 27 de abril del 2016. Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014/resultados_2014/2.%20presentacion_espac_2014.pdf

INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias). 2018. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas. Km 5 carretera Quevedo-El Empalme-Ecuador.

Ivory, D. (1990). Major characteristics and nutritional value of shrubs and tree fodders. In: C. Devendra (ed.) Shrubs and Tree Fooders for Farm Animals,

- Proceedings of a Workshop in Denpasar, Indonesia, IDRC 276 e, Ottawa, Canada, pp. 22-38
- Jackson, F. S., Barry, C., Lascano, C. & Palmer, B. 1996. The Extractable, and Bound Condensed Tannin Content of Leaves for Tropical Tree, Shrub and Forage Legumes. *J. of Science of Food and Agriculture*. New Zealand. 17 (1): 103-110.
- Jarillo, R.; Castillo, G y Valles, M. (2007). Calidad de los pastos en la alimentación del ganado. *In: Memorias Curso – Taller Principios y prácticas de manejo de forrajes en el trópico húmedo para la producción bovina*. CEIEGT. Tlapacoyan, Veracruz. 79-98 pp.
- Jayanegara A, Marquardt S, Wina E, Kreuzer M, Leiber F. 2013. *In vitro* indications for favourable nonadditive effects on ruminal methane mitigation between high-phenolic and high-quality forages. *Br J Nutr*. 109(4):615-22.
DOI: <http://www.dx.doi.org/10.1017/S0007114512001742>
- Johnson, DE, Johnson, Ward, GM & Branine, ME 2000, 'Ruminants and other animals', In MAK Khalil (ed.), *Atmospheric Methane*. Springer- Verlag, Berlin, Germany, pp. 112–133.
- Johnson, KA & Johnson, DE 1995, 'Methane Emissions from cattle', *Journal of Animal Science*, vol. 73, pp. 2483-2492.
- Kamra, D.N., N. Agarwal, and L.C. Chaudhary. 2006. Inhibition of ruminal methanogenesis by tropical plants containing secondary compounds. *Int. Cong. Series* 1293:156-163.
- Keir, B.; Van Lai, N.; Preston, T.R.; Rskov, E.R. 1997. Nutritive value of leaves from tropical trees and shrubs. 1. *In vitro* gas production and *in sacco* rumen degradability. *Livestock Research for Rural Development*. 9(4). Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (FUNDACIÓN CIPAV). (En línea).
<http://www.cipav.org.co/Irrd/index.html>. 1997.
- Krause D, Denman S, Mackie R, Morrison M, Rae A. Opportunities to improve fiber degradation in the rumen: microbiology, ecology and genomics. *Microb Review* 2003; 27:663-693.
- Krause, K. M., and G. R. Oetzel. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 126: 215–236.

- Kretschmer, Jr. (1988). Factores que afectan la persistencia de leguminosas forrajeras tropicales. *Pasturas tropicales*. 10(1): 28-33.
- Kumar, S., P. K. Choudhury, M. D. Carro, G. W. Griffith, S. S. Dagar, M. Puniya, S. Calabro, S. R. Ravella, T. Dhewa, R. C. Upadhyay, S. K. Sirohi, S. S. Kundu, M. Wanapat, and A. K. Puniya. 2014. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98: 31-34.
- Kurihara, M., T. Magner, H. McCrabb, and G. McCrabb. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Brit. J. Nutr.* 81:227-234.
- La O, L., Valenciaga, D., Ruiz, T., Ruiz, O., Castillo, Y., González, H., Rodríguez, C., Hernández, D., Chongo, B., Arzola, C y Cairo, J. 2008. Efecto de la edad de corte en la capacidad fermentativa *in vitro* y la dinámica de degradación ruminal *in situ* de *Tithonia diversifolia*. *Zootecnia Trop.*, 26(3): 243-247.
- La O, O.; González, H.; Orozco, A.; Valenciaga, D.; Castillo, Y.; Ruíz, O.; Rodríguez, C.; Arbola, C.; Estrada, A.; Ríos, F.; Gutiérrez, E. y Hernández, Y. 2010. Valor nutritivo de diferentes materiales vegetales de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. III Congreso Internacional de Producción Animal Tropical. Cuba.
- La O, O.; H. González, A.; Orozco, Y.; Castillo, O.; Ruiz, A.; Estrada, F.; Ríos, E.; Gutiérrez, H.; Bernal, D.; Valenciaga, B.; Castro, I y Hernández, Y. 2012. Composición química, degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *Tithonia diversifolia* para la alimentación de rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(1):47-53.
- Lanyasunya, T. P., H. R. Wang, E. A. Mukisira, S. A. Abdulrazak, W. O. Ayako. 2006. Effect of seasonality on feed availability, quality and herd performance on smallholder farms in ol-joro-orok location, Nyandarua district, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosys.* 6:87-93.
- Lascano, C. 1996. Calidad nutritiva y utilización de *Cratylia argentea*. En: Pizarro, E. A. y Coradin, L. (eds.). Potencial del género *Cratylia* como leguminosa forrajera. EMBRAPA, Cenargen, CPAC y CIAT. Brasil. 83-97.
- Lascano, C.E., and E. Cárdenas. 2010. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. *R. Bras. Zootec.* 39:175-182.
- Lazcano, Y.; Soca, M.; Ojeda, F.; Roque, E.; Fontes, D.; Montejo, I.; Santana, H.; Martínez, J y Cubillas, N. (2012). Caracterización bromatológica de

- Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. Pastos y Forrajes, 35(3): 275-282.
- Leng, R. (1991). Application of biotechnology to nutrition of animal in developing countries. FAO Animal Production and Health paper 90. Roma, Italia: 146 p.
- Liu, J.X., Susenbeth, A & Südekum, K.H. 2002. *In vitro* gas production measurements to evaluate interactions between untreated and chemically treated rice straws, grass hay, and mulberry leaves. J. Anim. Sci. 80:517
- Londoño, C. J., Mahecha, L. L. y Angulo, A. J. 2019. Desempeño agronómico y valor nutritivo de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray para la alimentación de bovinos. Revista Colombiana de Ciencia Animal, 11(1). ISSN: 2027-4297. DOI:<https://doi.org/10.24188/recia.vo.no.2019.693>
- López, O.; Montejo, I. & Lamela, L. (2011). Evaluación de indicadores productivos en conejas mestizas con una dieta basada en forraje y pienso criollo. Pastos y Forrajes. 34(4): 97-112.
- López-Hidalgo HB, MartínezGonzález JC, Salcán-Guamán HC, Gusqui-Vilema LW, Balseca-Guzmán DG, Cienfuegos-Rivas EG. 2017. Crecimiento de *Centrosema pubescens* Benth bajo fertilización nitrogenada más azufre en Ecuador. CienciaUAT 84: 84- 95. doi: 10.29059/cienciauat.v12i1.826
- Maass, B. L. 1995. Evaluación agronómica de *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze en Colombia. En: Pizarro E, Coradin L. (eds). Potencial del género *Cratylia* como leguminosa forrajera. EMBRAPA, CENARGEN, CPAC Y CIAT. Memorias del taller de trabajo sobre *Cratylia*, realizado el 19 y 20 de julio de 1995, Brasilia, Brasil. p. 62-74.
- Machado R (1996) Dinámica de algunos indicadores morfológicos y estructurales de *Andropogon gayanus* CIAT-621, bajo condiciones de manejo intensivo. Efecto de la época y el año. Pastos y Forrajes 19:121-127.
- Mahecha, A y Rosales, E. (2000). Valor nutricional del follaje de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. Conferencia electrónica de la FAO-CIPAV sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Artículo No. 26.
- Mahecha, L y Rosales, M. 2005. Valor nutricional del follaje de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia* [Hemsl]. Gray) en la producción animal en el trópico. Livestock Res. Rural Devel.7 (9).

- Mahecha, L., Escobar., J., Restrepo, L. 2007. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livest. Res. Rural Dev.* 19 (2):1. <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm>
- Makkar, H.P.S., 2004. Recent advances in the *in vitro* gas method for evaluation of nutritional quality of feed resources. In: *Assessing Quality and Safety of Animal Feeds*. FAO Animal Production and Health Series 160. FAO, Rome, pp. 55–88.
- Mata, M.; Hernández, D., Cobos, M.; Ortega, M.; Mendoza, G. y Arcos, J. (2006). Comportamiento productivo y fermentación ruminal de corderos suplementados con harina de cocoíte (*Gliricidia sepium*), morera (*Morus alba*) y tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis*). *Revista Científica, FCV-LUZ* 16(3): 249-256.
- Mauricio, R., R. Ribeiro, S. Silveira, P. Silva, L. Calsavara, L. Pereira, and D. Paciullo. 2014. *Tithonia diversifolia* for ruminant nutrition. *Trop. Grassl.* 2:82-84.
- Mc Donald, P.; Edwards, R. y Greenhalgh, J. (1988). *Nutrición animal*. 4a Edición. Ed Acribia, S. A. Zaragoza, España. pp 145 - 171.
- McSweeney C S, Palmer B, McNeill BM and Krause D O 2001 Microbial interaction weed tannins nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 91: 83-93.
- Medina, M.; García, D.; González, M.; Cova, L y Moratinos, P. (2009) Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop.* 27(2): 121-134.
- Mejía, E; Mahecha, L y Angulo, J. 2017. *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agronomía Mesoamericana.* 28(1): 289 - 302: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.22673>
- Menke KH, Steingass H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim Res Develop* 28: 7-55.
- Meza, G. A., Loor, N. J., Sánchez, A. R., Avellaneda, J. H., Meza, C. J., Vera, D. F., Cabanilla, M. G., Liuba, G. A., Meza, J. S., Meza, F. F., Ramírez, M. A., Moncayo, O. F., Cadena, D.L., Villamar, R.O., Díaz, E., Rizzo, L.M., Rodríguez, J. M. & López, F. X. 2014. Inclusión de harinas de follajes

arbóreos y arbustivos tropicales (*Morus alba*, *Erythrina poeppigiana*, *Tithonia diversifolia*, *Hibiscus rosa-sinensis*) en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus* Linnaeus) Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. 61(3): 258-269, ISSN: 0120-2952.

Milera, M., Sánchez, T. y Martín, G. 2010. *Morus* sp. para la alimentación de bovinos en desarrollo (nota técnica). *Pastos y Forrajes*. 33:85.

Minson, D. J. 1972. The digestibility and voluntary intake by sheep of six tropical grasses. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Husbandry*. 12: 21-26.

Minson, D.J. and McLeod M.N. 1970. The digestibility of temperate and tropical grasses. Proc. XI Int. Grassl. Congr., Surfers Paradise, Queensland, Australia. p. 719-722.

Miquilena, E., Ferrer, O.J., Clavero, T. 1995. Efecto de tres frecuencias de corte y tres densidades de siembra sobre las fracciones nitrogenadas en hojas y tallos de *Gliricidia sepium*. *Rev. Fac. de Agronomía (Luz)* 12:193-207.

Mojica, M. M. 2010. Establecimiento y uso de la técnica de digestibilidad *in vitro* para evaluar nutricionalmente maíz forrajero. Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tesis

Mona M.Y. Elghandour; Abdelfattah Z.M. Salem; Ameer Khusro; Moises Cipriano-Salazar; Jaime Olivares-Perez; Marcos A. Barros-Rodriguez and Rosalía Lugo Coyote. 2017. Assessment of some browse tree leaves on gas production and sustainable mitigation of CH₄ and CO₂ emissions in dairy calves at different age. *Journal of Cleaner Production*. 162: 1192 – 1199

Montenegro, J y Abarca, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Ed Nuestra Tierra. 334 p.

Morillo, D. 1994. Efectos de la época sobre la producción forrajera y bovina. *Revista de Agronomía (LUZ)*. 11(2): 152-163

Moss, A.R., J.P. Jouany, and J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49:231-253.

Mueller-Harvey and A. B. Mcallan. 1992. Tannins and i their biochemnistry and nutritional properties. *Adv. Plant Cell Biochem. and Biotec.* 1. 151-217

- Mueller-Harvey, I. 1989. Identification and importance of polyphenolic compounds in crop residues. In: Chesso, A., Ørskov, E. R. (Eds). Physiochemical characterization of plant residues for industrial and feed use. Elsevier Scie. Pub. Co., inc. New York. Pp. 88-109.
- Murgueitio, E. 2009. Experiencias sobre la utilización de la *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Colombia y Panamá. Memorias. VIII Taller Internacional Silvopastoril “Los árboles y arbustos en la ganadería”. [CD-ROM]. EEPF “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba.
- Murgueitio, E.; Rosales, M y Gómez, M. (2001). Agroforestería para la Producción Animal Sostenible. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Cali, Colombia.
- Murgueitio, E; Calle, Z; Xocchitl, M y Uribe, F. 2015. Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina In book: Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales, Editors: Florencia Montagnini, Eduardo Somarriba, Enrique Murgueitio, Hugo Fassola, Beatriz Eibl. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. Pp.59-101.
- Navarro, M. y Villamizar, C. (2012). Evaluación de diferentes frecuencias de corte en guinea mombaza (*Panicum maximum*, jacq), bajo condiciones de sol y sombra natural influenciada por el dosel de campano (*Pithecellobium saman*) en Sampués, Sucre. Rev. Colombiana Cienc. Anim. 4(2):377-395
- Nelson, C. y Moser, L. (1994). Plant factors affecting forage quality. In: Fahey, G. C. Jr (ed) forage Quality, Evaluation and utilization. University of Nebraska, Lincoln, USA, pp. 115- 154
- Nieves, D.; Terán, J.; Cruz, L.; Mena, M.; Gutiérrez, F. y Ly, J. (2011). Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14:309–314.
- Nocek, J.E. & Russell, J.B. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. J. Dairy Sci. 71:2070
- Noguera, R y S. Posada. (2007). Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 20:174-182
- Nuciari, M. (2008). Degradación de tejidos foliares en *Elymus breviaristatus* subsp. *Scabrifolius* y *E. scabriglumis* (Gramineae). Agrociencia. 12(2): 68-77.

- Orskov, E. and McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 92, 499 – 503.
- Ortiz DM, Posada SL, Noguera RR. 2014. Effect of plant secondary metabolites on methane enteric emission in ruminants. *LRRD*. 26(11): E211.
- Owens, F y Goetsch, A. (1986). Digesta passage and microbial protein synthesis. Control of digestión and metabolism in ruminants. L. P. Milligan. 196-226 pp.
- Owens, F. y Hanson, C. (1992). Extremal and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *J. Dairy Sci.* 75:2605-2617.
- Palma, J. M. 2006. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14 (3):95-104.
- Pathak, P.S., Rai, P., Riy, R.D. 1980. Forage production from koo-babool (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit). 1. Effect of plant density, cutting intensity and interval. *Forage Res.* 6: 83-9
- Peng, Q; Khan, N.A; Wang, Z y Yu, P. 2014. Relationship of feeds protein structural makeup in common prairie feeds with protein solubility, *in situ* ruminal degradation and intestinal digestibility. *Anim Feed Sci Technol* 194: 58-70. doi: 10.1016/j.anifeedsci.- 2014.05.004
- Pérez, A.; Montejo, I.; Iglesias, J.; López, O.; Martín, G.; García, D.; Milián, I. y Hernández, A. (2009). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*. 32(1):1-15.
- Pérez, P.; Meléndez, F. 1980. The effect of height and frequency of defoliation on formation of buds of *L. leucocephala* in the state of Tabasco, México. *Trop. Anim. Prod.* 5, 280.
- Pichard, G.R; Reategui, K; Campos, R.E. 1988. Composición química y degradación ruminal de tejidos obtenidos de arbustos forrajeros presentes en la pradera natural mediterránea. In Taller de trabajo sobre metodología de investigación en nutrición de rumiantes, 1988, Turrialba, Costa Rica
- Pizarro EA, Ayres CM, Ramos KBA. Introducción y evaluación de leguminosas forrajeras arbustivas en El Cerrado Brasileño. En: Pizarro E, Coradin L. Potencial del género *Cratylia* como leguminosa forrajera. Memorias del

taller de trabajo sobre *Cratylia*. Brasilia, DF, Brasil. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); 1995.

- Pizarro, E. A. y Carvalho, M. A. (1996). Alternative forages for the tropics: Arachis and Paspalum. En: Springer, T. L. y Pittman, R. N. (Editores). *Identifying germplasm for succesful forage legume-grass interactions*. Proc. Symp. Crop Sci. Soc. Am., Seattle, Washington. pp 1-14.
- Pulido, R; Leavep, J.D. 2000. Degradabilidad ruminal del forraje disponible en la pradera y del aparentemente consumido por vacas lecheras. *Pesq. Agropec. Bras.* 35(5): 1103-1109.
- Raaflaub, M; Lascano, C.E. 1995. The effect of wilting and drying on intake rate and acceptability by sheep of the shrub legume *Cratylia argentea*. *Tropical Grasslands* 29 (2): 97-101.
- Ramírez, O. (2003). Dinámica estacional del valor nutritivo y digestión ruminal del forraje de 10 arbustiva de Baja California Sur, México. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 199 pp.
- Ramírez, O.; Ramírez, L.; Romero, V.; González, R.; Armenta, Q y Avalos, C. (2008). Diet and nutrition of range goats on a sarcocaul shrubland from Baja California Sur, México. *Small Ruminant Research*. 76: 166-176
- Ramírez, R, P Pizzani, G De Martino, D García, Z Linares, O Colmenares & Domínguez, C 2012, 'Estimación *in vitro* de gases con efecto invernadero en frutos y follaje de árboles de un bosque seco tropical de Venezuela', *Pastos y Forrajes*, vol. 35, no. 1, pp. 99-108.
- Ramírez, R., O., Hernández, G. A., Carneiro, S. S., Pérez, P. J., de Souza, J. S. J., Castro, R. R., Enríquez, Q. J. F. 2010. Características morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto monbaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12: 303-311.
- Ramírez, R.; Escobedo, M.; Lara, E y Chay, C. (2006). Efecto de la altura de corte y densidad de siembra y tipo de suelo en la producción de *Titonia diversifolia*. XIX. Reunión ALPA. Tampico, México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 13(1): 1-200 pp.
- Ramírez, R.; Escobedo, M.; Lara, E y Chay, C. (2006). Efecto de la altura de corte y densidad de siembra y tipo de suelo en la producción de *Titonia*

diversifolia. XIX. Reunión ALPA. Tampico, México. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 13(1): 1-200 pp.

- Ramírez, R.U; Escobedo, J.G; Lara, P.E; Cen, C.F. & Sanginés, J.R. 2007. Digestibilidad y balance de nitrógeno de dietas para ovinos con niveles crecientes de *Tithonia diversifolia*. Disponible: <http://www.dict.isch.edu.cu/.../agroforesteria%202007/data/posters/3lossistem>
- Reed, J.D. 1986. Relationships among soluble fenolic, insoluble proanthocyanidins and fiber in east Africa browse specie. Journal of Range Management 39: 5-7.
- Reynolds, S. G. 1995. Pasture-Cattle-Coconut Systems; FAO Field Operations Division, Technical Cooperation Department, Viale delle Terme di Caracalla, Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/005/af298e/af298e00.HTM>
- Ríos, C. (1995). Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. Disponible en línea: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Agrofor1.htm>. 217-230. [Feb. 18, 2016].
- Ríos, C. (1997). Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray@ en Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica. 2da edición. Colciencias - CIPAV. Cali, Colombia p115-126.
- Ríos, C. (1998). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. Conferencia electrónica de la FAO-CIPAV sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Artículo No. 14.
- Ríos, C. (2002). Usos, manejo y producción de botón de oro, (*Tithonia diversifolia* Hemsl) Gray. En: Tres especies vegetales promisorias: nacedero (*Trichanthera gigantea*) (H. & B) Nees.), botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray) y bore (*Alocasia macrorrhiza* (Linneo) Schott). Eds. Sonia Ospina y Enrique Murgueitio. CIPAV, Cali. Colombia. p. 211.
- Ríos, K. y Salazar, A. (1995). Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una fuente proteica alternativa para el trópico. Livestock Res. Ruminant for Rural Devel. 6:35.

- Rittner, U; Reed, J.D. 1992. Phenolics and *in-vitro* degradability of protein and fiber in West African Browse. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58: 21-28.
- Roa, M y Galeano, J. (2015). Calidad nutricional y digestibilidad in situ de ensilajes de cuatro leñosas forrajeras. *Pastos y Forrajes*. 38(4) 431-440
- Rodríguez, E. (1990). Mirasol (*Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray) posible alternativa forrajera no convencional para la alimentación animal en el trópico 16p
- Rodríguez, I. 2017. Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. *Livestock Research for Rural Development*. 29(4): 1-25.
- Rodríguez, L y Murgueito, E. 2002. Genero *Erythrina*. In árboles y arbustos forrajeros utilizados en la alimentación animal como fuente proteica. 3ª ed. Colombia (CO): Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. P. 89-92.
- Rodríguez, R., M. Fondevilla, and C. Castrillo. 2009. *In vitro* ruminal fermentation of *Pennisetum purpureum* CT-115 supplemented with four tropical browse legume species. *Anim. Feed Sci. Technol.* 151:65-74.
- Rojas, A; Hernández, A; Sánchez, P, Alaniz, L, Torres, N; Herrera, J; Escobar, J. 2018. Cinética de fermentación y degradación *in vitro* de tres leguminosas nativas del municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero. *Rev Inv Vet Perú*. 29(4): 1229-1236.
<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i4.14340>
- Rosales, M. (1992). Nutritional value of colombian fooder trees. Internal report: Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria and Natural Resources Institute. United Kingdom 50 p.
- Rosero, J; Ortiz, S; Franco, L; Peters, M. & Ramírez, G. 2010. Sistemas de siembra de *Cratylia argentea* cultivar Veranera en dos localidades del valle del río Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*. 59 (4):429-434.
- Rosero, R y Posada, S. (2007). Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Rev Col Cienc Pec*. 20:174-182

- Ruiz, T.; Torres, V.; Febles G.; Díaz, H.; Sarduy, L.; González, J. (2012). Utilización de la modelación para estudiar el crecimiento de *Tithonia diversifolia* colecta 10. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 46(3): 243-247.
- Salem, A.F.Z; El-Adawy, M; Gado, H; Camacho, L.M; Ronquillo, M; Alersy, H; Borhami, B.E. 2011. Effects of exogenous enzymes on nutrients digestibility and growth performance in sheep and goats. Trop Subtrop Agroecosyst 14: 867-874.
- Salem, A.Z., Kholif, A.E., Elghandour, M.M., Hernandez, S.R., Domínguez-Vara, I.A., Mellado, M., 2014a. Effect of increasing levels of seven tree species extracts added to a high concentrate diet on *in vitro* rumen gas output. Anim. Sci. J. 85, 853-860.
- Salem, A.Z.M., Ryena, A.G., Elghandour, M.M.Y., Camacho, L.M., Kholif, A.E., Salazar, M.C., Dominguez, I.A., Jimenez, R.M., Almaraz, E.M., Martinez, A.G.L., Mariezcurrena, M.D., 2014c. Influence of *Salix babylonica* extract in combination or not with increasing levels of minerals mixture on *in vitro* rumen gas production kinetics of a total mixed ration. Ital. J. Anim. Sci. 13, 873-879
- Sánchez, H; Lizarraga, S y Castro C. (2001). Evaluación agronómica de especies arbóreas para la producción de forrajes en la Península de Yucatán. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Santa Cruz Bolivia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Pp. 1-75
- Sanchez, M. (2002). World distribution and utilization of mulberry and its potential for animal feeding. In: Sánchez, M. Proceedings of an electronic conference. FAO. Roma. 1-10 pp.
- Santacoloma-Varón, L.E. 2001. las dietas en las emisiones de metano durante el proceso de rumia en sistemas de producción bovina. Revista de investigación agraria y ambiental. 2(1): 55-64.
- SAS. Institute Inc. Statistical Analysis System, SAS, SAS Inst., Cary, NC: 2011.
- Scull, I; Savón, L. y Ramos. A. 2008. Composición química de las harinas de follajes de *Tithonia diversifolia* con diferentes edades de corte. XI Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Cuba
- Sheaffer C C 2016 Harvesting hay and Silage. University of Minnesota, Minnesota Department of Agriculture. Retrieved June 28, 2017, from

<http://www.mda.state.mn.us/protecting/conservation/crproptions/harvesthay.aspx>

- Sosa, E.E; Pérez, D; Ortega, L. & Zapata, G. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México*. 42 (2):129-144.
- Soto, M.; Molina, F.; González, I.; González, J.; Sánchez, E. (2012). Efecto de la altura y frecuencia de corte sobre la producción de materia seca y proteína cruda de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Zootecnia Trop.*, 30(4): 317-325.
- Soto, S; Rodríguez, J; ruso, R. 2009. Digestibilidad *in vitro* en forrajes tropicales a diferentes edades y rebrote. *Tierra Tropical*. 5(1): 9-15.
- Stern, M.D., Bach, A. & Calsamiglia, S. 1997. Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 75:2256
- Stobbs, T.H. 1975. Factors limiting the nutritional value of grazed tropical pastures for beef and milk production. *Tropical Grasslands* 9(2): 141-150.
- Suárez, J; Carulla, J y Velásquez, J. 2008. Composición química y digestibilidad *in vitro* de algunas especies arbóreas establecidas en el piedemonte Amazónico. *Zootecnia Tropical*. 26(3): 231-234.
- Theodorou, M.K., B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan, and J. France. 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.
- Tiemann, TT, CE Lascano, M Kreuzer & Hess, HD 2008, 'The ruminal degradability of fibre explains part of the low nutritional value and reduced methanogenesis in highly tanniferous tropical legumes', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 88, pp. 1794-1803.
- Tilley, J.M., R. A. Terry. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestión of forage crops. *J. Brit. Grass. Soc.* 28:104-111.
- Toledo, M. J., & Schultze-Kraft, R. (1982). Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En J. M. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica* (pp. 91-111). Cali, Colombia: Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales-Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- Torres, G., T. Arbaiza, F. Carcelén y O. Lucas. 2009. Comparación de las técnicas *in situ*, *in vitro* y enzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Rev Inv Vet Perú*. 20 (1): 5-9.
- Tun, M. 2004. Efecto de la edad de corte en la distancia de siembra en el rendimiento y calidad de *Tithonia diversifolia*. Tesis de Maestría. Inst. Tecnológico Agropecuario N° 2. Conkal, Yucatán. México
- Turgut, I., Duman, A., Bilgili, U., Acikgoz, E. 2005. Alternate row spacing and plant density effects on forage and dry matter yield of corn hybrids (*Zea mays* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 191: 146-151.
- Valencia, F.L. 2003. Efecto de la mezcla de leguminosas tropicales en relación con la presencia de taninos y emisiones de metano en un sistema *in vitro* (rusitec). Tesis de grado presentada para obtener título de magíster en ciencias agrarias con énfasis en producción animal tropical. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 83 p.
- Vallejo, L.H., Salem, A.Z.M., Kholif, A.E., Elghangour, M.M.M., Fajardo, R.C., Rivero, N., Bastida, A.Z., Mariezcurrena, M.D., 2016. Influence of cellulase or xylanase on the *in vitro* rumen gas production and fermentation of corn stover. *Indian J. Anim. Sci.* 86:70-74.
- Valles, B; Castillo, E; Ocaña, E. y Jarillo, J. 2014. *Cratylia argentea*: Un arbusto forrajero potencial en sistemas silvopastoriles. Rendimiento y calidad de accesiones según las edades de rebrote y estaciones climáticas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(2): 277-293. doi: 105154/r.rchscfa.2013.11.040
- Van Soest, P. (1982). *Nutrition ecology ruminant*. O. B. Books. Inc. Corvallis O. R. 467 p.
- Van Soest, P. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Comstock Publishing Associates. Ithaca, New York. U.S.A. 77 – 92; 140 – 155 pp.
- Van Soest, P. J., R. H. Wine and L. A. Moore. 1966. Estimation of the true digestibility of forages by the *in vitro* digestion of cell walls. *Proc. 10th Int. Grasslands Congr. Helsinki*. pp. 438-441.
- Vanegas, J. L., J. González, and M. D. Carro. 2017. Influence of protein fermentation and carbohydrate source on *in vitro* methane production. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 101: e288-e296.

- Verdecia, D; Herrera, R; Ramírez, J; Bodas, R; Leonard, I; Giráldez, F; Andrés, S; Santana, A; Méndez, Y; López, S. 2018. Componentes del rendimiento, caracterización química y perfil polifenólico de la *Tithonia diversifolia* en el Valle del Cauto, Cuba. Cuban Journal of Agricultural Science. 2 (4): 457-471.
- Verdecia, D; Ramírez, J. L; Leonard, I; Álvarez, Y; Bazán, Y; Bodas, R; Andrés, S; Álvarez, J; Giráldez, F. & López, S. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del valle del Cauto. Rev. Electrónica Vet. 12:5. Disponible: www.veterinaria.org/revista/redvet/no50511/051113.pdf
- Vivas, W; Vera, D y Alpizar, J. 2017. Determinación *in vitro* de la calidad nutricional de tres leguminosas forrajeras. Rev Técnica 17: 43-52.
- Wanjau S. 1998. Transferencia de biomasa: cosecha gratis de fertilizante. *Boletín de LEISA*. 13 (3):25. <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-13-numero-3/2537-transferencia-de-biomasa-cosecha-gratis-de-fertilizante>
- Wilson y Lascano.1997. *Cratylia argentea* como suplemento de un heno de gramínea de baja calidad utilizado por ovinos. Pasturas Tropicales. 19(3): 2-8.
- Xavier DF, Carvalho MM, Botrel MA. 1990. Curva de crecimiento e acumulacao de proteína bruta da leguminosa *Cratylia floribunda*. Pasturas Tropicales. 12(1): 35-38.
- Yokohama, M y Johnson, K. (1988). Microbiología del rumen e intestino. Fisiología digestiva y nutrición. C.D. church, Ed. editorial acribial. Zaragoza, España.137-158 pp.

ISBN: 978-9942-33-595-1



compAs
Grupo de capacitación e investigación pedagógica

   @grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com