



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

MORFOLOGÍA Y CALIDAD DE TRES HÍBRIDOS DE *Urochloa* spp. A TRES EDADES DE REBROTE

ISMAEL REYES CALIHUA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe ISMAEL REYES CALIHUA, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. SERGIO SEGUNDO GONZÁLEZ MUÑOZ, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis MORFOLOGÍA Y CALIDAD DE TRES HÍBRIDOS DE Urochloa spp. A TRES EDADES DE REBROTE

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 26 de ABRIL de 2019



Firma del
Alumno (a)



Dr. SERGIO SEGUNDO GONZÁLEZ MUÑOZ
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: **Morfología y calidad de tres híbridos de *Urochloa* spp. a tres edades de rebrote**, realizada por el alumno: **Ismael Reyes Calihua**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

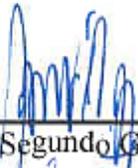
MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Sergio Segundo González Muñoz

ASESOR



Dra. Hilda Araceli Zavaleta Mancera

ASESOR



Dr. Adrián Raymundo Quero Carrillo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2019

MORFOLOGÍA Y CALIDAD DE TRES HÍBRIDOS DE *Urochloa* spp. A TRES EDADES DE REBROTE

Ismael Reyes Calihua, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la edad de rebrote sobre la morfología, contenido de nutrientes y degradación ruminal *in situ* de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 del género *Urochloa* spp.; además, caracterizar y analizar la estructura, en corte transversal, de la hoja del híbrido H-1. El estudio se realizó de septiembre a noviembre de 2017 (56 d) en el Campo Experimental “La Posta”, del Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Medellín de Bravo, Veracruz. El diseño experimental fue bloques al azar generalizado para crecimiento, rendimiento, composición química y degradación ruminal *in situ*, donde 28, 42 y 56 d de rebrote fueron los tratamientos y los híbridos fueron los bloques. El estudio de hoja se efectuó con un diseño completamente al azar y las edades de rebrote fueron los tratamientos. Yacaré mostró pseudotallos y hojas más anchas ($P \leq 0.05$), y Cobra los pseudotallos y hojas más largas ($P \leq 0.05$) y, como consecuencia, mayor altura total ($P \leq 0.05$). Yacaré y Cobra tuvieron mejor rendimiento de materia seca (MS) y tasa de crecimiento (TC) a los 28 y 42 d ($P \leq 0.05$), mientras H-1 tuvo mejor rendimiento de MS y TC a 56 d ($P \leq 0.05$). El contenido de proteína total (PT), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) fue mejor a 28 d de rebrote en los tres híbridos ($P \leq 0.05$), mientras lignina detergente ácido (LDA) fue mayor a 56 d de rebrote ($P \leq 0.05$). Las tasas de degradación de MS, PT, FDN y FDA fueron mayores a los 28 d de rebrote ($P \leq 0.05$). En corte transversal de la hoja de H-1, el área de la lámina fue mayor a 28 d ($P \leq 0.05$), mientras que su área lignificada fue similar entre edades ($P > 0.05$). La vena media (nervadura central), haz secundario y haz terciario tuvieron mayor área en corte transversal a 28 d de rebrote ($P \leq 0.05$), pero el haz primario y el haz lateral tuvieron áreas similares entre edades ($P > 0.05$). El área lignificada del haz primario fue mayor a 56 d de rebrote ($P \leq 0.05$), y los demás componentes tuvieron área lignificada similar entre edades de estudio ($P > 0.05$). Yacaré y Cobra mostraron mejores rendimientos de biomasa y crecimiento hasta 42 d de rebrote, aunque H-1 tuvo el mejor contenido de nutrientes durante este estudio. La edad de rebrote afectó el contenido de nutrientes y la tasa de degradación, pero mejoró el rendimiento de biomasa.

Palabras clave: *Urochloa* spp., degradación ruminal *in situ*, histoquímica, lignina.

MORPHOLOGY AND QUALITY OF THREE HYBRIDS OF *Urochloa* spp. AT THREE AGES OF REGROWTH

Ismael Reyes Calihua, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of regrowth age on the morphology, nutrient content and *in situ* ruminal degradation of the Yacaré, Cobra and H-1 hybrids of the genus *Urochloa* spp.; besides, to characterize and analyze the structure, in cross section, of the hybrid H-1 leaf. The study was conducted from September to November 2017 (56 d) in the Experimental Field "La Posta", of the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP), located in Medellín de Bravo, Veracruz. The experimental design was generalized randomized blocks for growth, yield, chemical composition and *in situ* ruminal degradation, where 28, 42 and 56 d of regrowth were the treatments and the hybrids were the blocks. The leaf study was carried out with a completely random design, where regrowth ages were the treatments. Yacaré showed pseudostems and wider leaves ($P \leq 0.05$), and Cobra pseudostems and longer leaves ($P \leq 0.05$) and, as a consequence, greater total height ($P \leq 0.05$). Yacaré and Cobra had better yield of dry matter (DM) and growth rate (GR) at 28 and 42 d ($P \leq 0.05$), while H-1 had better performance of DM and GR at 56 d ($P \leq 0.05$). The content of total protein (TP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) was better at 28 d of regrowth in the three hybrids ($P \leq 0.05$), while acid detergent lignin (ADL) was greater at 56 d of regrowth ($P \leq 0.05$). The degradation rates of DM, TP, NDF and ADF were higher at 28 d of regrowth ($P \leq 0.05$). In the cross-section of the H-1 leaf, the area of the leaf was greater at 28 d ($P \leq 0.05$), while its lignified area was similar between ages ($P > 0.05$). The middle vein (central rib), secondary beam and tertiary beam had a greater cross-sectional area at 28 d of regrowth ($P \leq 0.05$), but the primary beam and the lateral beam had similar areas between ages ($P > 0.05$). The lignified area of the primary beam was greater than 56 d of regrowth ($P \leq 0.05$), and the other components had a similar lignified area between study ages ($P > 0.05$). Yacaré and Cobra showed better yields of biomass and growth up to 42 d of regrowth, although H-1 had the best nutrient content during this study. The regrowth age affected the nutrient content and the degradation rate, but the biomass yield was improved.

Key words: *Urochloa* spp., *in situ* ruminal degradation, histochemistry, lignin.

DEDICATORIA

Este trabajo representa el esfuerzo conjunto de mi familia, amigos y profesores, que están y estuvieron presentes en todo momento, por ello les dedico esta investigación, ya que de una u otra forma colaboraron para que su servidor alcanzara una meta más en la vida.

Este capítulo en mi vida lo quiero dedicar de manera especial a Ana L. Domínguez Sánchez, quien me apoyó en todo momento en los trabajos de campo y laboratorio, dedicó parte de su tiempo y que, a pesar de los buenos y malos ratos, siempre estuvo a mi lado, muchas gracias por todo.

La vida se compone de capítulos malos y buenos, en todos es indispensable contar con la gente correcta, que te apoye y te aliente para no desistir y luchar por alcanzar eso que tanto anhelas, y esa gente fueron y son ustedes.

De corazón, muchas gracias.

Ismael Reyes Calihua

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación profesional mediante los estudios de postgrado.

Al programa Recursos Genéticos y Productividad: Ganadería, y a todo el personal que labora en él, por su apoyo y facilidades brindadas durante toda mi etapa en el Colegio de Postgraduados.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación.

Al Dr. Sergio Segundo González Muñoz, por todos los consejos, sugerencias y comentarios que, aunados a su amplio conocimiento y experiencia, favorecieron la correcta realización de esta investigación. De manera más personal, agradezco su amistad, amabilidad y confianza ofrecida en este proceso, ya que sin ello no habría sido posible su realización.

A la Dra. Hilda Araceli Zavaleta Mancera por su acertada dirección, asesoría y apoyo para la realización del presente trabajo.

Al Dr. Adrián Raimundo Quero Carrillo por su valiosa contribución y asesoría.

Agradezco al Laboratorio de Anatomía e Histoquímica Vegetal del Posgrado en Botánica, por las facilidades técnicas otorgadas para la realización del estudio Histológico de la presente tesis.

A los compañeros y amigos, trabajadores y académicos, del laboratorio de Anatomía e Histoquímica Vegetal y del laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	3
3. HIPÓTESIS.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1. Pastos tropicales y su importancia.....	4
4.2. Caracterización del género <i>Urochloa</i> spp. (sin. <i>Brachiaria</i> spp.).....	5
4.2.1. Importancia	6
4.2.2. Morfofisiología.....	6
4.2.3. Adaptación edáfica	7
4.2.4. Anatomía de hoja.....	7
4.3. Híbridos de segunda generación	9
4.3.1. Yacaré (<i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT BR02/1752).....	9
4.3.2. Cobra (<i>Urochloa</i> híbrido cv. CIAT BR02/1794)	10
4.3.3. H-1 (<i>Urochloa</i> híbrido).....	11
4.4. Factores a considerar en el uso de <i>Urochloa</i> spp.	12
4.4.1. Condiciones edafoclimáticas.....	12
4.4.2. Crecimiento y rendimiento.....	13

4.4.3. Pastoreo y edad de rebrote	14
4.4.4. Degradación ruminal.....	17
5. MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1. Área del estudio en campo	19
5.1.1. Ubicación	19
5.1.2. Clima.....	19
5.1.3. Geología y edafología	19
5.2. Establecimiento del experimento	20
5.3. Variables evaluadas	21
5.3.1. Altura del rebrote.....	21
5.3.2. Crecimiento del pseudotallo.....	21
5.3.3. Crecimiento de hoja	21
5.3.4. Producción de biomasa	22
5.3.5. Análisis químico	22
5.3.6. Tinción histoquímica de lignina en hoja del híbrido H-1	23
5.3.7. Degradación ruminal <i>in situ</i>	24
5.4. Diseño experimental y análisis estadístico	26
5.4.1. Crecimiento, rendimiento, composición química y degradación ruminal	26
5.4.2. Tinción histoquímica de lignina en hojas del híbrido H-1	26
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
6.1. Crecimiento de rebrote	28
6.1.1. Crecimiento de pseudotallo	28
6.1.2. Crecimiento de la hoja	31
6.1.3. Altura total del rebrote.....	34
6.2. Producción de biomasa	35
6.2.1. Materia verde (MV).....	37

6.2.2. Materia seca (MS)	37
6.2.3. Tasa de crecimiento del forraje (TC).....	38
6.2.4. Productividad.....	39
6.3. Composición química	40
6.3.1. Proteína total (PT)	40
6.3.2. Fibra detergente neutro (FDN).....	41
6.3.3. Fibra detergente ácido (FDA)	43
6.3.4. Extracto etéreo (EE)	44
6.3.5. Lignina detergente ácido (LDA)	44
6.3.6. Cenizas totales (CT)	45
6.4. Tinción histoquímica de lignina en hojas del híbrido H-1.....	45
6.4.1. Descripción de componentes anatómicos	46
6.4.2. Área foliar en corte transversal	49
6.5. Degradación ruminal <i>in situ</i>	57
6.5.1. Degradación ruminal <i>in situ</i> a 72 h de incubación	57
6.5.2. Tasas de degradación ruminal <i>in situ</i> (TDIS).....	62
7. CONCLUSIONES	64
8. LITERATURA CITADA	65

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Ingredientes y aporte de la dieta utilizada en la alimentación de los toros fistulados.	24
Cuadro 2. Comportamiento (promedio \pm desviación estándar; n=4) de la altura del rebrote, ancho y largo del pseudotallo y de la hoja de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 a 28, 42 y 56 d de rebrote.	29
Cuadro 3. Rendimiento (promedio \pm desviación estándar; n=4) de un solo corte para materia verde, materia seca, tasa de crecimiento del forraje y productividad de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 de <i>Urochloa</i> spp. a diferente edad de rebrote.	36
Cuadro 4. Composición química (promedio \pm desviación estándar; n=4) del rebrote de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 a diferente edad del rebrote.	42
Cuadro 5. Haces vasculares promedio observados en corte transversal de la lámina foliar del híbrido H-1 a 28, 42 y 56 d de rebrote.	47
Cuadro 6. Área total, lignificada y no lignificada (promedio \pm desviación estándar; n=3) de la hoja del híbrido H-1, en corte transversal, a los 28, 42 y 56 d de rebrote.	49
Cuadro 7. Análisis del área total y lignificada promedio (μm^2 ; promedio \pm desviación estándar; n=3), en corte transversal, de los principales componentes histológicos de la hoja del híbrido H-1 de <i>Urochloa</i> spp., a diferente edad de rebrote (28, 42 y 56 d).	51
Cuadro 8. Área total y lignificada de componentes histológicos (promedio \pm desviación estándar; n=3), expresada como área relativa (%) respecto al área total de la hoja, en corte transversal, del híbrido H-1 a 28, 42 y 56 d de rebrote.	55
Cuadro 9. Degradación ruminal <i>in situ</i> (%; promedio \pm desviación estándar; n=3) de la materia seca (DISMS), proteína total (DISPT), fibra detergente neutro (DISFDN) y fibra detergente ácido (DISFDA) del rebrote de tres híbridos del género <i>Urochloa</i> spp. a tres edades de rebrote, a 72 h de incubación.	58
Cuadro 10. Tasa de degradación ruminal <i>in situ</i> (%; promedio \pm desviación estándar; n=3) de la materia seca (TDISMS), proteína total (TDISPT), fibra detergente neutro (TDISFDN) y fibra detergente ácido (TDISFDA) del rebrote de tres híbridos de <i>Urochloa</i> spp., en tres edades de rebrote (28, 42 y 56 d) durante 72 h de incubación.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y distribución de los híbridos, edades de rebrote y repeticiones del experimento.	20
Figura 2. Precipitación media, temperatura máxima, media y mínima mensual registrada durante el periodo de estudio en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz (CONAGUA, 2017).	27
Figura 3. Tasa de elongación neta del pseudotallo a 28, 42 y 56 d de rebrote de tres híbridos de <i>Urochloa</i> spp.	30
Figura 4. Tasa de aparición de hoja del rebrote de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 de <i>Urochloa</i> spp.	32
Figura 5. Tasa de elongación foliar neta del rebrote de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 de <i>Urochloa</i> spp.	33
Figura 6. Histoquímica de lignina e identificación de haces vasculares (HV), en corte transversal, de la hoja del híbrido H-1, a 28 d de rebrote. El color rojo indica la presencia de lignina. A: nervadura central indicando HV primario (HV1 ^o) y HV laterales (HVL); B: HV secundario; C: HV terciario. Barra: A = 150 μ m; B, C = 100 μ m.	46
Figura 7. Descripción en corte transversal de un haz vascular secundario con tinción de lignina en hoja de 28 d de rebrote del híbrido H-1. Barra: 100 μ m. EAD: epidermis adaxial; EAB: epidermis abaxial; CB: células buliformes; EVH: extensión de la vaina del haz; M: mesófilo; VH: vaina del haz; F: floema; PX: protoxilema; MX: metaxilema; XP: xilema primario.	48
Figura 8. Tinción de lignina en corte transversal de hoja del híbrido H-1. El color rojo indica la presencia de lignina. Tipo de haz vascular: A, D, G: primario; B, E, H: secundario; C, F, I: terciario. Edad de rebrote en días: A, B, C: 28; D, E, F: 42; G, H, I: 56. Barra: 150 μ m.	53
Figura 9. Área total y área lignificada (μ m ²) ocupada por componente histológico en corte transversal de hoja del híbrido H-1, a 28, 42 y 56 d de rebrote.	54
Figura 10. Degradación ruminal <i>in situ</i> de la materia seca (A, E, I), proteína total (B, F, J), fibra detergente neutro (C, G, K) y fibra detergente ácido (D, H, L) del rebrote de híbridos de <i>Urochloa</i> spp.: Yacaré (A, B, C, D), Cobra (E, F, G, H) y H-1 (I, J, K, L) para tres edades de rebrote (28, 42 y 56 d) a 72 h de incubación.	61

1. INTRODUCCIÓN

Los forrajes son la fuente más económica y disponible para la alimentación de rumiantes, en particular en los trópicos de América Latina, donde grandes extensiones de tierra se destinan a la ganadería bovina. Las gramíneas son la base de la alimentación de rumiantes, por lo cual es necesario estudiar su manejo, composición química, componentes morfológicos y cómo influyen en su aprovechamiento como alimento. Por lo tanto, el manejo eficiente de las praderas es un punto crítico a considerar para mejorar su rendimiento y utilización por bovinos, ovinos y caprinos.

La cantidad y calidad del forraje en pastos tropicales depende de factores que pueden ser inherentes al ambiente y a la especie (Lemaire *et al.*, 2000). El valor nutritivo de los forrajes está determinado por el contenido y disponibilidad de carbohidratos, proteínas, vitaminas, y minerales, los cuales son necesarios para el crecimiento y producción de rumiantes; además, las adaptaciones biológicas del pasto permiten su fácil y rápido crecimiento vegetativo. Sin embargo, la calidad, cantidad y distribución de estos nutrientes en las plantas están influidos por factores físicos como las condiciones climáticas, fertilidad del suelo y época del año y, además, biológicos, en los cuales destacan la edad de las plantas (grado de madurez; edad del rebrote), intensidad del pastoreo y actividad competitiva contra malezas (Miles, 2006).

Los análisis químicos se usan para determinar la composición del forraje (Molano, 2012) y el objetivo es proveer información de los compuestos químicos que influyen la digestión y su utilización por rumiantes. Las características químicas y estructurales del pasto, la composición morfológica y las prácticas de manejo, regulan el consumo y, por lo tanto, el comportamiento del rumiante (Gutiérrez *et al.*, 2005). Además, la altura de planta, relación hoja tallo, tasas de crecimiento y expansión foliar presentan una relación directa con la productividad y calidad de la oferta forrajera (Lara y Pedreira, 2011). La capacidad de rebrote de una planta, después de la cosecha o defoliación, está influenciada por factores fisiológicos como las reservas de carbohidratos en raíz, el área foliar remanente y la activación de meristemos de crecimiento (Pérez *et al.*, 2002).

Además, la producción de materia seca (MS) debe influir en la elección y el manejo de forrajes (Rodrigues *et al.*, 2004). La fracción fibrosa de los forrajes es de suma importancia para los sistemas de alimentación en el trópico, influye en su degradación ruminal y tasa de pasaje y, por consecuencia, afecta o mejora la ingestión de alimentos. La fibra detergente neutro (FDN) y ácido

(FDA) son indicadores del contenido de fibra de los forrajes, pero no de su fracción digerible (Molano, 2012).

El conocimiento de la degradación y la digestibilidad de los pastos es fundamental para establecer su valor nutritivo y, por tanto, para la formulación de dietas para rumiantes (Bochi-Brum *et al.*, 1999). La digestión aparente de un pasto es la proporción de nutrientes digestibles y su utilización respecto al total ingerido por un rumiante. La evaluación de la degradación ruminal de forrajes en diferentes edades al corte o rebrote permite, no sólo la comparación entre diferentes especies, sino también el estudio de la mejor etapa de maduración para su utilización.

Urochloa spp. (Sinónimo: *Brachiaria* spp.) incluye gramíneas forrajeras con uso amplio en América tropical y con varias especies con importancia comercial como *U. decumbens*, *U. brizantha*, *U. dictyoneura*, *U. humidicola*; y *U. ruziziensis* (Miles y Lapointe, 1992) porque poseen excelentes cualidades, principalmente adaptación a suelos ácidos y pobres, que les permiten mejorar sustancialmente los índices productivos y de rentabilidad de los sistemas ganaderos (Cuadrado *et al.*, 2004). Además, presentan buena adaptación a condiciones ambientales difíciles y a diversos sistemas de cultivo y manejo (Balseca *et al.*, 2015), muestran eficiente crecimiento y persistencia, alta producción de biomasa de buena calidad y alto grado de aceptación por rumiantes (Olivera *et al.*, 2006). Esto permite al ganadero elegir, dentro del género, la especie que mejor se adapte a las condiciones de su terreno y al tipo de explotación, lo cual le otorga mayor eficiencia y rentabilidad.

Las estrategias para mejorar limitaciones en el género *Urochloa* se han dirigido a la búsqueda de nuevo germoplasma, a través de la selección *in situ* y del mejoramiento genético (Ara y Reyes, 2007). Con la variabilidad genética de las especies forrajeras disponibles y en la búsqueda de materiales cada vez más adaptados, productivos y de buena calidad, es de suma importancia el estudio del desempeño de forrajeras en la nutrición de rumiantes (Rodrigues, *et al.*, 2004). Investigaciones realizadas en Asia, África y América demostraron que los nuevos híbridos de *Urochloa* presentan alta tolerancia a la sequía y producen forraje frondoso, tasa elevada de digestibilidad y alto porcentaje de proteína total, y así superan a otros pastos tropicales (Pizarro *et al.*, 2013). Con el propósito de mejorar la producción de los rumiantes se han establecido diversos cultivares del género *Urochloa*, en algunas regiones de México y otros países de Centroamérica,

lo cual ha permitido aumentar la productividad del ganado bovino, 26 % de leche y 6 % de carne, por el alto rendimiento y calidad del forraje producido (Argel, 2006).

Entre valor nutritivo y edad de rebrote hay una relación estrecha: a menor edad de rebrote es mayor la calidad y menor el rendimiento de forraje; y, conforme la edad de pasto aumenta, la calidad disminuye y el rendimiento aumenta (Enríquez *et al.*, 2015). Así, es necesario saber cuál es la edad óptima que propicie obtener un balance entre calidad y cantidad de forraje. Por lo anterior, se decidió realizar el presente estudio para analizar el efecto de la edad del rebrote en el rendimiento, las características morfológicas y el contenido de nutrientes de los híbridos Yacaré (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BR 02/1752), Cobra (*Urochloa* híbrido cv. BR 02/1794) y H-1 (*Urochloa* híbrido) durante la transición de las estaciones otoño-invierno en Medellín de Bravo, Veracruz.

2. OBJETIVOS

General

Determinar los principales componentes morfológicos, rendimiento de biomasa y el contenido de nutrientes de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 de *Urochloa* spp. en tres edades de rebrote para determinar el híbrido y edad de rebrote que ofrezcan el mejor balance entre biomasa y contenido de nutrientes.

Específicos

- Definir el crecimiento y rendimiento del rebrote de tres híbridos de *Urochloa* spp. durante un periodo de 56 d.
- Determinar el contenido de nutrientes de tres híbridos a tres edades de rebrote.
- Caracterización estructural, en corte transversal, de la lámina foliar del híbrido H-1 de *Urochloa* spp a los 28, 42 y 56 d de rebrote.
- Mediante tinción histoquímica determinar el área total y relativa de tejido lignificado (%) en cortes transversales de hoja del híbrido H-1 de *Urochloa* spp. en tres edades de rebrote.

- Establecer la degradación ruminal *in situ* de la materia seca, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y proteína total en tres híbridos a las 72 h de incubación.

3. HIPÓTESIS

- El rendimiento y crecimiento del rebrote es diferente en cada uno de los híbridos de *Urochloa* spp. (sin. *Brachiaria*) evaluados.
- Una mayor edad en el rebrote modifica el contenido de nutrientes de híbridos de *Urochloa* spp.
- La edad de rebrote no afecta la distribución anatómica de la lignina en hojas del híbrido H-1 de *Urochloa* spp.
- La tasa de degradación ruminal *in situ* de la materia seca, proteína total, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido disminuirá a mayor edad del rebrote y tiempo en rumen.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Pastos tropicales y su importancia

La actividad ganadera es el uso más importante de la tierra en América Latina tropical, particularmente en áreas caracterizadas por la presencia de suelos poco aptos para la agricultura intensiva. La región tropical en México ocupa 35 % del territorio nacional, y se caracteriza por un elevado potencial para la producción ganadera, en la cual se sostiene 50 % del ganado bovino del país (Ortega-Aguirre *et al.*, 2015).

Las zonas tropicales de México se caracterizan por la explotación del ganado en sistemas extensivos y por ganadería de doble propósito, y su alimentación se basa en pastos de mala calidad y uso limitado de suplementos. La importancia económica de la ganadería ha aumentado, lo cual demanda una alimentación cuidadosa para rumiantes, y por ello, el conocimiento del valor

nutritivo de los alimentos tiene importancia económica y nutricional para el ganadero y el sector industrial (Vázquez *et al.*, 2004).

Los pastos tropicales son la principal fuente de alimentación para el ganado bovino de la región porque se pueden cultivar todo el año, tienen alto rendimiento y calidad aceptable cuando se manejan correctamente, su cultivo y utilización son económicamente viables y no compiten como fuente de alimento con otras especies, en especial, con el hombre (Herrera, 2014). Uno de los factores limitantes de las gramíneas tropicales es su bajo contenido de proteína y digestibilidad, lo cual tiene un efecto negativo en el consumo, y por ende, en la producción de los rumiantes (Molano, 2012). La producción de materia seca y contenido de proteína son variables con mayor uso en la evaluación de pastos, pero tienen una correlación negativa (Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar, 2007). Al respecto, Fulkerson *et al.* (1998) mencionan que, para tener un buen valor nutricional del forraje, su contenido de carbohidratos estructurales debe ser bajo y degradable; una cantidad alta de carbohidratos solubles y en balance con aminoácidos; la proteína con baja degradación en el rumen, e implica mayor proteína de sobrepaso, contenido de lípidos superior a 5 % de la materia seca y concentración de taninos inferior a 6 %. Estas condiciones no son fáciles de lograr en zonas tropicales.

Las pasturas de América tropical están establecidas, en su mayoría, en suelos caracterizados por su acidez y baja fertilidad (Canchila *et al.*, 2011). Además, el manejo inadecuado de las pasturas y, en muchos casos, la no utilización de germoplasma adaptado a esas condiciones, son los principales factores condicionantes de la baja productividad en estos ecosistemas (Nieuwenhyse, 2010).

4.2. Caracterización del género *Urochloa* spp. (sin. *Brachiaria* spp.).

La creciente disponibilidad de especies forrajeras de mayor adaptación y producción de forraje, ha permitido que el sector ganadero incremente progresivamente las áreas con pastos mejorados en sus sistemas de producción (Argel, 2006). Evaluaciones de gramíneas y leguminosas indican que se adaptan a diversas condiciones, y algunas especies del género *Urochloa* mostraron un alto potencial productivo en variados ecosistemas, por su capacidad de adaptación a suelos poco fértiles y el uso eficiente de los nutrientes (Canchila *et al.*, 2011).

Urochloa spp., como las demás especies de gramíneas, pertenece al reino *Cornubionta*; división *Magnoliophyta*; clase *Magnoliopsida*, subclase *Commelinidae*; orden *Poales*; familia *Poaceae*.

Estas especies en particular se encuentran en la subfamilia *Panicoideae*; tribu *Paniceae* (Olivera *et al.*, 2006).

4.2.1. Importancia

Urochloa es un género que contiene cerca de 100 especies distribuidas en todo el trópico, pero están principalmente en África. Los hábitat en las cuales crecen estas especies son variados (pantanos, bosques de sombra ligera y áreas semidesérticas), aunque el ambiente típico de la mayoría de ellas son las sabanas (Orozco *et al.*, 2012).

Dentro del género *Urochloa* están las especies más utilizadas como forrajeras en América tropical. Las variedades comerciales pertenecen a cuatro especies de origen africano: *U. brizantha* cv. Marandú, Toledo y La Libertad; *U. decumbens* cv. Basilisk; *U. humidicola* ex-*U. dictyoneura* cv. Humidicola y Llanero; y *U. ruziziensis* cv. Kennedy (Olivera *et al.* 2012). Las braquiarias de primera generación en México y Centroamérica liberadas a finales de la década de 1980 e inicios de la de 1990 son las de mayor impacto, y las de segunda generación (híbridos de *Urochloa* como pasto Mulato) en México representaron más del 6.5 % de las praderas permanentes establecidas durante el periodo 1990-2003, principalmente en sistemas de producción de doble propósito (Holnam *et al.*, 2004).

La adopción de una nueva tecnología en pastos dependerá de tener la capacidad de aportar un beneficio económico-biológico a las pasturas existentes en la región (Lascano y Spain, 1991), y esto solo se determinará mediante estudios que evalúen su comportamiento destacado en crecimiento, rendimiento, y contenido de nutrientes, en el medio de interés, específicamente, el trópico mexicano.

4.2.2. Morfofisiología

Las gramíneas del género *Urochloa* spp. se caracterizan por desarrollar tallos perennes que pueden alcanzar 1.2 m de longitud, con ramas ascendentes de 38 a 60 cm de altura, los cuales presentan facilidad de enraizamiento y producción de hijuelos en los nudos y un buen sistema radial con rizomas que emergen en nuevas plantas. Tallos erectos, delgados y duros, glabros. Internudos de 4 a 14 cm de longitud, que van de 6 a 8 en las ramas e indeterminados en los estolones (Orozco *et al.*, 2012). Las hojas pueden ser glabras o pilosas, planas, lanceoladas o lineares. Las vainas son abiertas, las lígulas de base cortamente membranáceas y de ápice largamente pestañoso (Morrone

y Zuloaga, 1992). Las hojas de los estolones más cortas y anchas, de 3 a 10 cm de largo y de 1.0 a 1.2 cm en su parte más ancha, vainas de los estolones más cortas de 3 a 7 cm de longitud de color verde-morado glabras o poco vellosas. Hoja bandera muy pequeña.

4.2.3. Adaptación edáfica

Las especies de braquiaria se adaptan a una amplia variedad de tipos de suelo, desde oxisoles y ultisoles (suelos ácidos de baja fertilidad) hasta alfisoles y mollisoles (suelos neutros de alta fertilidad). Su desempeño, comparado con otras gramíneas, es mejor en suelos ácidos (Paulino *et al.*, 1991).

La mayoría de las especies comerciales de braquiarias se adaptan a suelos de baja fertilidad del trópico. El desarrollo de muchos genotipos de pastos tolerantes al aluminio dio una gran contribución al incremento de la productividad de su biomasa en suelos ácidos (Orozco *et al.*, 2012). Algunos de los atributos que les permiten esa adaptación incluyen: mantener crecimiento radical a expensas del crecimiento de la parte aérea (Pérez y Lazcano, 1992), adquirir y usar ambas formas del nitrógeno, nitrato y amonio; obtener nitrógeno mediante fijación asociativa (Renvoize *et al.*, 1998), fósforo mediante sistemas radicales extensos y asociaciones con micorrizas vesículo-arbusculares (Foy, 1988), y calcio mediante raíces ampliamente ramificadas y con gran número de ápices radicales (Renvoize *et al.*, 1998).

4.2.4. Anatomía de hoja

Entre las gramíneas existen diferentes mecanismos de asimilación de CO₂, lo cual está asociado con el potencial de aprovechamiento de la humedad disponible. El potencial forrajero de estas especies está asociado con características anatómicas que les permiten adaptarse a condiciones ambientales diversas (Quero *et al.*, 2007). La anatomía foliar de las gramíneas presenta variaciones respecto a los tipos de tejidos como al porcentaje relativo de los mismos, lo cual justifica el estudio de los componentes anatómicos de la hoja, así como su proporción dentro del órgano (Tivano y Heinzen, 1996).

Las plantas forrajeras se pueden clasificar en función de su metabolismo fotosintético, en aquellas cuyos productos iniciales de la fotosíntesis son azúcares de tres carbonos (C₃) y las que producen compuestos de cuatro carbonos (C₄). La fotosíntesis C₄ es una adaptación de la vía C₃ que supera la limitación de la fotorrespiración, aumentando la eficiencia fotosintética y minimiza la pérdida

de agua en ambientes secos o de altas temperaturas o ambos (Lara *et al.*, 2010), mayor eficiencia en la capacidad de crecimiento y, de esta manera, menores contenidos en materias nitrogenadas respecto a las C₃ (Van Soest, 1994). Las plantas C₄ hacen uso más eficiente de la luz disponible en relación a aquellas especies C₃, en particular con temperaturas altas, por lo cual las plantas C₄ son exitosas en áreas con mucha incidencia luminosa, temperaturas altas, poca agua y bajos nutrientes (Kellogg, 2013). Las hojas de especies C₃ y C₄ tienen diferencias anatómicas y bioquímicas que determinan la calidad del forraje y su degradación durante la digestión del mismo, lo que se relaciona directamente con la productividad del rumiante (Heinzen *et al.*, 2002).

Las gramíneas tropicales con vía fotosintética C₄ presentan anatomía Kranz (Taiz y Zeiger, 2002) y en este tipo de estructura las células del parénquima clorofílico se disponen radialmente alrededor de los haces. Internamente a esa corona de células del mesófilo, se encuentra la vaina parenquimática del haz vascular (Fialho *et al.*, 2009). Las plantas C₄ poseen dos enzimas responsables de la fijación del CO₂ y, además del ciclo de Calvin y Benson que ocurre en todas las plantas superiores, poseen el ciclo de Hatch y Slack. Estas plantas no presentan fotorrespiración detectable y, por lo tanto, no desasimilan el CO₂ fijado. La enzima primaria de carboxilación es la PEP-carboxilasa ubicada en las células del mesófilo foliar y carboxiliza el CO₂ absorbido del aire vía estímulos en el ácido fosfoenolpirúvico y se forma el ácido oxaloacético (AOA). Este AOA se convierte en malato o aspartato, dependiendo de la especie vegetal, y por difusión es transportado a las células de la vaina vascular de las hojas, donde son descarboxilados y liberan al medio el CO₂ y el ácido pirúvico. Este CO₂ liberado es fijado de nuevo por la enzima ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa-oxigenasa, y ocurre el ciclo de Calvin y Benson. El ácido pirúvico, por difusión, retorna a las células del mesófilo donde es fosforilado, consume 2 ATP, regenera la enzima PEP-carboxilasa y se reanuda el ciclo (Fialho *et al.*, 2009). Dentro de las plantas C₄ se hace una segunda clasificación de acuerdo con el tipo primario de descarboxilasa ácida utilizada en la fotosíntesis C₄, y se agrupan en: NADP-ME (enzima NADP-málica), NAD-ME (enzima NAD-málica) y PEP-CK (PEP carboxiquinasa), de donde *Poaceae* es la única familia que tiene especies C₄ tipo PEP-CK (Edwards *et al.*, 2004), y dentro de las PEP-CK se encuentran todas las braquiarias (Orozco *et al.*, 2012).

La proporción de los distintos tejidos que conforman la hoja tiene relación estrecha con su aprovechamiento en el rumen, y causa un efecto positivo o negativo en la calidad forrajera de la especie, lo cual otorga importancia al estudio de la anatomía cuantitativa foliar. Las células de la

vaina tienen paredes gruesas y resistencia relativa a la degradación por los microorganismos del rumen (Heinzen *et al.*, 2002). El envejecimiento de las hojas provoca pequeños cambios en su estructura cuando se cosecha a intervalos mayores a una semana e influye en la calidad del forraje (Moharrery *et al.*, 2009). Wilson (1990), Melo y Boetto (1993), Brito *et al.* (1999), clasificaron los tejidos foliares de gramíneas de acuerdo con su facilidad de aprovechamiento en: mesófilo y floema con degradación rápida; epidermis y vaina parenquimática del haz con degradación lenta; esclerénquima tiene degradación lenta o no se degrada; cutícula y xilema no se degradan.

4.3. Híbridos de segunda generación

Hasta 2001, los cultivares de *Urochloa* spp. utilizados comercialmente se obtuvieron sin modificación genética directa del germoplasma natural recolectado en África o seleccionados de colecciones de germoplasma en Australia y América tropical (Pizarro *et al.*, 2013). Sin embargo, el desarrollo en Bélgica de una gramínea ruzi sexual tetraploidizada (*B. ruziziensis*; Swenne *et al.*, 1981) y estudios de Ndikumana (1985) y Valle *et al.* (1994), llevaron a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria) a proporcionar pasto ruzi tetraploide y sexual al CIAT en 1988. El Grupo Papalotla, en 2001, obtuvo los derechos exclusivos en todo el mundo para producir, investigar y comercializar la primera generación de híbridos de braquiaria desarrollados por el CIAT durante el periodo 2001-2010 (Pizarro *et al.*, 2013).

En México, las evaluaciones de las colecciones híbridas de braquiaria comenzaron en 2005 en Santa Elena, Oaxaca, en suelos arenosos, pH de 5.6 y bajo contenido de materia orgánica, N y P (Pizarro *et al.*, 2013). Hasta 2013 se habían estudiado 15 líneas de BRO2, 38 líneas de BRO5, 28 líneas de BRO6 y 74 líneas de BRO9. Dentro de las líneas BRO2 se seleccionaron cuatro líneas (1718, 0465, 1752 y 1794) de los estudios de México y Tailandia, y se les concedieron derechos de variedades vegetales. Pruebas adicionales con BRO2/1752 mostraron una tolerancia superior al encharcamiento, en comparación con las líneas Mulato II y 38 BRO6. Finalmente se lanzó como cultivar Cayman o Yacaré (Pizarro *et al.*, 2013).

4.3.1. Yacaré (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BR02/1752)

El pasto Yacaré, o pasto Cayman en centro y Sudamérica, es el tercer híbrido puesto a la venta por el Grupo Papalotla, proviene de una generación de híbridos desarrollados por el Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT), evaluado y seleccionado por el Centro de Investigación de Pastos tropicales (CIPAT) (Pizarro, 2012).

Yacaré es una cruce intraespecífica de *Urochloa ruziziensis*, *U. brizantha* y *U. decumbens*, se desarrolló en el CIAT, Colombia, con el propósito de encontrar resistencia al ataque de la mosca pinta o salivazo (*Aenolamia* spp., *Desmois* spp., *Mahanarva* spp.) que tiene un efecto fuerte en algunas especies del género *Urochloa* (Enríquez *et al.*, 2015). El híbrido Yacaré BR02/1752 es un clon apomíctico que resulta de la cruce de un clon asexual identificado como SX00NO/1145 seleccionado del cuarto ciclo de una población sexualmente reproductiva, tetraploide, con un banco de semillas de *U. brizantha* CIAT 16320 apomíctica (Pizarro, 2012).

Las hojas de Yacaré son lanceoladas de 3.8 cm de ancho y color verde intenso, con abundante pubescencia en ambos lados de la lámina y lígula membranosa (Enríquez *et al.*, 2015). Los tallos son cilíndricos, de 55 y 80 cm de longitud, pubescentes y vigorosos, algunos con hábito de crecimiento amacollado semi-decumbente capaces de enraizar cuando entran en contacto con el suelo. Posee un sistema radical profundo y ramificado que otorga una resistencia excelente a condiciones de sequía (Pizarro, 2010); además, Yacaré exhibe muchas de las cualidades de Mulato II, y la tolerancia excelente al encharcamiento agrega una dimensión nueva a la colección híbrida de braquiaria (Pizarro *et al.*, 2013). Yacaré posee ventajas como un gran porcentaje de cobertura del suelo y, según Pizarro (2012), posee 83 % de cobertura. Además, presenta una producción de forraje acumulado de 15 t MS ha⁻¹ cada 10 semanas durante de la temporada de lluvia de Oaxaca, México (Pizarro *et al.*, 2013).

4.3.2. Cobra (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BR02/1794)

El pasto *Urochloa* híbrido cv. CIAT BR02/1794 es un nuevo híbrido del género *Urochloa*, producto de la cruce de *U. ruziziensis*, *U. decumbens* y *U. brizantha* (Pizarro *et al.*, 2013), de crecimiento erecto, amacollado, con cepas bien definidas, hojas y tallos color verde intenso, ambos con presencia de tricomas, las inflorescencias presentan en promedio cuatro ramas por panícula, los estigmas de color púrpura son la principal característica que lo diferencia de híbridos como cv. Mulato II y cv. Cayman, y se le atribuye una gran producción de materia fresca y seca en intervalos cortos de tiempo (Grupo Papalotla).

Suchini¹ (2015) menciona que Cobra es especial para utilizarlo en sistemas intensivos; además, observó que la siembra directa de plántulas asegura buena densidad de siembra generando mejor respuesta a la fertilización y al riego, y se manifiesta en una mayor proporción de hojas respecto al tallo, factores que mejoran la apetencia y digestibilidad en rumiantes. Grupo Papalotla lo recomienda por su alta producción de MS en sistemas intensivos de corte, produce forraje de mucha calidad y destacada su digestibilidad (69 %). En pruebas desarrolladas en el Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT), México, y en Costa Rica, Cobra produjo más materia seca cuando se realizaron cortes entre 30 a 45 d, y superó al sorgo forrajero, maralfalfa y Mulato II, con tasas de crecimiento superiores a lo reportado en sorgo y maralfalfa.

Mejía *et al.* (2018) evaluaron fertilización nitrogenada (0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹) en el híbrido cv. CIAT BR02/1794 a los 30, 60 y 90 d de edad, y encontraron que las dosis de fertilizante no causaron diferencias significativas en el rendimiento de MV, MS, PT y FDA a los 30 y 90 d, pero a los 60 d el mejor rendimiento fue con 100 y 150 kg ha⁻¹ de N para MV, 0 kg ha⁻¹ para MS, 100 y 150 kg ha⁻¹ para PT y 0 kg ha⁻¹ para FDN.

4.3.3. H-1 (*Urochloa* híbrido)

El híbrido H-1 utilizado en esta investigación se creó durante el periodo 1994-1996 por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Colegio de Postgraduados en el “Campo Experimental Papaloapan” de INIFAP, municipio de Isla, Veracruz, pero aún no se registra su denominación específica.

El proceso que llevó a su formación fue: macetas con macollos individuales sexuales tetraploides de *U. ruziziensis* se colocaron en una parcela de *U. brizantha* CIAT 6780 apomíctica, como polinizador; las macetas se distribuyeron en 2 ha, aprovechando el sistema de autoincompatibilidad gametofítica presente en individuos sexuales poliploides de *U. ruziziensis*. Después de siete días en la pradera ocurrió la floración femenina en *U. ruziziensis*, las macetas se retiraron y se colocaron en invernadero y la semilla producida se cosechó a mano desde las macetas. De la cruce entre *U. ruziziensis* (progenitor sexual femenino, tetraploide) y *U. brizantha* (progenitor masculino

¹ Suchini, M. R. E. 2015. Establecimiento y evaluación de parámetros productivos y agronómicos del pasto Cobra (*Brachiaria* híbrido cv. CIAT BR02/1794) bajo condiciones del trópico seco. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.

apomítico), se obtuvo semilla durante dos años consecutivos. La semilla obtenida se limpió manualmente, se germinó durante 1997-1998 y se cultivó en el campo de 1998 a 1999. De estos cultivos se obtuvo semilla y en julio de 2015 se estableció en el área experimental del “Campo Experimental La Posta” de INIFAP, municipio Medellín de Bravo, Veracruz, lugar donde se realizó esta investigación (Sánchez, 2006²).

4.4. Factores a considerar en el uso de *Urochloa* spp.

4.4.1. Condiciones edafoclimáticas

La radiación solar es un elemento climático que tiene relación estrecha con procesos fisiológicos fundamentales vinculados al crecimiento y los cambios morfológicos que experimentan los forrajes a través de su desarrollo. La radiación solar ejerce su influencia en otros procesos metabólicos de la planta que inciden en su producción y composición química, ya sea por cambios en la intensidad o en la calidad de la luz. El aumento en la intensidad de la luz favorece los procesos de síntesis y acumulación de carbohidratos solubles en la planta, mostrando un comportamiento inverso con el resto de los constituyentes solubles y estructurales, siempre que otros factores no sean limitantes (Del Pozo, 2002).

En *U. humidicola* (Rendle) Schweick, *C. dactylon* (L.) Pers., *C. plectostachyus* (K. Schum.) Pilger y *P. maximum* Jacq, cv. Makueni, Tergar *et al.* (1988), observaron una disminución significativa en el rendimiento de biomasa durante días cortos diciembre y enero, en las regiones montañosas de Puerto Rico. Los días cortos del período invernal, unido a la baja intensidad de radiación, son una de las causas fundamentales de la disminución de la productividad de los pastizales, cuyo comportamiento es variable y depende de la especie de pasto (Del Pozo, 2002).

Baruch y Fisher (1991) observaron que en gramíneas tropicales, la temperatura para el óptimo fotosintético es 35 a 39 °C y en las leguminosas 30 a 35 °C, con alta sensibilidad a bajas temperaturas cuyos efectos negativos en el crecimiento ocurren entre 0 y 15 °C y en algunas especies a 20 °C, lo cual genera baja conversión de azúcares en los tejidos como producto de la disminución de los procesos de biosíntesis, y por un déficit energético debido a la reducción en la tasa respiratoria.

² Sánchez, H. M. 2006. Morfología y potencial forrajero de híbridos interespecíficos del género *Brachiaria*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. 84 p.

Un mecanismo estructural utilizado por los pastos para reducir el efecto de estrés por altas temperaturas es el aumento del contenido de la pared celular, fundamentalmente lignina, lo que reduce su digestibilidad y calidad (Del Pozo, 2002). Wilson *et al.* (1991) indican el efecto del aumento de la temperatura en el contenido de componentes estructurales y digestibilidad en hojas y tallos de *Cynodon dactylon*, *P. máximum* var. *trichoglume*, *Panicum laxaum*, *Lolium perenne* L. y *Medicago sativa* L., y la reducción en la digestibilidad de la materia orgánica y de la pared celular estuvo asociado con el aumento en la lignificación de sus tejidos.

El exceso y déficit de lluvias pueden provocar estrés en los cultivos forrajeros. El déficit de agua ocurre en suelos mal drenados o en regiones donde las precipitaciones superan la capacidad de retención de agua del suelo durante todo el año. Su efecto fundamental radica en que causa anoxia en las raíces, afectando su respiración aeróbica y la absorción de minerales y agua, y en especies no tolerantes disminuye la asimilación y traslocación del carbono, produciendo cambios metabólicos que activan la respiración anaeróbica e implica una menor eficiencia energética y bioproduktividad en los forrajes (Baruch, 1994).

El crecimiento de los pastos es función de la humedad disponible en el suelo y ésta a su vez varía según la cantidad y distribución de las precipitaciones, estructura y pendiente del suelo, valores de radiación y temperatura, así como del área cubierta por la vegetación.

4.4.2. Crecimiento y rendimiento

El conocimiento de la naturaleza del proceso del crecimiento es pieza clave para conocer el potencial y las limitaciones de plantas forrajeras en cualquier situación de manejo (Pérez *et al.*, 2004). El análisis de crecimiento vegetal es una herramienta de gran valor para conocer la formación y acumulación de biomasa. El estudio del origen y desarrollo de un organismo y sus sistemas y órganos, transformaciones que determinan la producción y cambios en la forma y estructura vegetal, en el espacio y tiempo, se define como morfogénesis (Chapman y Lemaire, 1993). En las plantas forrajeras de clima tropical la morfogénesis se puede describir por cuatro características básicas: tasa de aparición de hojas, elongación foliar, duración de vida de las hojas (Pérez *et al.*, 2002) y elongación del tallo (Cruz y Boval, 2000).

Durante el desarrollo de los pastos, el tejido foliar en cada tallo se produce en secuencia como una cadena de fitómeros, considerados unidades básicas de desarrollo de las gramíneas, constituidos de lámina, vaina foliar, lígula, nudo, entrenudo y yema axilar (Gomide y Gomide, 2000). Cada

fitómero sigue una serie pre-programada de estadios de desarrollo, desde la aparición de primordios foliares en el meristemo apical hasta la maduración y senescencia ontogénica (Lemaire y Agnusdei, 2000). Este proceso determina la dinámica de flujo de tejidos, cuyo estudio por medio de las características morfogénicas es una herramienta importante para la evaluación de la dinámica de crecimiento de las plantas forrajeras (Neto *et al.*, 2002). Esto permite describir la curva de producción y acumulación de forraje, estimar su calidad, realizar recomendaciones prácticas de manejo que permitan aumentar la eficiencia de utilización del forraje producido, reducir las pérdidas de biomasa por senescencia y muerte de hojas e incrementar la productividad de las praderas (Ramírez *et al.*, 2010).

Debido a que las hojas se asocian con la calidad de la planta completa, es importante determinar el momento de corte en el cual hay una mayor cantidad, y de esta forma los productores podrán decidir si la cosecha está en una etapa de madurez temprana o retrasar la cosecha, según las necesidades del productor, ya sea, menor rendimiento con mayor calidad o mayor rendimiento con menor calidad (Wilson *et al.*, 2017).

En el desarrollo de una pradera los tallos continuamente emergen, crecen y mueren en tasas que difieren según las condiciones ambientales, estado de desarrollo y manejo. En este balance hay una influencia fuerte de las prácticas de manejo, en especial la frecuencia e intensidad de defoliación (Pérez *et al.*, 2002). Al respecto Barth *et al.* (2013) informan que al aumentar el intervalo entre el pastoreo o cortes, el rendimiento del forraje aumenta con menor contribución de hojas y mayor acumulación de tallos y material senescente, lo cual afecta el valor nutritivo del forraje.

4.4.3. Pastoreo y edad de rebrote

El crecimiento y calidad de los pastos puede variar considerablemente de acuerdo con el manejo, con efectos favorables o no, dependiendo de la especie vegetal y condiciones edafoclimáticas donde se desarrollan. Al respecto, destacan la altura de corte o pastoreo, carga animal y tiempo de pastoreo. Factores ambientales y de manejo determinan las características morfogénicas de las plantas, y su estudio permite entender el flujo de tejidos y la producción individual de los tallos, durante un período de rebrote (Ramírez *et al.*, 2010).

La utilización eficiente de la pradera se fundamenta en su manejo, lo cual requiere conocer la fenología vegetal para aprovecharla en el momento en el cual tiene mayor contenido de nutrientes

y, a la vez, suficientes reservas de carbohidratos solubles en las coronas para sobreponerse a la defoliación causada por el pastoreo y continuar con un nuevo ciclo de crecimiento (Villalobos y Sánchez, 2010). En condiciones de pastoreo, la dinámica de crecimiento no solo depende del suministro de nutrientes y de variaciones de clima, sino de la acción de los rumiantes en el pastoreo, con respuestas morfológicas y fisiológicas variables, que dependen del hábito de crecimiento de la planta, del mecanismos de propagación y persistencia y del sistema de manejo de pastoreo (Rodríguez y Avilés, 1997). Mediante el pastoreo los rumiantes imponen heterogeneidad a la vegetación y modifican la estructura de pastos, aprovechando su heterogeneidad por pastoreo selectivo, lo cual les permite consumir forraje de mayor calidad respecto al promedio (Carvalho *et al.*, 2009). Estas interacciones definen la productividad de las plantas y los rumiantes en los sistemas basados en pasturas (Provenza *et al.*, 2015).

La estacionalidad en la producción de forraje y la variación en su valor nutritivo son factores que limitan la producción del rumiante en pastoreo. El manejo eficiente de las especies forrajeras es primordial para mantener una alta productividad y calidad del forraje, sin propiciar el deterioro de la pradera (Cruz *et al.*, 2011). En los pastizales, la intensificación a menudo promueve la uniformidad de la cosecha bajo el objetivo erróneo de “pastar para evitar el desperdicio de forraje”. Esta práctica en realidad restringe el comportamiento selectivo de los rumiantes (Carvalho, 2013).

En la utilización de los pastos y forrajes, la altura y el momento de la cosecha son elementos básicos de su manejo, por su influencia en su comportamiento morfofisiológico y productivo. En pastoreos intensivos de pasturas asociadas se debe considerar que los rebrotes emergen según la severidad de la defoliación previa (pastoreo). Al respecto, Palhano *et al.* (2005) mencionan que la proporción de hojas jóvenes en el remanente de las plantas recién pastoreadas posibilita el alcance del potencial fotosintético de la pradera. La pradera es un ente dinámico que requiere un manejo estratégico para mantener y aumentar la producción del rumiante. Lo ideal es retirar los rumiantes del lote dejando una proporción tal de hojas jóvenes y activas que permitan la rápida recuperación de la actividad fotosintética y el movimiento adecuado de carbohidratos de reserva desde la raíz (Rincón *et al.*, 2008). El rebrote tiene tres etapas: 1) un crecimiento exponencial en la masa de forraje, relacionado con un aumento en la tasa de acumulación de forraje, resultado de las reservas orgánicas de la planta y área residual de la hoja después del corte; 2) un aumento lineal en la masa de forraje (tasa constante de acumulación de forraje); y 3) reducción de la tasa de acumulación de

forraje debido a una mayor tasa de senescencia con respecto al crecimiento de la hoja y el sombreado severo en zonas cercanas al suelo (Da Silva *et al.*, 2015).

La intensidad de cosecha está asociada con la cantidad de forraje residual y yemas remanentes, las cuales tienen un efecto directo en la velocidad de rebrote que depende de la cantidad y tipo de tejido removido, del estado fenológico de la planta y de las condiciones meteorológicas prevalecientes al momento de realizarse (Richards, 1993). El aumento de la edad de rebrote provoca cambios significativos en los componentes solubles, estructurales y la digestibilidad de los pastos, por lo cual su valor nutritivo disminuye con el avance de la edad, y la tasa de reducción es mayor en las gramíneas respecto a las leguminosas (Cerdas y Vallejos, 2012). Además, Vega *et al.* (2006) y Ramírez *et al.* (2009) consideran que la edad de rebrote es uno de los factores de mayor influencia en el crecimiento y la calidad de los pastos, a medida que se prolonga la edad de rebrote se logran rendimientos de materia seca superiores, con deterioro de la calidad; esto indica que defoliaciones frecuentes son a menudo más deseables para utilizar pastos de mayor valor nutritivo. Ribeiro *et al.* (2001), en *C. dactylon* var. Tifton-85 a diferentes edades de rebrote, encontraron que la tasa de degradación de carbohidratos disponibles fue de 4.0 a 4.6 % h⁻¹ con valores más bajos para plantas de mayor edad fisiológica. Barbosa *et al.* (2007) informan que la altura residual que favorece el aprovechamiento eficiente de Tanzania es de 25 a 50 cm, con frecuencias de cosecha cuando la intersección de la luz solar por el dosel sea 95 %; mientras que Difante *et al.* (2011) encontraron que realizar cortes cuando el pseudotallo presenta tres a cuatro hojas con altura residual de 25 cm, requiere menos tiempo para la recuperación del pasto Marandú. Marcelino *et al.* (2006) observaron que al incrementar el intervalo de defoliación, aumenta la población de tallos y material senescente, lo cual lleva a un bajo valor nutritivo del pasto. Al respecto, Hernández *et al.* (2002) señalaron que los pastos defoliados en forma frecuente y grave tienen plantas con una mayor tasa de rebrote y número de hojas jóvenes, lo cual favorece un alto contenido de proteína total y digestibilidad de la materia seca, con menor concentración de FDN y FDA. Además, Buxton y Redfearn (1997) indicaron que el esclerénquima y tejido vascular se digieren muy lentamente porque contienen lignina que evita la degradación de tejidos y la proporción de estos tejidos aumenta, en especial durante la senescencia.

En estudios del híbrido *Urochloa* híbrido 36061 cv. Mulato, Inyang *et al.* (2010) reportaron concentraciones de proteína total de 9 a 17 % con DIVMS de 55 a 62 %, mientras que Argel (2006)

encontró rendimientos de 10 a 25 t MS ha⁻¹ año⁻¹. Además, hay amplias diferencias en el contenido de proteína total entre especies (Vega *et al.*, 2006), edades fisiológicas y manejo y por efecto de la disponibilidad hídrica del suelo (Combatt *et al.*, 2015). Santana *et al.* (2010) reportan 8.6 y 8.7 % de proteína total en Napier (*Pennisetum purpureum* Schum) en rebrotes de 25 y 32 d y destacan la importancia de la frecuencia e intensidad de la cosecha de la pradera, que determina la producción de forraje y la persistencia de la pastura (Hernández *et al.*, 2002).

4.4.4. Degradación ruminal

La digestión de los rumiantes es un proceso complejo que involucra interacciones entre la dieta, microorganismos ruminales y el rumiante. Cuando el alimento llega al rumen, se inicia un proceso fermentativo generado por microorganismos y, conforme pasa el tiempo, una cantidad menor de material es hidratado y colonizado por los microorganismos ruminales, lo cual origina diferentes tasas de degradación según la concentración de carbohidratos estructurales, contenido de lignina y madurez de la planta (Rosero y Posada, 2007).

La mayoría de las forrajeras tropicales presentan un porcentaje alto de pared celular y contenido celular bajo. El contenido celular, representado por la fracción soluble, tiene 100 % de degradación potencial. La pared celular, constituida por la fracción insoluble, presenta un potencial de degradación menor y resiste la actividad enzimática del tracto gastrointestinal de rumiantes. Las láminas foliares de gramíneas C₃ presentan mayor digestibilidad de tejidos en comparación con aquellas de especies C₄ y lo anterior debe a que las primeras tienen mayor número de células del mesófilo (Arellano-Cueto *et al.*, 2017). Estas diferencias en degradación se deben a que en especies C₄ las hojas contienen mayor cantidad de fibras y tejidos lignificados respecto a las especies C₃ (Akin y Burdick, 1975). Sin embargo, debido a la presencia de microorganismos, los carbohidratos estructurales en la pared celular se pueden degradar en el rumen (Rodrigues *et al.*, 2004).

La técnica *in situ* permite estudiar la degradación ruminal de los alimentos a través de la utilización de sacos de nylon suspendidos en el rumen, y es el método estándar para caracterizar la degradación ruminal de nutrientes nitrogenados (AFRC, 1992). Este método también se puede usar para describir características de degradación en componentes estructurales del forraje (Rosero y Posada, 2007). En el trópico húmedo de Veracruz, en la temporada de lluvia Ortega *et al.* (2011) evaluaron 10 gramíneas a las nueve semanas de rebrote y encontraron 67.5 y 60.9 % de degradación *in situ* para los cultivares Mulato y Mombaza, respectivamente.

Los carbohidratos son la mayor proporción de nutrientes en la dieta de rumiantes y la fuente más alta de energía para las bacterias. En el análisis de cinética de degradación el forraje, ésta se puede tratar como un simple agregado que se digiere a una tasa fraccional en el tiempo o como múltiples agregados, cada uno de los cuales tiene una tasa característica de digestión (Sánchez *et al.*, 2005). Ésta simula apropiadamente la fermentación de carbohidratos en rumen porque fracciones de carbohidratos, como fibra y los no estructurales, se digieren a tasas diferentes (Schofield, 2000).

La fibra engloba compuestos (glucanos, ramnogalacturanos, arabinanos, arabinogalactanos, glucomananos, galactoglucomananos, xylanos, glucuronomanos, ácidos fenólicos y lignina), y dentro de estos, la lignina es el único compuesto totalmente indigestible en el tracto digestivo del rumiante, puesto que su digestión necesita la presencia de oxígeno (Bach y Calsamiglia, 2006).

La tasa de degradación de carbohidratos y proteínas en el rumen es el principal factor que controla la disponibilidad de nutrientes energéticos y nitrogenados para el crecimiento microbiano (Rotger *et al.*, 2006). Al respecto, Hoffman *et al.* (2007) mencionan que las vacas lecheras en lactancia consumirán más MS y producirán más leche cuando se alimentan con forrajes con una digestibilidad mayor de la FDN. En los sistemas para calcular los requerimientos de proteína para rumiantes se destaca la importancia de la proteína en rumen, como el factor principal que determina la proteína absorbida en intestino delgado (NRC, 2001). Es muy difícil obtener valores de degradación absoluta de la fuente de proteína de la dieta total (Stern y Satter, 1984), por lo cual, es más realista determinar valores de proteína degradada y no degradada en el rumen.

Ayres *et al.* (1998), indicaron que la degradación de proteína en trébol blanco disminuye con la madurez. Tremblay *et al.* (2000) analizaron diferencias genéticas entre 27 cultivares de alfalfa para rendimiento de MS, concentración de proteína ruminal no degradable y tasa de degradación de proteína, encontraron poca variación genética entre cultivares para estas variables y concluyeron que es factible combinar un rendimiento alto de MS con una tasa baja de degradación de proteína.

En el desarrollo vegetal hacia la maduración ocurre una disminución drástica del contenido proteico y un aumento del contenido de fibra asociado al incremento en el contenido de lignina. La lignina es un polímero de alcoholes de hidroxicinamil totalmente indigestible en el rumiante; además, forma una barrera que impide la adherencia microbiana e hidrólisis enzimática de celulosa y hemicelulosa, lo cual limita el acceso a carbohidratos estructurales potencialmente degradables, disminuye la digestibilidad de fibra, y la calidad y aprovechamiento del forraje (Rodrigues *et al.*,

2004). En efecto, la relativa hidrofobicidad de la lignina reduce la permeabilidad de la pared celular; lo cual obstaculiza su degradación por agentes biológicos (Revollo *et al.*, 2012). Al respecto, Grilli *et al.* (2015) mencionaron que, dentro de los componentes de la fibra vegetal, la correlación entre contenido de lignina detergente ácido (LAD) en la pared celular de diferentes especies forrajeras y los porcentajes de degradación y utilización de hemicelulosa, impediría la degradación y utilización de la hemicelulosa presente en la pared celular. La lignina y la fibra detergente ácido (FDA) se han usado para estimar la digestibilidad potencial de la FDN y total del forraje. Sin embargo Hoffman *et al.* (2007) han demostrado que FDA y lignina no consideran todas las variaciones en la digestibilidad de la FDN o del forraje.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área del estudio en campo

5.1.1. Ubicación

El experimento inicial se realizó en el campo experimental La Posta, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicada en el km 22.5 de la Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, Medellín de Bravo, Veracruz, a 10 msnm y 19°03'75" N y 96°13'74" O.

5.1.2. Clima

La Posta se encuentra dentro de la región hidrológica del Papaloapan, un ecosistema dominado por bosque perennifolio con encinos, clima cálido subhúmedo, lluvias en verano, variaciones en temperatura de 24-28 °C, humedad relativa 31-69 % y precipitación anual de 1,100-1,600 mm (INEGI, 2009).

5.1.3. Geología y edafología

Esta zona tiene roca sedimentaria compuesta por arenisca-conglomerado (9 %), y suelo de origen aluvial (84 %), lacustre (3 %) y eólico (1 %). El tipo de suelo dominante es vertisol (95 %) y gleysol (2 %), de textura franco-arcillosa, con drenaje regular y buena fertilidad (INEGI, 2009).

5.2. Establecimiento del experimento

Tres híbridos del género *Urochloa* spp se usaron en el experimento: Yacaré (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BR02/1752), Cobra (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BR02/1794) y un tercero con la denominación H-1, los dos primeros son distribuidos y comercializados por Semillas Papalotla S.A. de C.V. Los híbridos se establecieron mediante semilla, esparcida al voleo, con densidad de 5 kg ha⁻¹ en parcelas de 11.52 m² (4.8 x 2.4 m) en el campo experimental La Posta, en julio del 2015.

Cada parcela se dividió en 12 unidades experimentales (UE) de 0.96 m² cada una (1.2 x 0.8 m), donde se distribuyeron al azar las edades de rebrote y cuatro repeticiones por edad (Figura 1).

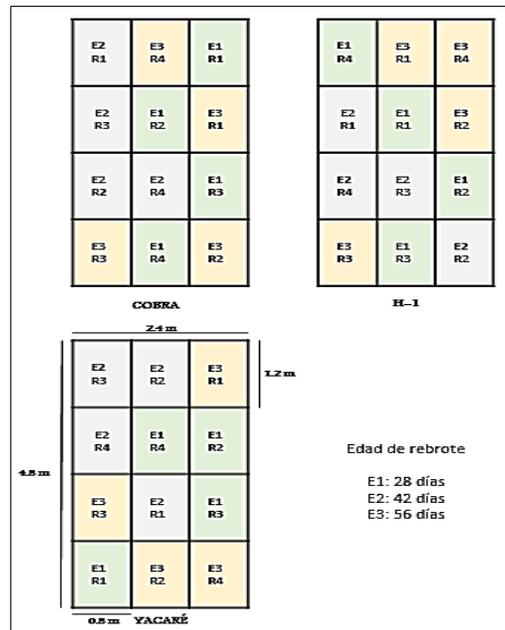


Figura 1. Ubicación y distribución de los híbridos, edades de rebrote y repeticiones del experimento.

El experimento duró 56 d (8 de septiembre a 4 de noviembre, 2017) e inició con un corte de uniformización con desbrozadora, y se dejó un material residual de 15 cm de altura (Hernández *et al.*, 2002). Los muestreos y mediciones se realizaron a 28, 42 y 56 d de rebrote (6 y 20 de octubre; 3 de noviembre, respectivamente). No se fertilizó, regó, ni se hicieron labores de cultivo durante el periodo experimental.

5.3. Variables evaluadas

Un transecto de 1 m por unidad experimental se estableció para seleccionar aleatoriamente e identificar cinco tallos con anillos de colores; en los cuales, se realizaron mediciones semanales durante 56 d. En los tallos marcados se midió longitud de pseudotallo, altura de rebrote, número y dimensión de láminas foliares.

5.3.1. Altura del rebrote

La altura de rebrote se midió desde la base (suelo) hasta el punto más alto de la planta y se restaron los 15 cm iniciales.

5.3.2. Crecimiento del pseudotallo

El crecimiento de pseudotallo se evaluó midiendo longitud y ancho. La longitud fue la distancia entre la base del rebrote y la lígula de la última hoja superior expandida. El ancho se midió en la región media del pseudotallo.

5.3.2.1. Tasa de elongación de pseudotallo (TEP)

La TEP ($\text{cm pseudotallo}^{-1} \text{d}^{-1}$) se obtuvo por la diferencia entre la longitud final (LP_f) y la longitud inicial (LP_i), dividido entre el número de días (ND), entre mediciones sucesivas (Santos *et al.*, 2004).

$$TEP = (LP_f - LP_i) / ND$$

5.3.3. Crecimiento de hoja

Para este crecimiento se registró número, longitud y ancho de láminas foliares fotosintéticamente activas. La longitud de lámina fue la distancia desde la lígula al ápice, o, en hojas senescentes, a la base del tejido senescente, y el ancho fue la distancia entre bordes laterales de la zona media de la lámina. Las mediciones se realizaron con flexómetro y vernier digital “Absolute” Mitutoyo modelo 500-197-30 (Kawasaki, Japón), y después se hicieron las siguientes determinaciones.

5.3.3.1. Tasa de aparición de hoja (TAH)

La TAH ($\text{hojas pseudotallo}^{-1} \text{d}^{-1}$) se obtuvo por la diferencia entre el número total de hojas al final del intervalo de corte (NH_f), menos el número inicial de hojas (NH_i), dividido entre el número de días (ND), transcurridos entre mediciones sucesivas (Alexandrino *et al.*, 2004).

$$TAH = (NH_f - NH_i) / ND$$

5.3.3.2. Tasa de elongación de hoja (TEF)

La TEF (cm hoja⁻¹ d⁻¹), se calculó para hojas en expansión, como la diferencia entre la sumatoria de las longitudes de las láminas foliares final (LF_f) e inicial (LF_i), dividida entre el número de días (ND), entre mediciones sucesivas (Hernández-Garay *et al.*, 1997).

$$TEF = (LF_f - LF_i) / ND$$

5.3.4. Producción de biomasa

La producción de biomasa a 28, 42 y 56 d de rebrote se obtuvo en base húmeda o materia verde (MV), para lo cual se cortó con tijeras todo el forraje presente en la UE y quedó una altura residual de 15 cm. El peso de la biomasa cosechada se midió con una balanza electrónica portátil Scout[®] Pro modelo SP2001 se registró y se calculó el rendimiento (kg ha⁻¹).

Después, el material cosechado se secó hasta peso constante en una estufa de aire forzado a 55 °C y, por diferencia, se obtuvo el rendimiento de MS (kg ha⁻¹).

5.3.4.1. Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento promedio (TC) se calculó al dividir el forraje cosechado (FC, kg MS ha⁻¹) entre el número de días (t) transcurridos entre pastoreos o defoliaciones (Hernández *et al.*, 2002).

$$TC = FC / t$$

5.3.5. Análisis químico

Este análisis se realizó en el laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Texcoco, México. Después de secar, una parte de las muestras se molieron (molino modelo 4, Wiley Mill) utilizando cribas de 1 mm de diámetro y se identificaron para su almacenamiento en envases cerrados, a temperatura ambiente, hasta el momento de efectuar los análisis en laboratorio.

La determinación se realizó de la siguiente forma: MS total fue mediante secado en estufa a 65 °C por 48 h; contenido de proteína total (PT) por micro Kjeldahl; contenido de extracto etéreo (EE) y cenizas totales (CT) con la metodología de AOAC (1995); fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) con la metodología de Goering y Van Soest (1970), Van Soest *et al.* (1991), y modificaciones para bolsas filtrantes (F-57 ANKOM[®] Technology) y uso del analizador semiautomático de fibras (ANKOM[®] Fiber Analyzer A200, ANKOM[®] Technology), señaladas en

los métodos seis y cinco para FDN y FDA, respectivamente (ANKOM[®], 2017); lignina detergente ácida (LDA) en un equipo Daisy de ANKOM[®] Technology (ANKOM[®], 2010).

5.3.6. Tinción histoquímica de lignina en hoja del híbrido H-1

En el campo se seleccionaron y marcaron al azar cinco tallos por UE (repetición) del híbrido H-1, en los cuales se midió y registró cada semana longitud de hoja, y en la semana cuatro, seis y ocho de rebrote, y se calcularon los promedios de hojas presentes para seleccionar una hoja representativa de la UE (cuatro por edad).

En la hoja representativa se cortó un fragmento de 2 cm de la parte media y se fijó en FAA [10 % formalina (37 % formaldehído), 5 % ácido acético glacial, 50 % etanol (95 %) y 35 % agua (Bernal-Flores *et al.*, 2017)] por 48 h. Después, los tejidos se lavaron con agua y se colocaron en etanol al 50 %. En cada fragmento se hicieron cortes transversales (100 μm) con un microtomo manual (R. Jung. AG-Heidelberg, Alemania) y se tiñeron con floroglucinol (2 % en etanol al 96 %) y HCl (50%) según Krishnamurthy (1999), donde el color rojo indicó la presencia de lignina.

5.3.6.1. Identificación y descripción de componentes anatómicos en corte transversal

Para identificar los principales componentes histológicos de la hoja en corte transversal, las muestras se observaron en un fotomicroscopio Axiostar Plus (Cari Zeiss, Alemania). Para determinar área de hoja, en corte transversal, se midió el ancho de hoja con un vernier digital “Absolute” Mitutoyo modelo 500-197-30 (Kawasaki, Japón), así como el grosor de la hoja en tres puntos desde la vena media (nervadura central) hacia el margen de la lámina (primer, tercer y quinto haz secundario). En las hojas se identificó la vena media, mesófilo, haces vasculares, vaina del haz vascular y su extensión, floema, xilema, células buliformes, epidermis y tejido lignificado de xilema y esclerénquima. Las imágenes se capturaron con cámara digital CyberShot Modelo DSC-S85 (Sony, Japón) y se segmentaron con el programa GIMP versión 2.8.8 (<https://www.gimp.org>). El área total y lignificada (μm^2) de estos tejidos y la hoja, en corte transversal, se midieron y después se expresó como área relativa (%) respecto al área de la hoja en corte transversal (Zavaleta y Englelman, 1994). Las mediciones se efectuaron con el software Image Tools para Windows (versión 3.00, University of Texas Health Science Center, San Antonio, TX, USA). Estos análisis se realizaron en el laboratorio de Anatomía e Histoquímica Vegetal del Postgrado en Botánica del Colegio de Postgraduados, *Campus Montecillo*.

5.3.7. Degradación ruminal *in situ*

La medición de la degradación ruminal *in situ* de la MS (DISMS), PT (DISPT), FDN (DISFDN) y FDA (DISFDA) se realizó con el método de bolsas de nylon (Orskov *et al.*, 1980). Para ello, se usaron tres toros Holstein (peso vivo aproximado de 1000 ± 20 kg), con cánulas permanentes de 10 cm de diámetro efectivo en rumen, y propiedad del Colegio de Postgraduados, *Campus Montecillo*. Los toros se mantuvieron en corrales individuales de 4 x 7 m, con piso de tierra y cemento, un espacio techado para proporcionar sombra y otro expuesto al sol, con alimentación y agua *ad libitum*, y dieta a base de forraje (Cuadro 1) para cubrir requerimientos de mantenimiento (NRC, 2001), durante los 7 d previos (adaptación a dieta) y durante la evaluación (45 d).

Cuadro 1. Ingredientes y aporte de la dieta utilizada en la alimentación de los toros fistulados.

Ingrediente	Cantidad (%)	Nutriente	Aporte
Paja de avena	42	EM (Mcal kg ⁻¹)	2.332
Alfalfa	37	ENm (Mcal kg ⁻¹)	1.356
Sorgo molido	4	ENg (Mcal kg ⁻¹)	0.778
Maíz molido	4	PT (%)	13.635
Pasta de soya	3	FDN (%)	41.303
Melaza	8	FDA (%)	28.12
Minerales	2	Ca (%)	1.05
		P (%)	0.323
		Mg (%)	0.245
		K (%)	2.226
		Na (%)	0.355
		Cl (%)	0.927

EM: energía metabolizable; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia; Mezcla mineral: calcio (12 %), fósforo (10 %), hierro (0.5 %), cobre (0.15 %), zinc (0.12 %), magnesio (0.1 %), manganeso (0.055 %), cobalto (0.05 %), yodo (0.02 %), selenio (200 ppb) y vitamina A (50,000 U.I.).

Las bolsas usadas son de poliseda, hechas a mano, con superficie útil aproximada de 342 cm² (19 x 18 cm), para proporcionar 23.4 mg MS cm⁻², con tamaño promedio de poro de ± 50 μm (Mehrez y Orskov, 1977), selladas con doble línea de costura en bordes, con el borde superior abierto para introducir las muestras y después cerrar con nudo a doble amarre, evitando salida del material a evaluar, las esquinas fueron curvas para evitar la acumulación de muestra y evitar que afectara su degradación. Las bolsas se lavaron, secaron a 60 °C hasta peso constante, se pesaron y se colocaron 8 g de muestra seca y molida (molino modelo 4 Wiley Mill) con criba de 2 mm. Para su incubación, las bolsas se ataron a una cadena de 50 cm de longitud, se distribuyeron proporcionalmente para colocarse en la porción ventral del rumen. Un extremo de la cadena se ató con hilo de nylon al exterior del toro pasando por la cánula para facilitar su extracción. Los tiempos de incubación fueron 0, 4, 8, 12, 16, 24, 48 y 72 h, utilizando una bolsa con muestra por horario y su respectivo blanco y se usaron 64 g de muestra por repetición.

Las bolsas se introdujeron en el siguiente orden: primero la que duró 72 h, pasadas 24 h se introdujeron las de 48 h y así sucesivamente hasta la hora 4, y en la hora 0 se retiraron todas las bolsas del rumen y se enjuagaron con agua corriente hasta que el agua fue transparente. La bolsa correspondiente a la hora cero no se introdujo en el rumen y solo se enjuagó con agua corriente; después, las bolsas se escurrieron, colgadas durante 2 d, se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C, hasta peso constante, se pesaron y por diferencia del peso seco de la muestra incubada y el de cada bolsa, se calculó la DISMS en los tiempos programados.

En la MS obtenida se determinó la concentración (g) de FDN, FDA y PT mediante los procedimientos descritos en la sección de análisis químico. La DISFDA, DISFDN y DISPT se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$DN = 100 - ((N_fD / N_iD) * 100)$$

dónde: DN es la degradación del nutriente, N_fD es la cantidad (g) del nutriente presente al final de la degradación y N_iD los g del nutriente al inicio de la degradación.

Por último, se determinó la tasa de degradación *in situ* de la MS, PY, FDN y FDA (TDISMS, TDISPT, TDISFDN y TDISFDA, respectivamente) según Castellanos *et al.* (1990).

5.4. Diseño experimental y análisis estadístico

5.4.1. Crecimiento, rendimiento, composición química y degradación ruminal

El diseño experimental fue bloques al azar generalizado, los tratamientos fueron las edades de rebrote (28, 42 y 56 d) y los bloques fueron los híbridos (Yacaré, Cobra y H-1), con cuatro repeticiones por tratamiento para el crecimiento, rendimiento de biomasa y composición química, y tres repeticiones para las variables de degradación. Los resultados de la evaluación del crecimiento, rendimiento de biomasa, composición química, así como la degradación ruminal *in situ* de la MS, PT, FDN, FDA, y sus respectivas tasas de degradación, se analizaron de acuerdo con el modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

dónde Y_{ijk} es el valor de la variable respuesta correspondiente a la repetición k del tratamiento i en el bloque j ; μ es la media general; τ_i es el efecto del tratamiento i ; β_j es el efecto de bloque j ; $\tau\beta_{ij}$ es el efecto de la interacción del tratamiento i con el bloque j ; y ε_{ijk} es el error experimental correspondiente a la repetición k del tratamiento i en el bloque j .

Cada variable se sometió a análisis de varianza (ANDEVA) con el procedimiento MIXED y para las variables que mostraron diferencias significativas, se realizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la separación de medias (Steel y Torrie, 1980). Cuando el valor de la interacción tratamiento*bloque fue significativo ($P \leq 0.05$) se utilizó el procedimiento SLICE de SAS para comparar edades dentro de híbridos e híbridos dentro de edades.

5.4.2. Tinción histoquímica de lignina en hojas del híbrido H-1

El diseño experimental fue completamente al azar y los tratamientos fueron las edades de rebrote (28, 42 y 56 d), con tres repeticiones cada uno. Para el análisis estadístico de los resultados de la determinación histoquímica de lignina del híbrido H-1 el modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde Y_{ij} es la variable respuesta correspondiente al tratamiento i en su repetición j ; μ es la media general, τ_i es el efecto del tratamiento i ; y ε_{ij} es el error experimental correspondiente al tratamiento i en su repetición j .

Con los datos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) mediante el procedimiento MIXED y para las variables que mostraron diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para separación de medias (Steel y Torrie, 1980). Para estos análisis se usó SAS® 9.4.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación y temperatura registradas durante el periodo de investigación fue aquella de la estación El Tejar de Medellín de Bravo, Veracruz (Figura 2). La mayor precipitación se registró en septiembre (527 mm) y la temperatura descendió 3 °C durante el periodo de estudio (26 a 23 °C), factores que pudieron afectar el surgimiento y crecimiento del rebrote durante las primeras semanas. Rodríguez (2011) señala que la temperatura fotosintética óptima para gramíneas tropicales es 35-39 °C, con alta sensibilidad a temperatura menores a 20 °C que afectan el crecimiento por reducción en la conversión de azúcares, resultado de la disminución de los procesos de biosíntesis y tasa respiratoria.

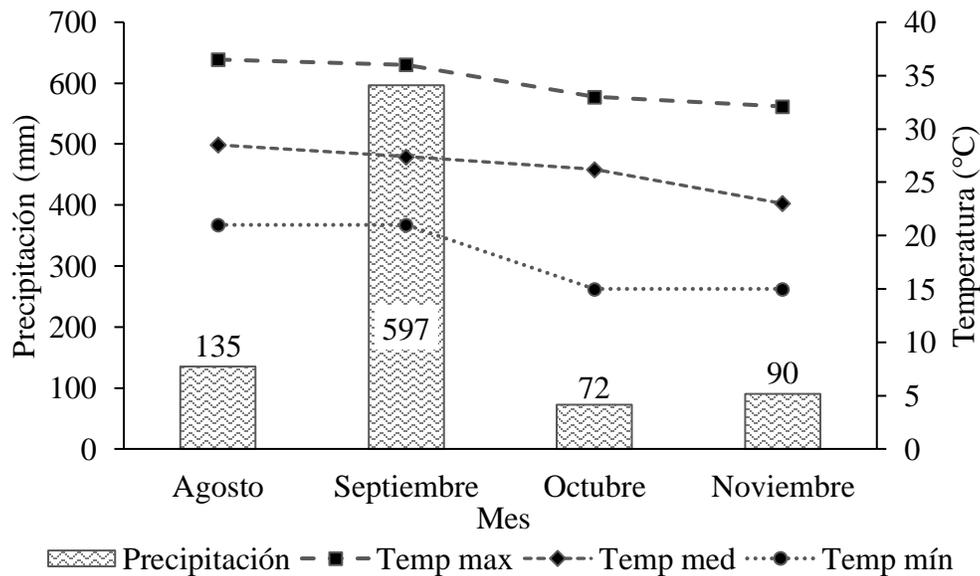


Figura 2. Precipitación media, temperatura máxima, media y mínima mensual registrada durante el periodo de estudio en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz (CONAGUA, 2017).

6.1. Crecimiento de rebrote

6.1.1. Crecimiento de pseudotallo

Los pseudotallos más anchos se observaron en Yacaré ($P \leq 0.05$), pero entre edades, no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$). Los pseudotallos más anchos se encontraron en Yacaré a 28 y 56 d de rebrote, y Cobra tuvo los de menor ancho a 42 d. Cobra tuvo los pseudotallos de mayor longitud ($P \leq 0.05$), y no hubo diferencias significativas entre Yacaré y H-1. Las edades con mayor longitud de pseudotallo fueron 42 y 56 d, sin diferencias significativas entre ellas ($P > 0.05$). Los pseudotallos de mayor longitud se registraron para Cobra a 56 d, y las menores en Yacaré y H-1, a 28 d de rebrote.

El crecimiento del pseudotallo depende de la interrelación entre la actividad de meristemas intercalares individuales (crecimiento individual de hoja) y el número de meristemas activos (número de hojas en crecimiento; Briske, 1991). Los resultados muestran que Yacaré desarrolló pseudotallos cortos pero anchos y en Cobra fueron largos y delgados. Entre edades de rebrote no hubo diferencias significativas en ancho, pero si en longitud (Ramírez *et al.*, 2012), y los pseudotallos de mayor longitud se encontraron a los 42 y 56 de edad. Thaikua *et al.* (2015), reportaron resultados superiores en pseudotallos de 17 genotipos de *Urochloa* a 8 y 12 semanas de rebrote, con un diámetro mayor de 3.6 mm y el menor de 1.9 mm, lo cual se pudo deber a que las edades de ese estudio fueron mayores a las de nuestra investigación. Tamele *et al.* (2017) encontraron correlación positiva entre longitud de pseudotallo y edad de rebrote en *U. brizantha*, en la temporada de lluvias.

6.1.1.1. Tasa de elongación neta de pseudotallo

Esta tasa se calculó en base diaria con los datos del crecimiento (Figura 3). La tasa de elongación neta de pseudotallo para Yacaré y Cobra disminuyó conforme aumentó la edad del rebrote, aunque dicha reducción fue mayor en Yacaré (79.61 vs 44.44 %), mientras que H-1 aumentó a partir de los 42 d de rebrote.

Cuadro 2. Comportamiento (promedio \pm desviación estándar; n=4) de la altura del rebrote, ancho y largo del pseudotallo y de la hoja de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 a 28, 42 y 56 d de rebrote.

		Pseudotallo		Hoja		Altura total (cm)
		Ancho (mm)	Largo (cm)	Ancho (mm)	Largo (cm)	
Híbrido	Yacaré	3.4 \pm 0.4 A	19.8 \pm 4.1 B	16.5 \pm 1.6A	14.4 \pm 4.0 B	37.5 \pm 6.9 B
	Cobra	2.9 \pm 0.2 B	28.9 \pm 7.7 A	13.6 \pm 0.9 B	20.7 \pm 2.4 A	51.3 \pm 7.8 A
	H-1	3.0 \pm 0.2 B	21.3 \pm 5.3 B	14.2 \pm 1.6 B	12.6 \pm 5.6 B	38.1 \pm 6.6 B
Edad	28	3.2 \pm 0.4 A	18.7 \pm 3.9 B	14.0 \pm 1.9 A	15.2 \pm 5.6 A	36.9 \pm 7.5 B
	42	2.9 \pm 0.3 A	23.6 \pm 6.1 A	15.1 \pm 1.8 A	15.5 \pm 4.7 A	43.2 \pm 9.1 A
	56	3.2 \pm 0.3 A	27.8 \pm 7.8 A	15.2 \pm 1.8 A	16.9 \pm 4.1 A	46.8 \pm 9.4 A
Combinaciones						
Yacaré	28	3.5 \pm 0.4 a	16.9 \pm 4.2 c	17.1 \pm 1.3 a	14.6 \pm 3.1 abc	34.5 \pm 6.4 c
	42	3.2 \pm 0.3 ab	20.4 \pm 3.4 bc	15.8 \pm 1.3 abc	13.2 \pm 4.9 bc	38.1 \pm 7.2 c
	56	3.5 \pm 0.4 a	22.2 \pm 3.8 bc	16.4 \pm 2.3 ab	15.4 \pm 4.6 abc	39.9 \pm 7.6 bc
Cobra	28	2.9 \pm 0.2 ab	21.6 \pm 4.3 bc	13.6 \pm 0.6 bc	21.2 \pm 2.0 a	43.7 \pm 7.1 abc
	42	2.8 \pm 0.1 b	29.6 \pm 6 ab	12.9 \pm 0.6 c	20.4 \pm 2.5 ab	53.3 \pm 4.7 ab
	56	2.9 \pm 0.3 ab	35.6 \pm 5.7 a	14.2 \pm 1.0 abc	20.4 \pm 3.2 ab	56.8 \pm 5.0 a
H-1	28	3.1 \pm 0.2 ab	17.7 \pm 1.3 c	14.5 \pm 1.4 abc	9.7 \pm 3.3 c	32.4 \pm 4.1 c
	42	2.9 \pm 0.2 ab	20.7 \pm 3.8 bc	13.3 \pm 1.6 bc	12.9 \pm 2.1 bc	38.2 \pm 5.3 c
	56	3.1 \pm 0.2 ab	25.5 \pm 6.6 abc	14.8 \pm 1.6 abc	15.1 \pm 2.9 abc	43.6 \pm 5.4 abc

A, B: medias con literales diferentes dentro de variable son estadísticamente diferentes. a, b, c: medias con literales diferentes dentro de variable en una columna, son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

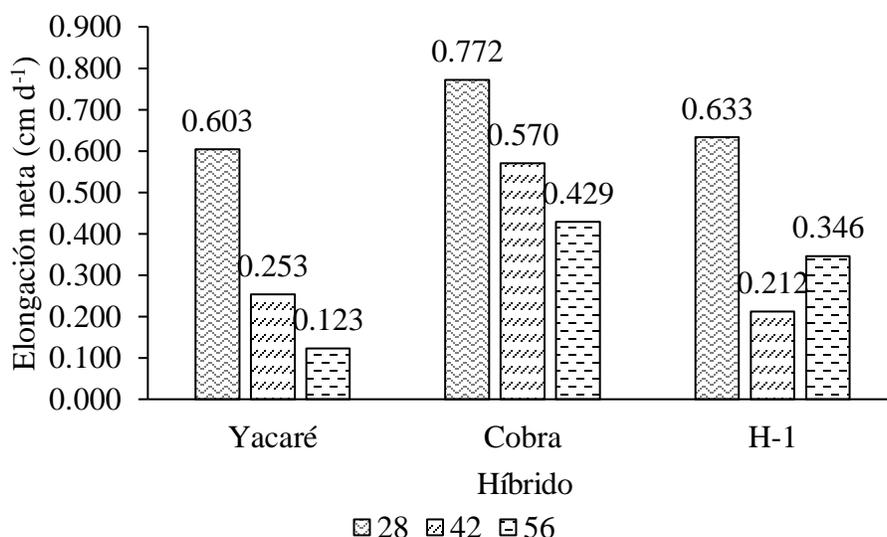


Figura 3. Tasa de elongación neta del pseudotallo a 28, 42 y 56 d de rebrote de tres híbridos de *Urochloa* spp.

Hodgson y Da Silva (2002) consideraron la elongación del pseudotallo, en pastos tropicales de porte erecto, como una característica morfológica importante que determina la respuesta de la planta al pastoreo o defoliación. Lo observado en Cobra (Cuadro 2) refleja lo descrito por Pizarro *et al.* (2013), quienes señalan la presencia de macollos conformados por tallos erectos y delgados; además, una buena tasa de elongación en los primeros 28 d, con tendencia negativa al pasar de 28 a 56 d de rebrote. Yacaré se caracterizó por formar pseudotallos cortos y anchos, similar a lo descrito por Santiago-Hernández *et al.* (2015), mientras que su tasa de elongación disminuyó significativamente con el aumento en la edad del rebrote. El comportamiento de H-1 (pseudotallos cortos y delgados) pudo deberse a las condiciones ambientales (Stefanelli y Silveira, 2011; Ramírez *et al.*, 2012; Santiago-Hernández *et al.*, 2015), porque el desarrollo del rebrote fue lento durante los primeros 42 d comparado con Yacaré y Cobra, pero aumentó del día 42 al 56 cuando las lluvias disminuyeron y la radiación mejoró. Estos resultados contrastan lo reportado por Tamele *et al.* (2017), quienes encontraron que la tasa de elongación del pseudotallo del rebrote de *U. brizantha* aumentó linealmente con la altura del rebrote, como consecuencia de una mayor edad.

6.1.2. Crecimiento de la hoja

Yacaré registró las hojas más anchas ($P \leq 0.05$), pero no hubo diferencias entre edades en ancho de hoja ($P > 0.05$). El mayor ancho de hoja se observó en Yacaré a 28 d de rebrote y, el menor en Cobra a los 42 d. Las hojas de mayor longitud se registraron para Cobra ($P \leq 0.05$), sin diferencias entre edades ($P > 0.05$). Las hojas de mayor longitud se encontraron en Cobra a 28 d de rebrote y la menor en H-1 a los 28 d.

El comportamiento del crecimiento de la hoja es regulado por factores como su genética, que influye en la dinámica de aparición y elongación foliar (Stefanelli y Silveira, 2011). En Yacaré se observaron hojas anchas y cortas (Hare *et al.*, 2013) y Cobra mostró hojas largas y delgadas, ambas son típicas de estos híbridos (Enríquez *et al.*, 2015; Pizarro *et al.*, 2013, respectivamente). Pero entre edades no se hubo diferencias significativas en ancho ni largo de hoja. Resultados similares en el ancho de hoja, pero diferentes en largo, fueron reportados por Thaikua *et al.* (2015), quienes midieron la hoja de 17 genotipos de *Urochloa* a 8 y 12 semanas de rebrote y los promedios fueron 2 cm y 1.1 cm (mayor y menor, respectivamente), mientras que las hojas más largas fueron 41.9 cm y la más corta 20.4 cm. El ancho de hoja de Yacaré es un factor positivo porque las plantas de hoja ancha, al crear sombra, previenen la evaporación de la humedad del suelo, propician tasas más altas de fotosíntesis para estimular el rápido crecimiento después de la defoliación, y contribuyen con un mejor valor nutritivo (Ravhuhali *et al.*, 2018). Tamele *et al.* (2017) observaron que la longitud de la hoja de *U. brizantha* aumentó conforme la edad del rebrote, pero en nuestro estudio fue diferente probablemente por la edad inicial de 28 d en el *U. brizantha* utilizado, mientras que en otros experimentos se consideran hojas en edad adulta. Según Santiago-Hernández *et al.* (2015), bajo sombra o en condiciones de poca radiación (temporada de lluvias), los pastos desarrollan hojas más largas y anchas que las producidas en temporadas de calor, lo cual se debe al aumento en la elongación celular.

6.1.2.1. Tasa de aparición foliar

Yacaré y Cobra tuvieron una tasa similar de aparición foliar en la semana uno, pero superiores a H-1. Las tasas de aparición de Cobra y H-1 en la semana dos fueron similares en la semana uno, pero Yacaré disminuyó. Las tasas de aparición foliar siguieron una tendencia negativa hasta la semana cuatro, pero durante la semana cinco y seis aumentaron y fueron similares entre híbridos.

Después de la semana seis Yacaré y Cobra tendieron a disminuir, mientras que H-1 aumentó (Figura 4).

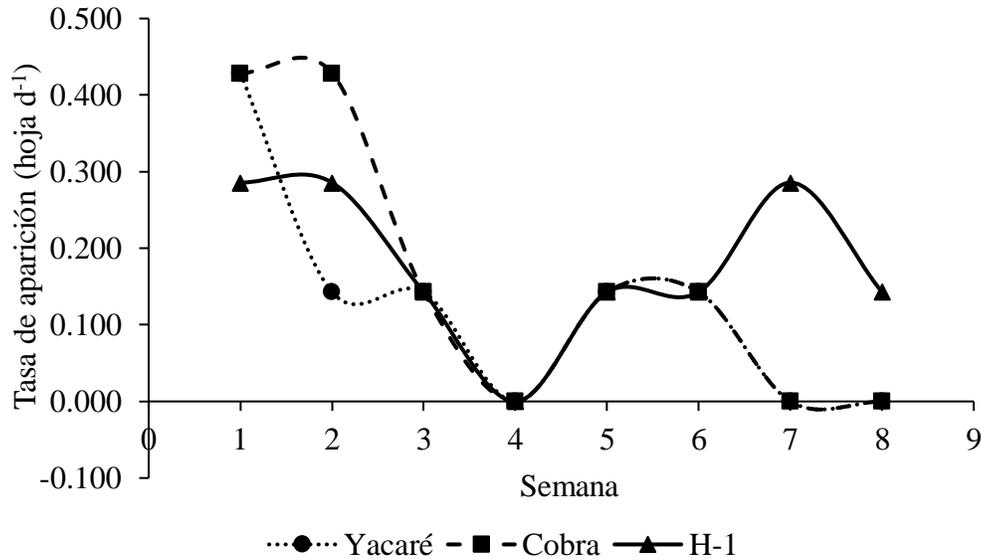


Figura 4. Tasa de aparición de hoja del rebrote de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 de *Urochloa* spp.

La tasa de aparición de hojas es un factor determinante en la tasa de aparición de los pseudotallos, dado el estímulo que ejerce sobre los primordios (Durand *et al.*, 1999) los cuales, a su vez, están influenciados por condiciones óptimas de temperatura, humedad y luminosidad (Sánchez, 2006³). La mayor tasa de aparición de hojas observada en las primeras semanas de rebrote concuerda con lo mencionado por Ramírez *et al.* (2012), de que la aparición de hojas disminuye al aumentar la edad del rebrote debido al mayor desarrollo del pseudotallo cuando las condiciones ambientales son favorables para el crecimiento de la planta. También es similar con lo indicado por Stefanelli y Silveira (2011), de que muchos procesos relacionados con el desarrollo de las plantas ganan o pierden intensidad a medida que estas maduran. Tamele *et al.* (2017) encontraron que la tasa de aparición de hojas del rebrote de *U. brizantha* disminuyó linealmente al aumentar la edad y altura del rebrote, en verano e invierno. La tasa de crecimiento de cualquier especie forrajera es sensible

³ Sánchez, H. M. 2006. Morfología y potencial forrajero de híbridos interespecíficos del género *Brachiaria*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. 84 p.

al ambiente, porque la temperatura interviene en la aparición y expansión de la lámina foliar (Muñoz-González *et al.*, 2016). Según Festo *et al.* (2003) y Stefanelli y Silveira (2011), las hojas incrementan su aparición con temperaturas de 20 a 32.5 °C, similar a las temperaturas registradas en nuestro estudio, pero disminuyen si la temperatura es mayor a 35 °C, lo cual no se observó en este caso, pero generó una tendencia a aumentar. La disminución en la tasa de aparición de hojas con la edad es un aspecto negativo porque reduce la capacidad fotosintética del pasto, lo cual trae consigo menor disponibilidad de alimento de alta calidad para el animal.

6.1.2.2. Tasa de elongación foliar

La mayor tasa de elongación foliar se obtuvo en la primera semana del rebrote, cuando Yacaré y Cobra fueron superiores a H-1. La elongación foliar mantuvo una tendencia negativa hasta la semana cuatro, cuando H-1 fue el más afectado y Cobra presentó la mejor tasa de elongación. La tasa de elongación aumentó después de la semana cuatro, cuando H-1 mostró las mejores tasas y Yacaré las peores.

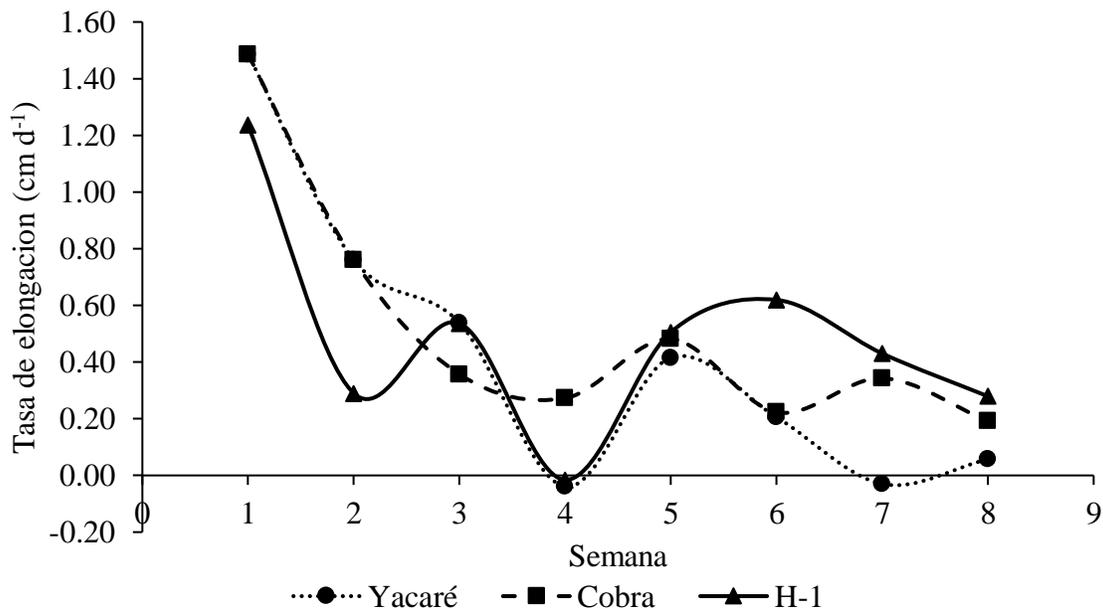


Figura 5. Tasa de elongación foliar neta del rebrote de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 de *Urochloa* spp.

Dado que el crecimiento de la hoja en las gramíneas es predominantemente paralelo al eje longitudinal de la hoja, la tasa de elongación es la variable utilizada para analizar el crecimiento de hoja (Durand *et al.*, 1999). La elongación foliar resulta de la producción de células a partir de la zona de crecimiento de las hojas, zonas de división, elongación y maduración celular, donde los soportes nutricional e hídrico actúan fuertemente. Los resultados de nuestro estudio fueron inferiores a los reportado por Stefanelli y Silveira (2011), quienes encontraron promedios de 1.45 y 1.38 cm d⁻¹ en dos genotipos de *U. brizantha* a 28 d de rebrote durante el periodo de lluvias y señalan que mientras mayor sea el periodo entre cortes o pastoreos, la tasa de elongación foliar disminuye, debido a una menor división celular por madurez de la hoja (Mauri *et al.*, 2018) y puede atribuirse a que en esta etapa el principal componente morfológico acumulado es hoja y conforme aumenta el índice de área foliar, aumenta la competencia por la luz dentro del dosel del pasto y las plantas cambian su patrón de crecimiento para optimizar la captura de luz a través del alargamiento del pseudotallo (Da Silva *et al.*, 2015). Lo anterior contradice a Stefanelli y Silveira (2011) y Tamele *et al.* (2017), quienes mencionan que la tasa de elongación foliar aumenta conforme se incrementa la edad del rebrote. Difante *et al.* (2011) y Cruz-Hernández *et al.* (2017), encontraron que la elongación foliar, en época de lluvias, se incrementó al aumentar el intervalo entre pastoreos y lo atribuyen a que mientras la defoliación se realiza en intervalos más cortos, la remoción de meristemas apicales aumenta.

6.1.3. Altura total del rebrote

La altura promedio del rebrote de Cobra fue mayor al resto de híbridos ($P \leq 0.05$). Al comparar las edades de estudio, en la edad 42 y 56 d tuvieron similar altura de rebrote ($P > 0.05$), pero mayor que la edad 28 d. Al comparar las combinaciones, la mayor altura del rebrote se obtuvo en la edad 28, 42 y 56 d del híbrido Cobra y 56 d del H-1, sin diferencia significativa entre estas ($P > 0.05$), mientras que la menor altura se observó a 28 y 42 d para Yacaré y H-1.

Los resultados muestran que Cobra alcanzó mayor altura de rebrote y, de acuerdo con Pizarro *et al.* (2013), pudo deberse a que este híbrido se caracteriza por formar macollos con tallos de porte erecto y así otorga mayor altura, y con Avellaneda *et al.* (2008) quienes mencionan que el hábito de crecimiento es un factor determinante y todas las especies de crecimiento amacollado suelen presentar mayor altura respecto a las especies decumbentes. Esto se confirma porque una de las características observadas en Yacaré fue que, mientras la hoja maduraba y alcanzó mayor longitud,

tendió a doblarse generó un dosel con mayor cobertura, pero de menor altura. En el híbrido H-1 la altura fue afectada por lluvias intensas que no permitieron un surgimiento adecuado del rebrote en las primeras semanas de estudio.

Respecto a la relación altura del rebrote y edad se observó que, a mayor edad, la altura fue mayor (Avellaneda *et al.*, 2008), pero sin diferencias significativas entre las edades 42 y 56 d ($P > 0.05$). Al respecto Merlo-Maydana *et al.* (2017), mencionan que el mayor crecimiento entre la semana siete y ocho de rebrote, respecto a edades menores, en *U. brizantha* puede deberse a que en esta edad el área foliar es mayor respecto a edades menores y favorece el aprovechamiento de la poca radiación existente. Avellaneda *et al.* (2008) y Luna *et al.* (2015), estudiaron el rebrote de tres variedades de braquiaria a 28, 42 y 63 d, y encontraron que entre especies, *U. brizantha* mostró mayor altura del rebrote respecto a *U. decumbens* y *U. brizantha* híbrido *mulato* (71.64, 67.83 y 71.02 cm, respectivamente), y esas alturas son superiores a las de nuestro estudio. Muñoz-González *et al.* (2016) reportaron alturas promedio inferiores (24.41 cm) a 30 d de rebrote en cinco ranchos del estado de Chiapas con tres pastos del género *Urochloa* y uno de *Paspalum*, durante agosto. Pérez-López y Afanador-Téllez (2017) observaron alturas promedio de 54.76 cm en cinco genotipos y un híbrido (Mulato II) de *U. brizantha* a 28 d de rebrote bajo fertilización de 92 kg N ha⁻¹, durante la época de lluvias en Colombia, y esas alturas son mayores a lo observado en Yacaré y H-1, pero similares a Cobra en nuestro estudio.

6.2. Producción de biomasa

Los cortes de la biomasa se realizaron a los 28, 42 y 56 d de rebrote y se obtuvo el rendimiento de materia verde (MV), y después se estimó el contenido de materia seca (MS), tasa de crecimiento del forraje (TC) y productividad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento (promedio \pm desviación estándar; n=4) de un solo corte para materia verde, materia seca, tasa de crecimiento del forraje y productividad de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 de *Urochloa* spp. a diferente edad de rebrote.

Híbrido	Edad de rebrote (d)	MV (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	TC (kg MS ha d ⁻¹)	Productividad (%)
Yacaré	28	4988.8 \pm 883.5 Ab	1037.9 \pm 148.8 Ab	37.1 \pm 5.3 Aab	100
	42	10118.0 \pm 2688.6 Aa	2338.8 \pm 600.4 Aa	55.7 \pm 14.3 Aa	100
	56	6787.4 \pm 4164.2 Bab	1328.1 \pm 982.5 Bab	23.7 \pm 17.5 Bb	56.67
Cobra	28	3835.2 \pm 812.8 Ab	812.9 \pm 178.1 Ab	29.0 \pm 6.4 Ab	76.72
	42	9859.7 \pm 3396.3 Aa	2635.9 \pm 1489.2 Aa	62.8 \pm 35.5 Aa	97.44
	56	11978.0 \pm 34.26 Aa	2912.3 \pm 837.5 Aa	52.0 \pm 15.0 Aab	100
H-1	28	1004.4 \pm 312.0 Ab	220.1 \pm 80.4 Bc	7.9 \pm 2.9 Bb	20.1
	42	4958.8 \pm 1332.5 Bab	1116.7 \pm 369.9 Bb	26.6 \pm 8.8 Ba	49
	56	8487.5 \pm 1293.5 ABa	2146.9 \pm 328.9 ABa	38.3 \pm 5.9 ABa	70.86

MV: materia verde; MS: materia seca; TC: tasa de crecimiento; A, B, C: comparan misma edad entre híbridos; a, b, c: comparan edades dentro del híbrido; medias con literales diferentes son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). El porcentaje relaciona la producción de MS dentro de edad de rebrote respecto a los otros híbridos.

6.2.1. Materia verde (MV)

La producción de MV a 28 d de rebrote fue similar entre los híbridos estudiados ($P > 0.05$) y a 42 d la mayor producción se observó en Yacaré y Cobra, mientras que a 56 d de rebrote Cobra obtuvo mayor producción de MV. Yacaré mostró mayor producción de MV a 42 d ($P \leq 0.05$), Cobra a 42 y 56 d de rebrote, y H-1 mostró su mayor producción a 56 d de rebrote ($P \leq 0.05$).

La baja producción de MV observada en los tres híbridos estudiados a los 28 d de rebrote pudo ser consecuencia de la alta precipitación y poca radiación solar reportada en el primer mes de investigación (Santiago-Hernández *et al.*, 2015), así como del material senescente residual presente al momento de realizar el corte de uniformización (un impedimento para el surgimiento de nuevos tallos) (Toro *et al.*, 2010), porque al aumentar la edad de rebrote estos factores mejoraron y el rendimiento de MV fue superior, favorecido por la mayor presencia de tejido foliar fotosintéticamente activo, factor que aumenta la captación de luz e incrementa las reservas de carbohidratos (Cruz-Hernández *et al.*, 2017). Cerdas y Vallejo (2012), reportaron una producción de MV promedio de rebrote de 1451.88, 7275 y 7687 kg MV ha⁻¹ a 20, 40 y 60 d respectivamente, en cuatro genotipos de *Urochloa* en Costa Rica, resultados diferentes a los de nuestro estudio, y además mencionaron que entre 40 y 60 d de rebrote no hubo diferencias significativas, similar al comportamiento del híbrido Cobra, pero entre 20 y 40 d la diferencia fue 400 %. Nuestros resultados contrastan con los de Muñoz-González *et al.* (2016), quienes indicaron que de junio a septiembre fue la mejor producción de MV debido a la alta precipitación, temperatura y radiación. El comportamiento registrado en Yacaré pudo deberse a que en temporadas de lluvias los pastos de hoja ancha pueden mostrar mayor rendimiento de MV (Santiago-Hernández *et al.*, 2015) por una mayor asignación a la biomasa aérea respecto a la subterránea, como respuesta a la poca radiación y el exceso de agua (Hodge *et al.*, 1997), situación también observada durante nuestro estudio y una característica principal de Yacaré es su excelente respuesta a zonas inundadas (Pizarro *et al.*, 2013).

6.2.2. Materia seca (MS)

El mayor rendimiento de MS a 28 y 42 d de rebrote se obtuvo en Yacaré y Cobra; sin embargo, a 56 d de rebrote, Cobra mostró el mayor rendimiento de MS. El mejor rendimiento de MS de Yacaré se obtuvo a 42 d, Cobra a 42 y 56, y H-1 a 56 d de rebrote.

De acuerdo con los resultados Cobra y H-1 incrementaron el rendimiento de MS conforme aumentó la edad del rebrote, algo común en los pastos (Ramírez *et al.*, 2009; Cerdas y Vallejos, 2012; Hare *et al.*, 2013; Luna *et al.*, 2015; Muñoz-González *et al.*, 2016), pero en Yacaré el mayor rendimiento se observó a 42 d (2338.82 kg MS ha⁻¹). Respecto a H-1 Sánchez⁴ (2006) reportó rendimientos promedio de 1802 kg MS ha⁻¹ a los 28 d de rebrote en Isla, Veracruz, de diciembre a mayo, lo cual es mayor al de nuestro estudio y se puede deber a la menor presencia de lluvias y mayor radiación en estos meses, y respecto a las condiciones observadas en nuestro experimento indica poca tolerancia al exceso de precipitaciones. En Yacaré, a 42 d de rebrote, el rendimiento fue mejor que lo reportado por Luna *et al.* (2015), quienes observaron que el rebrote de *U. híbrido* Mulato tuvo un rendimiento de 2.08 t MS ha⁻¹ en 63 d, aunque fue superior a *U. brizantha* y *U. decumbens* (1.76 y 1.24 t MS ha⁻¹, respectivamente), bajo condiciones similares pero en el trópico ecuatoriano. En un estudio de evaluación del comportamiento del rebrote de *U. brizantha*, *U. híbrido* cv. CIAT 36061, *U. humidicola* y *U. decumbens* en Veracruz, Valles *et al.* (2016) encontraron un rendimiento de 1788 kg MS ha⁻¹ a 54 d de rebrote en la misma época del año, lo cual es inferior al promedio de 2128 kg MS ha⁻¹ a los 56 d en cada híbrido de nuestro estudio, esto es, un mejor comportamiento en circunstancias similares. Pérez-López y Afanador-Téllez (2017) observaron que cinco genotipos y un híbrido de *U. brizantha* tuvieron un rendimiento promedio de 2111 kg MS ha⁻¹ a 28 d de rebrote en épocas de lluvia en Colombia y Mulato II tuvo un rendimiento bajo (1439.3 kg MS ha⁻¹). Esos valores son superiores a los de nuestro estudio y en la misma edad, y se pudo deber a que en Colombia se usó una fertilización de 92 kg N ha⁻¹.

6.2.3. Tasa de crecimiento del forraje (TC)

Las mejores TC a 28 y 42 d de rebrote se obtuvieron en Yacaré y Cobra, pero a 56 d el mejor TC fue en Cobra. La mejor TC de Yacaré y Cobra se registró a 42 d de rebrote, mientras que en H-1 fue a 42 y 56 d. En un estudio similar Valles *et al.* (2016) reportaron TC promedio en tres variedades y un híbrido de *Urochloa*, de 33.11 kg MS ha d⁻¹ a 54 d de rebrote, en condiciones similares a nuestro estudio. Así se comprobó que a esa edad Cobra y H-1 tuvieron mejores TC, mientras que Yacaré fue afectado por la disminución de la precipitación porque sus TC a 28 y 42 d fueron mayores, lo cual corrobora su preferencia por suelos con humedad alta (Pizarro *et al.*,

⁴ Sánchez, H. M. 2006. Morfología y potencial forrajero de híbridos interespecíficos del género *Brachiaria*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. 84 p.

2013; Merlo-Maydana *et al.*, 2017). Esto se puede deber a que cuando el pasto alcanza su máxima tasa de crecimiento, los aumentos en masa de la planta son menos eficientes y, probablemente, a expensas de una mayor utilización de reservas (Cerdas y Vallejo, 2012). Sánchez⁵ (2006) observó TC promedio de 76 kg MS ha⁻¹ a 28 d de rebrote en 23 híbridos de *U. ruziziensis* x *U. brizantha* de diciembre a mayo en Isla, Veracruz, lo cual es superior a lo encontrado en nuestro experimento. Al respecto, Ramírez *et al.* (2009) observaron una buena correlación entre el nivel de precipitación con la altura y la producción de MS de los forrajes, porque los pastos tropicales dependen del balance entre la tasa fotosintética y la tasa de respiración. Martín *et al.* (2018) mencionaron que Yacaré, en condiciones de alta humedad, puede modificar su hábito de crecimiento y desarrollar tallos decumbentes, lo cual genera macollos y raíces en los nudos y otorga una mayor absorción de nutrientes, oxígeno y sostén a la planta.

6.2.4. Productividad

Yacaré tuvo la mayor productividad a 28 y 42 d de rebrote, y a los 42 d la productividad fue similar a la de Cobra. A 56 d de rebrote la mayor productividad fue en Cobra, seguido de H-1. Pérez-López y Afanador-Téllez (2017) reportaron diferencias de productividad de 43 %, entre *U. brizantha* CIAT 26124 y CIAT 16315, CIAT 26990, CIAT 16467, CIAT 6387 a 28 d de rebrote, con fertilización de 46 kg N ha⁻¹, en época de lluvias en Colombia. Los valores fueron inferiores a lo observado en H-1 (59.9 %) a la misma edad de rebrote y esto pudo deberse a que el crecimiento y productividad de los pastos está influido por las condiciones climáticas, principalmente la presencia de lluvias, lo cual unido a otros factores del ambiente y manejo, repercuten en el potencial nutritivo y productivo (Vega *et al.*, 2006; Muñoz-González *et al.*, 2016).

Respecto a productividad y mejor edad de rebrote para el uso de los pastos tropicales Costa *et al.* (2007) encontraron que la fecha recomendada para el rebrote de *U. brizantha* Marandú está entre los 28 y 42 d, mientras que los genotipos BRA-004308 y BRA-003395 tuvieron mejor productividad entre 28 y 35 d. Cerdas y Vallejo (2012) mencionaron que la mejor productividad del rebrote de cuatro genotipos de *U. brizantha* fue a 40 d de rebrote, pero Deminicis *et al.* (2010) informaron que a 56 d de rebrote *U. humidicola* obtuvo el mejor rendimiento de MS. Según Jarillo-

⁵ Sánchez, H. M. 2006. Morfología y potencial forrajero de híbridos interespecíficos del género *Brachiaria*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. 84 p.

Rodríguez *et al.* (2011), la época del año es el principal factor que afecta la calidad nutritiva del forraje, sobre todo en temporada de lluvias debido a la alta producción de forraje y aumento del contenido de la pared celular, por lo cual disminuye el contenido de proteína y la digestibilidad de la pared celular.

6.3. Composición química

6.3.1. Proteína total (PT)

La mayor concentración de PT a 28 d se observó en H-1 ($P \leq 0.05$), mientras que a 42 y 56 d de rebrote H-1 y Yacaré tuvieron una concentración similar de PT ($P > 0.05$) pero superiores a Cobra. En Yacaré y H-1 la mayor concentración de PT fue a 28 y 42 d de rebrote sin diferencias entre estas edades ($P > 0.05$), pero mayores a 56 d, mientras que Cobra tuvo una concentración similar de PT entre 42 y 56 d de rebrote ($P > 0.05$), pero menor a los 28 d (Cuadro 4).

Estos valores de PT muestran que H-1 mostró mejor concentración en cada edad de estudio porque sus rebrotes emergieron de forma más lenta respecto a los demás híbridos, debido a la alta precipitación (Figura 2), mantuvo menor madurez (Santiago-Hernández *et al.*, 2015) y mayor presencia de hojas respecto a los tallos, que se caracterizan por una concentración más alta de PT (González-Muñoz *et al.*, 2018). Estos valores fueron menores a los promedios reportados por Valles *et al.* (2016) de 8.9, 9.1, 8.6 y 8.4 de PT a 54 d de rebrote en tres especies y un híbrido de *Urochloa*, respectivamente, bajo condiciones similares en el estado de Veracruz. En Isla, Veracruz, de diciembre a mayo en 23 híbridos de *U. ruziziensis* x *U. brizantha* a 28 d de rebrote, la PT promedio fue 9.7 % (Sánchez⁶, 2006), una concentración superior a la obtenida en nuestro estudio. De acuerdo con lo recomendado por Van Soest (1965), todas las combinaciones excepto H-1 a 28 d de rebrote (7.17 %), no cubrieron el mínimo necesario requerido en los forrajes (7.0 %) para una utilización eficiente por la microflora ruminal de un bovino y esto puede deberse a la “dilución del nitrógeno” (Greenwood *et al.*, 1990; Marino *et al.*, 2004), caracterizada por generar bajas concentraciones de PT durante la época de lluvias debido al rápido crecimiento. Al respecto Sampaio *et al.* (2010) mencionaron que estas condiciones ruminales sub-óptimas se asocian a un bajo crecimiento microbiano y, por consecuencia, una degradación reducida de fibras.

⁶ Sánchez, H. M. 2006. Morfología y potencial forrajero de híbridos interespecíficos del género *Brachiaria*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. 84 p.

La concentración de la PT disminuyó conforme aumentó la edad del rebrote, tendencia reportada en otros estudios (Valles *et al.*, 2016) realizados en épocas de lluvias (Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar, 2007; Merlo-Maydana *et al.*, 2017), y una disminución del 20 % al pasar de 21 a 28 d de rebrote (Cruz *et al.*). La explicación a la relación mayor edad de rebrote, mayor producción de biomasa y menor concentración de PT es que, a medida que los pastos crecen, la actividad metabólica disminuye e incrementa la pared celular, y así aumenta la proporción de pared respecto al citoplasma, en el cual el N es un constituyente esencial de proteínas, ácidos nucleicos y cloroplastos (Gándara *et al.*, 2017), así como la disminución de la síntesis de compuestos proteicos en comparación con los estadios más jóvenes (Vega *et al.*, 2006).

6.3.2. Fibra detergente neutro (FDN)

El contenido de FDN a 28 d de rebrote fue mayor en Yacaré y Cobra y, a 42 y 56 d fue mayor en el Cobra, respecto a otros híbridos ($P \leq 0.05$). La mayor concentración de FDN observado para Yacaré y Cobra se obtuvo a 42 d y la menor a 28 d. En H-1, la mayor concentración fue a 42 y 56 d de rebrote.

La FDN es una variable importante que define la calidad del forraje porque puede limitar la capacidad ingestiva, es indispensable en la función óptima del rumen (Ravhuhali *et al.*, 2018), es la fracción química del forraje que tiene correlación estrecha con el consumo voluntario de los rumiantes y valores superiores al 60 % producen efectos negativos (Van Soest, 1965). Los resultados de nuestro estudio fueron superiores al 60 %, excepto en H-1 a 28 d de rebrote (59.1 %), lo que refleja problemas en la calidad del forraje producido. Estos resultados son similares a los reportados por Thaikua *et al.* (2015) de 58.0-68.3 % FDN a ocho semanas de rebrote y 59.9-69.3 % a 12 semanas en hojas de 17 genotipos de *Urochloa*, y por Pérez-López y Afanador-Téllez (2017) en genotipos de *U. brizantha* CIAT: 26124, 16315, 26990, 6387, de 60.15, 62.4, 67.02 y 64.78 % de FDN, respectivamente, a 28 d de rebrote en época de lluvias en Colombia. Además Valles *et al.* (2016), encontraron 71.1, 75.4, 72.1 y 69.9 % a 54 d de rebrote en tres especies y un híbrido de *Urochloa*, respectivamente, bajo condiciones similares en el estado de Veracruz.

Cuadro 4. Composición química (promedio \pm desviación estándar; n=4) del rebrote de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 a diferente edad del rebrote.

Híbrido	Edad de rebrote (d)	PT (%)	FDN (%)	FDA (%)	EE (%)	LDA (%)	CT (%)
Yacaré	28	6.7 \pm 0.2 Ba	62.4 \pm 1.2 Ac	31.2 \pm 0.9 Ac	1.8 \pm 0.1 Bb	1.8 \pm 0.03 Ac	10.6 \pm 0.2 Ac
	42	6.7 \pm 0.3 Aa	66.6 \pm 0.3 Ba	33.8 \pm 0.3 Ba	2.1 \pm 0.1 ABa	2.5 \pm 0.1 Ab	12.8 \pm 0.1 Ab
	56	6.3 \pm 0.1 Ab	64.8 \pm 0.5 Bb	32.4 \pm 0.2 Bb	2.3 \pm 0.1 Aa	3.3 \pm 0.04 Aa	13.2 \pm 0.1 Aa
Cobra	28	6.7 \pm 0.1 Ba	61.5 \pm 1.3 Ac	30.7 \pm 0.7 Ac	2.2 \pm 0.2 Aa	1.6 \pm 0.05 Bc	10.9 \pm 0.1 Ac
	42	5.2 \pm 0.2 Bb	74.5 \pm 0.7 Aa	38.3 \pm 0.3 Aa	1.9 \pm 0.1 Bb	2.4 \pm 0.1 Bb	12.1 \pm 0.2 Ba
	56	4.6 \pm 0.2 Bb	69.2 \pm 0.3 Ab	36.1 \pm 0.3 Ab	1.9 \pm 0.02 Bb	3.2 \pm 0.04 Ba	11.7 \pm 0.3 Bb
H-1	28	7.2 \pm 0.1 Aa	59.1 \pm 1.0 Bb	28.6 \pm 0.5 Bb	1.9 \pm 0.1 Bb	1.6 \pm 0.01 Bc	8.9 \pm 0.2 Bc
	42	6.9 \pm 0.2 Aa	64.6 \pm 0.5 Ca	32.3 \pm 0.4 Ca	2.3 \pm 0.03 Aa	1.7 \pm 0.04 Cb	11.3 \pm 0.1 Cb
	56	5.7 \pm 0.2 Ab	65.8 \pm 1.0 Ba	31.9 \pm 0.6 Ba	1.9 \pm 0.02 Bb	2.8 \pm 0.1 Ca	11.7 \pm 0.02 Ba

PT: proteína total; EE: extracto etéreo; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; LDA: lignina detergente ácido; CT: cenizas totales. A, B, C: comparan edades entre híbridos; a, b, c: comparan edades dentro del híbrido; medias con literales diferentes son diferentes estadísticamente ($P \leq 0.05$).

La concentración alta de FDN durante el periodo de estudio en los tres híbridos puede deberse a que las condiciones favorecieron el crecimiento de los pastos, por lo cual aumentó la cantidad de tallos y como consecuencia la pared celular se incrementó. Respecto a edad del rebrote, Toro *et al.* (2010) y Ramírez *et al.* (2012) reportan aumento de FDN conforme aumentó la edad de rebrote en *U. brizantha*. Gándara *et al.* (2017), en la misma especie encontraron 56.7 % de FDN a 28 d y 64.3 % a 56 d y lo atribuyen a la exportación de compuestos solubles porque después de cierta edad, la planta ya no genera materia seca ni fibra, pero en nuestro estudio sólo H-1 mostró un comportamiento similar, mientras que Yacaré y Cobra aumentaron hasta los 42 d de rebrote y disminuyeron la FDN a los 56 d.

6.3.3. Fibra detergente ácido (FDA)

A 28 d de rebrote la mayor concentración de FDA se observó en Yacaré y Cobra, y a 42 d la mayor y menor cantidad de FDA fue para Cobra y H-1, respectivamente. A 56 d el mayor contenido de FDA fue para Cobra; para Yacaré y Cobra, la mayor concentración de FDA se observó a 42 d y la menor a 28 d; H-1 tuvo la mayor cantidad de FDA a 42 y 56 d de rebrote.

El contenido de FDA es un factor importante para evaluar la digestibilidad de un alimento porque al aumentar la concentración de FDA del forraje, disminuye la digestibilidad de la MS (Merlo-Maydana, *et al.*, 2017). El contenido de la FDA aumentó con la edad del rebrote y fue similar a lo reportado por Ramírez *et al.* (2012) en *U. humidicola* bajo condiciones similares, y por Pérez-López y Afanador-Téllez (2017) quienes encontraron en genotipos de *U. brizantha* CIAT: 26124, Mulato II, CIAT 26990, CIAT 16315, CIAT 6387 y CIAT 16467, contenidos de 29.86, 30.99, 31.62, 31.87, 33.66 y 32.36 % , respectivamente, a 28 d de rebrote en época de lluvias en Colombia. Ramírez *et al.* (2012) atribuyen el incremento en FDA a cambios fisiológicos y anatómicos que ocurren cuando la planta envejece, lo que causa la disminución del contenido citoplasmático, reduce la concentración de componentes solubles en el lumen celular y aumenta los componentes fibrosos. Al respecto, Gándara *et al.* (2017) reportan de 27.8 a 39.9 % de FDA desde 28 a 112 d de rebrote en *U. brizantha*, pero la variación en el contenido de FDA no fue uniforme porque entre 28 y 56 d la tasa de aumento fue 2.7 g FDA kg MS d⁻¹, mientras que de 56 a 112 d fue 0.08 g FDA kg MS d⁻¹. Valles *et al.* (2016) encontraron 42.8, 43.1, 42.0 y 41.4 % de FDA a los 54 d de rebrote en tres especies y un híbrido de *Urochloa*, respectivamente, y son superiores a las de nuestro estudio bajo condiciones similares en el estado de Veracruz. Hare *et al.* (2013) observaron que al

aumentar la edad del rebrote de Yacaré se incrementó el contenido de FDA, pero según Vergara y Araujo, (2006), al aumentar el intervalo de corte de 14 a 28 d durante la época de lluvias la FDA disminuyó de 43.2 a 41 % en *U. humidicola*.

6.3.4. Extracto etéreo (EE)

La mayor concentración de EE a 28 d de rebrote se observó en Cobra ($P \leq 0.05$); a 42 d en Yacaré y H-1 y a 56 d Yacaré fue superior a los otros híbridos ($P \leq 0.05$). Yacaré mostró mayor concentración de EE a 42 y 56 d de rebrote, Cobra a 56 d y H-1 a 42 d.

El extracto etéreo es la fracción de nutrientes que proporciona más energía al forraje, seguida por proteínas y carbohidratos (Berchioelli *et al.*, 2006). Los resultados obtenidos en nuestro estudio muestran que la mejor concentración de EE se obtuvo a 42 d de rebrote, excepto en Cobra que fue a 56 d y contradice lo mencionado por Carvalho *et al.* (2005) y Quintao *et al.* (2016), quienes señalan que a menor edad los forrajes presentan mayor concentración de EE. Avellaneda *et al.* (2008) encontraron contenidos similares de EE en rebrotes de *U. brizantha*, *U.* híbrido cv Mulato y *U. decumbens* de 2.29, 2.08 y 2.06 % a 56 d, lo cual corrobora que los híbridos usados en nuestro estudio están dentro de los rangos de *Urochloa*.

6.3.5. Lignina detergente ácido (LDA)

El mayor contenido de LDA a 28, 42 y 56 d de rebrote se registró en Yacaré y la menor concentración a 42 y 56 d, en H-1. Al comparar las edades de cada híbrido, Yacaré, Cobra y H-1 mostraron el mayor contenido de LDA a 56 d y el menor a 28 d de rebrote.

Los resultados obtenidos confirman lo reportado por Toro *et al.* (2010), Ramírez *et al.* (2012), Du *et al.* (2015) y González-Muñoz *et al.* (2018), quienes señalan que a mayor edad en el rebrote, mayor es la cantidad de LDA, lo cual se puede deber a que mientras más joven es el rebrote, la proporción de hojas jóvenes respecto a los pseudotallos es mayor y la cantidad relativa de tejido lignificado es menor. Rodrigues *et al.* (2004) mencionaron un resultado similar de 2.7 y 4.6 % para tres cultivares de *Urochloa* (líneas 3401, 3413 y 3451) y una de *P. maximun* (línea 3616), a tres, seis y nueve semanas de crecimiento. Valles *et al.* (2016) reportaron concentraciones de 8.2, 7.5, 8.3 y 8.6 % de LDA, a 54 d de rebrote en tres especies y un híbrido de *Urochloa*, respectivamente, bajo condiciones similares en el estado de Veracruz.

El híbrido H-1 mostró las concentraciones más bajas de LDA en todas las edades, lo cual pudo deberse a que sus rebrotes emergieron de forma más lenta y si el crecimiento es menor hay menos lignificación de la pared celular de tallos y hojas (Santiago-Hernández *et al.*, 2015). Las características químicas del forraje con altas concentraciones de lignina en la pared celular impiden la digestibilidad de la materia seca y, por lo tanto, limitan el consumo por rumiantes (Clipes *et al.*, 2010); mientras que el aumento en edad del rebrote determina el envejecimiento del pasto y disminuye el contenido celular, aumenta la pared celular y su consecuente lignificación (Van Soest, 1994). Por el contrario, Merlo-Maydana *et al.* (2017) no encontraron diferencia significativa en la concentración de lignina del rebrote de *U. brizantha* desde la semana uno hasta la ocho durante el periodo de lluvias.

6.3.6. Cenizas totales (CT)

El mayor contenido de CT a 28 d de rebrote se observó en Yacaré y Cobra, mientras que en las edades 42 y 56 d de rebrote Yacaré fue significativamente superior a los otros híbridos ($P \leq 0.05$). La concentración de CT en Yacaré y H-1 fue mayor a 56 d de rebrote y en Cobra a 42 d ($P \leq 0.05$). Estos resultados son similares a los reportados por Toro *et al.* (2010) en rebrotes de 28, 35 y 42 d de *U. brizantha* y al aumentar la edad de rebrote también lo hizo la concentración de CT. En *U. brizantha* cv Marandú Lascano *et al.* (2002) encontraron 8 % de CT a 30 d de rebrote, inferior a lo encontrado en los tres híbridos de nuestro estudio. En rebrotes de tres genotipos de *Urochloa* a 28, 56, 84 y 112 d Avellaneda *et al.* (2008) observaron 12.75, 11.76, 9.45 y 9.22 % de CT, respectivamente, esto es, al aumentar la edad del rebrote la concentración de CT disminuyó, resultado similar al de nuestro estudio.

6.4. Tinción histoquímica de lignina en hojas del híbrido H-1

Bauer *et al.* (2008) evaluaron la influencia de los componentes anatómicos sobre el valor nutritivo de *Melinis minutiflora* Pal. De Beauv, *B. decumbens* Staph., *Imperata brasiliensis* Trin. e *Hyparrhenia rufa* (Nees) Staph. y concluyeron que los coeficientes de degradación *in vitro* más bajos estaban relacionados con una alta proporción de xilema y esclerénquima. Las hojas son la principal fuente de materia verde en el forraje, por lo cual se pueden utilizar para determinar su calidad (Santos *et al.*, 2014). Por lo tanto, en cuatro hojas representativas de 28, 42 y 56 d del rebrote del híbrido H-1, en corte transversal, se identificaron los principales componentes anatómicos y se determinó el contenido de lignina.

6.4.1. Descripción de componentes anatómicos

Los haces vasculares del híbrido H-1 de *Urochloa* se denominaron de acuerdo con su ubicación y tamaño (Arellano-Cueto *et al.*, 2017; Figura 6): Primarios, los de mayor tamaño y ubicados en el centro de la vena media de la hoja; Laterales, los dispuestos a ambos lados del haz primario y dentro de la vena media; Secundarios, medianos y con distribución uniforme en toda la hoja; Terciarios, pequeños y localizados en ambos lados del haz vascular secundario.

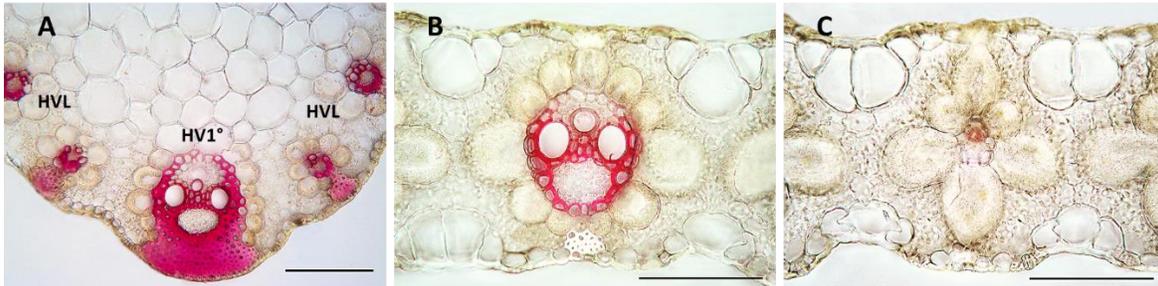


Figura 6. Histoquímica de lignina e identificación de haces vasculares (HV), en corte transversal, de la hoja del híbrido H-1, a 28 d de rebrote. El color rojo indica la presencia de lignina. A: nervadura central indicando HV primario (HV1°) y HV laterales (HVL); B: HV secundario; C: HV terciario. Barra: A = 150 µm; B, C = 100 µm.

Como vena media se identificó a la zona ocupada por la nervadura central de la hoja, en corte transversal y se delimitó para su estudio en ambos lados de la nervadura central por la presencia del primer haz vascular secundario. Los resultados observados respecto a la vena media concuerdan con Ribeiro *et al.* (2017), quienes especifican que el parénquima de relleno de la VM en especies de *Urochloa* está compuesto por células redondeadas con paredes delgadas, cubren todas las áreas y tienen forma irregular y mayor volumen cuando están cerca del centro de la estructura.

La vaina del HV se estudia debido a sus funciones esenciales en la fotosíntesis e intercambio de sustancias entre el mesófilo y tejidos del sistema vascular (Zheng *et al.*, 2002). Todos los haces vasculares presentaron extensión de la vaina (EV) del haz, un grupo de células lignificadas (fibras) que se extienden desde la vaina del haz hacia la epidermis abaxial (Arellano-Cueto *et al.*, 2017; Mauri *et al.*, 2018), y solo los haces secundarios y terciarios presentaron EV del haz hacia la epidermis adaxial y abaxial.

Estos resultados coinciden con Ribeiro *et al.* (2017), quienes evaluaron la especie *U. brizantha* y un híbrido del mismo género y mencionaron que los grupos de fibras esclerenquimáticas subepidérmicas y las extensiones de la vaina de los haces vasculares se encontraron en ambas superficies del limbo para ambos pastos, y en la superficie abaxial conectaron los haces vasculares a la epidermis (Mauri *et al.*, 2018), pero en *U. brizantha* fueron más pronunciados que los observados en *Urochloa* híbrido. El esclerénquima y el xilema son tejidos vegetales menos digeribles y tienen relación directa con un depósito elevado de lignina (Bauer *et al.*, 2008).

La cantidad y las características de los haces vasculares en las gramíneas C₄ tienen un efecto sobre la digestibilidad, porque sus paredes se suberizan o lignifican y generan una barrera que dificulta su degradación (Bianco *et al.*, 2004). El número de haces vasculares promedio observados en la lámina del híbrido H-1 varió de acuerdo con la edad del rebrote (Cuadro 5).

Cuadro 5. Haces vasculares promedio observados en corte trasversal de la lámina foliar del híbrido H-1 a 28, 42 y 56 d de rebrote.

Edad de rebrote (d)	Tipo de haz vascular			
	Primario	Lateral	Secundario	Terciario
28	1	6	10	70
42	1	4	12	84
56	1	2	12	84

Los resultados indican que el rebrote a 28 d difiere de aquel a 42 y 56 d en cantidad de haces laterales, secundarios y terciarios, mientras que a 42 y 56 d de rebrote presentan el mismo número de haces secundarios y terciarios, pero difieren en la cantidad de haces laterales. Los haces vasculares presentan un arreglo colateral (Mauri *et al.*, 2018), el floema ubicado en lado abaxial y xilema con orientación adaxial, con protoxilema y metaxilema conspicuos (Arellano-Cueto *et al.*, 2017; Figura 7). Solo el haz primario y los laterales mostraron lignina en la EV del haz.

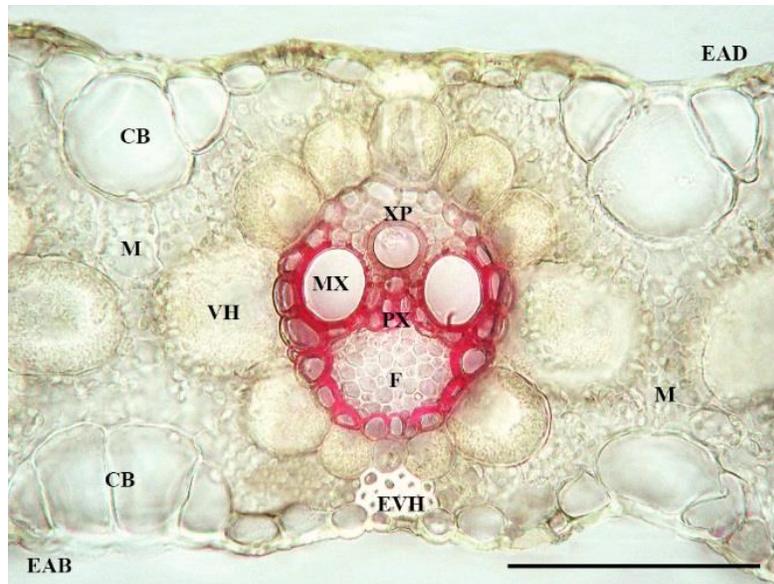


Figura 7. Descripción en corte transversal de un haz vascular secundario con tinción de lignina en hoja de 28 d de rebrote del híbrido H-1. Barra: 100 μ m. EAD: epidermis adaxial; EAB: epidermis abaxial; CB: células buliformes; EVH: extensión de la vaina del haz; M: mesófilo; VH: vaina del haz; F: floema; PX: protoxilema; MX: metaxilema; XP: xilema primario.

El tejido parenquimático clorofílico fue homogéneo tanto en la vena media como entre los HV de segundo y tercer orden (Figura 6; Figura 7). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Ribeiro *et al.* (2017), quienes estudiaron dos especies de *Urochloa* y mencionan que el mesófilo fue homogéneo y no se produjo diferenciación entre parénquimas.

La epidermis adaxial y epidermis abaxial están formadas por un estrato de células parenquimáticas, cortas y redondeadas, interrumpidas por la presencia de células buliformes en grupos de tres o cuatro; en la cara adaxial son grandes, pero en la cara abaxial son de menor tamaño. Las células buliformes están distribuidas en toda la epidermis adaxial, mientras que en la epidermis abaxial aparecen después del primer haz vascular lateral. En la zona adaxial de la vena media se observó la presencia de fibras en pequeños grupos que fueron aumentando con la edad de rebrote.

La estructura anatómica observada en la hoja de H-1 confirma lo reportado por Mauri *et al.* (2015), Arellano-Cueto *et al.* (2017), Ribeiro *et al.* (2017) y Mauri *et al.* (2018), quienes describieron la estructura anatómica de hoja de especies de *Urochloa* con epidermis uniseriadas en la cara adaxial y abaxial, estomas en ambas caras y grupos de tres a cinco células buliformes y un grupo de fibras

en vena media solo en cara adaxial, con mesófilo homogéneo, haces vasculares colaterales cerrados por una capa de células de la vaina del haz y una capa interna formada por un anillo de fibras, con vena media compuesta por parénquima clorofílico y haces vasculares de diversos tamaños acompañados de extensiones de la vaina que consisten en paquetes de fibras de esclerénquima unidos a la cara abaxial. Estos autores especifican que entre especies del mismo género solo puede haber cambios en la proporción de los tejidos, pero no en sus estructuras.

6.4.2. Área foliar en corte transversal

El área total de hoja (μm^2) del híbrido H-1 en corte transversal (Cuadro 6) fue mayor a 28 d de rebrote, mientras que en las edades de rebrote 42 y 56 d no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$). En un experimento similar con especies de *U. brizantha* y *U. ruziziensis* pero con mediciones a los 8, 15 y 29 d de rebrote, Mauri *et al.* (2018) explican que la diferenciación de tejidos en hojas de esos pastos ocurre antes de 8 d y que el aumento del tamaño posterior a esta edad se debe a la expansión celular y no por división; además, después de 29 d el ancho de la hoja tiende a mantener su dimensión, lo cual corrobora los resultados obtenidos en el crecimiento de hoja. Con respecto a las condiciones del ambiente, esta disminución en área total en corte transversal pudo deberse a que algunas especies de *Urochloa* son sensibles al exceso de agua en el suelo, condición reportada en nuestro estudio, donde dicho estrés pudo disminuir la tasa fotosintética y aumentar el consumo de polisacáridos estructurales y de las reservas (Ribeiro *et al.*, 2017), lo cual afecta el área en corte transversal de la hoja.

Cuadro 6. Área total, lignificada y no lignificada (promedio \pm desviación estándar; n=3) de la hoja del híbrido H-1, en corte transversal, a los 28, 42 y 56 d de rebrote.

Área	Edad de rebrote (d)		
	28	42	56
Total (μm^2)	3506071 \pm 181618 a	2488461 \pm 310273 b	2322964 \pm 231682 b
Lignificada (μm^2)	165396.4 \pm 41254 a	278814.0 \pm 48937 a	232303.5 \pm 44309 a
Lignificada (%)	4.8 \pm 1.0 b	11.6 \pm 3.2 a	10.2 \pm 1.9 ab
No lignificada (%)	95.2 \pm 1.0 a	88.4 \pm 3.2 b	89.9 \pm 1.9 ab

a, b: medias con literales distintas son estadísticamente diferentes dentro de área ($P \leq 0.05$).

Las áreas lignificadas (μm^2) de la hoja fueron similares entre las edades estudiadas ($P > 0.05$), pero cuando se expresan como áreas relativas (%) respecto al área total de la hoja, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y las edades 42 d y 56 d de rebrote fueron similares, pero superiores a 28 d. El incremento del área relativa lignificada conforme aumentó la edad de rebrote se debió a que mientras el área de la hoja en corte transversal disminuyó, el tejido lignificado se mantuvo.

La lignificación total de hoja (%) fue similar a lo reportado por González-Muñoz *et al.* (2018), quienes estudiaron el área lignificada de la hoja de *Festulolium* y encontraron que a 28 d de rebrote fue 4.23 % y aumentó a 7.16 % a 35 d; mientras que en nuestro experimento se obtuvo 4.8 % a 28 d y 11.59 % a 42 d, aunque a 56 d bajó a 10.15 %. Al respecto Mauri *et al.* (2018), usaron tres edades de rebrote en especies de *U. brizantha* y *U. ruziziensis* y encontraron que el aumento en la edad de rebrote promueve la expansión del esclerénquima y el xilema en hojas de *Urochloa*, factores que incrementan el contenido de lignina en la hoja.

El área total de la vena media fue mayor a 28 d de rebrote y menor a 56 d ($P \leq 0.05$); en contraste, el área lignificada fue similar estadísticamente entre edades estudiadas ($P > 0.05$). El área total del haz primario fue similar entre edades estudiadas ($P > 0.05$), pero el área lignificada fue mayor a los 56 d de rebrote y menor a 28 d. El área total y lignificada de la EV del haz primario fue similar en las edades estudiadas ($P > 0.05$). El área total y lignificada de los haces laterales fue similar entre las edades de estudio. El área total de la EV de los haces laterales fue mayor a 28 d y menor a 56 d, mientras que el área lignificada de estas fue similar en las edades estudiadas ($P > 0.05$).

El área total del haz secundario fue similar entre 28 y 42 d de rebrote, pero superiores a la edad 56, pero el área lignificada de estos fue similar a 28, 42 y 56 d de rebrote ($P > 0.05$). Los haces terciarios con mayor área total se encontraron a 28 y 42 d de rebrote, aunque entre las edades estudiadas no hubo diferencias ($P > 0.05$) en área lignificada de estos haces.

6.4.2.1. Componentes histológicos

En los principales componentes histológicos de hoja del híbrido H-1 se midió y analizó el área total y área lignificada promedio (μm^2) en las edades 28, 42 y 56 d de rebrote (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis del área total y lignificada promedio (μm^2 ; promedio \pm desviación estándar; n=3), en corte transversal, de los principales componentes histológicos de la hoja del híbrido H-1 de *Urochloa* spp., a diferente edad de rebrote (28, 42 y 56 d).

Componente histológico	Área total (μm^2)			Área lignificada (μm^2)		
	28	42	56	28	42	56
Vena media	428695 \pm 1898 a	263690 \pm 13052 b	130614 \pm 2526 c	21402 \pm 6704 a	19941 \pm 1376 a	19412 \pm 1604 a
Haz primario	16531 \pm 1061 a	16860 \pm 736 a	16392 \pm 400 a	6130 \pm 814 c	8727 \pm 653 b	10825 \pm 885 a
EV del haz primario	9728 \pm 1519 a	8860 \pm 1069 a	7508 \pm 296 a	7699 \pm 2502 a	5914 \pm 277 a	7415 \pm 303 a
Haz lateral	1597 \pm 926 a	1903 \pm 129 a	1003 \pm 361 a	682 \pm 468 a	925 \pm 181 a	287 \pm 76 a
EV del haz lateral	1802 \pm 90 a	1387 \pm 62 b	785 \pm 133 c	529 \pm 148 a	400 \pm 294 a	297 \pm 144 a
Haz secundario	7935 \pm 309 a	7201 \pm 757 a	5527 \pm 174 b	2053 \pm 498 a	3065 \pm 592 a	2513 \pm 517 a
Haz terciario	940 \pm 90 a	802 \pm 75 ab	705 \pm 84 b	97 \pm 45 a	89 \pm 47 a	137 \pm 33 a

EV: extensión de la vaina; a, b, c: medias con literales distintas entre edades dentro de componente, son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Al aumentar la edad de rebrote el área de la vena media disminuyó y dado que su aporte respecto al área total de la hoja en corte transversal es alto, se explica la disminución del área de la hoja al incrementarse la edad de rebrote, mientras que el área lignificada se mantuvo y se generó mayor proporción de tejido lignificado conforme aumentó la edad de rebrote (Cuadro 7). Los resultados observados en el área total y lignificada del haz primario, la EV del haz primario, los haces laterales y sus extensiones, muestran que, aunque la vena media disminuye su área conforme aumenta la edad de rebrote, estas estructuras mantienen su tamaño; sin embargo, los haces secundarios y terciarios mostraron áreas mayores a 28 y 42 d de rebrote, pero sin cambios en su área lignificada por efecto de la edad. Entonces, cualquier incremento en lignificación de la vena media depende del haz primario, porque fue el único componente cuya lignificación aumentó significativamente a medida que aumentaba la edad del rebrote. De acuerdo con Mauri *et al.* (2018), el área constante o con tendencia negativa de los haces, pudo deberse a que las edades de estudio fueron superiores a los 29 d de rebrote, cuando los haces ya alcanzaron su máximo desarrollo y, por lo tanto, tienden a suberizarse o lignificarse (Figura 8).

Las células del mesófilo, epidermis y tubos cribosos del floema (Figura 8) no se lignificaron con la edad y, por lo tanto, en pruebas de degradación se deberían degradar rápidamente (González-Muñoz *et al.*, 2018). La prueba de floroglucinol y HCl indican que solo se tiñeron los vasos del xilema, y las fibras de la EV de los haces presentes en la vena media y, de acuerdo con Pomar *et al.* (2002), el color rojo intenso observado en paredes del xilema indica abundancia de vainillina y siringaldehído (grupos terminales hidroxicinámicos de baja solubilidad), así como la presencia de coniferilo y aldehído sinápico, compuestos de poca o nula degradación. La EV de los haces secundarios (B, E, H) y terciarios (C, F, I) no se tiñeron, lo cual indica ausencia de lignina en sus tejidos. Conforme aumentó la edad de rebrote la tinción disminuyó su intensidad, en los cuatro tipos de haces identificados, lo cual indica una menor concentración de lignina en los componentes anatómicos. Esto contrasta con lo señalado por González-Muñoz *et al.* (2018), quienes encontraron que la acumulación de lignina en *Festulolium* aumentó con la edad como se espera en los forrajes, pero este incremento en la concentración de lignina se explica por la disminución del área de la hoja en corte transversal.

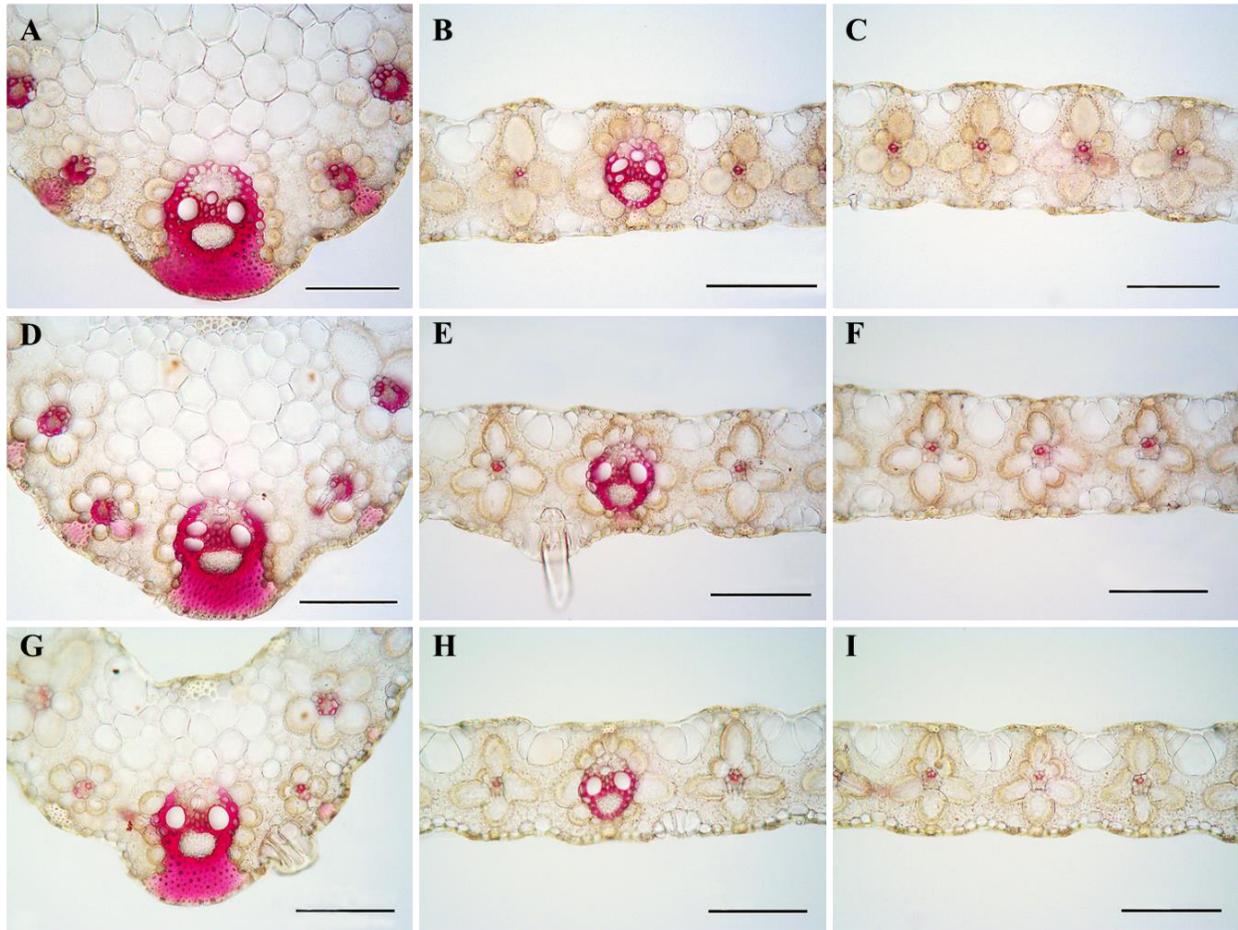


Figura 8. Tinción de lignina en corte transversal de hoja del híbrido H-1. El color rojo indica la presencia de lignina. Tipo de haz vascular: A, D, G: primario; B, E, H: secundario; C, F, I: terciario. Edad de rebrote en días: A, B, C: 28; D, E, F: 42; G, H, I: 56. Barra: 150 μm .

6.4.2.2. Componentes histológicos respecto a la hoja

El área promedio (μm^2), total y lignificada de los componentes histológicos reportados en el Cuadro 7 se multiplicó por el número total de componentes registrados en el corte transversal (Cuadro 6) y se ilustran en la Figura 9. Allí se observa que el área total de la vena media realiza el aporte mayor al área total de hoja en corte transversal; sin embargo, conforme aumentó la edad de rebrote esta área disminuyó significativamente, mientras el área lignificada de la vena media se mantuvo, lo cual corrobora lo mencionado respecto a la lignina relativa en hoja. El mayor aporte al área total de la hoja lo realizan el haz secundario y terciario, con el segundo y tercer lugar en área total y lignificada, respectivamente.

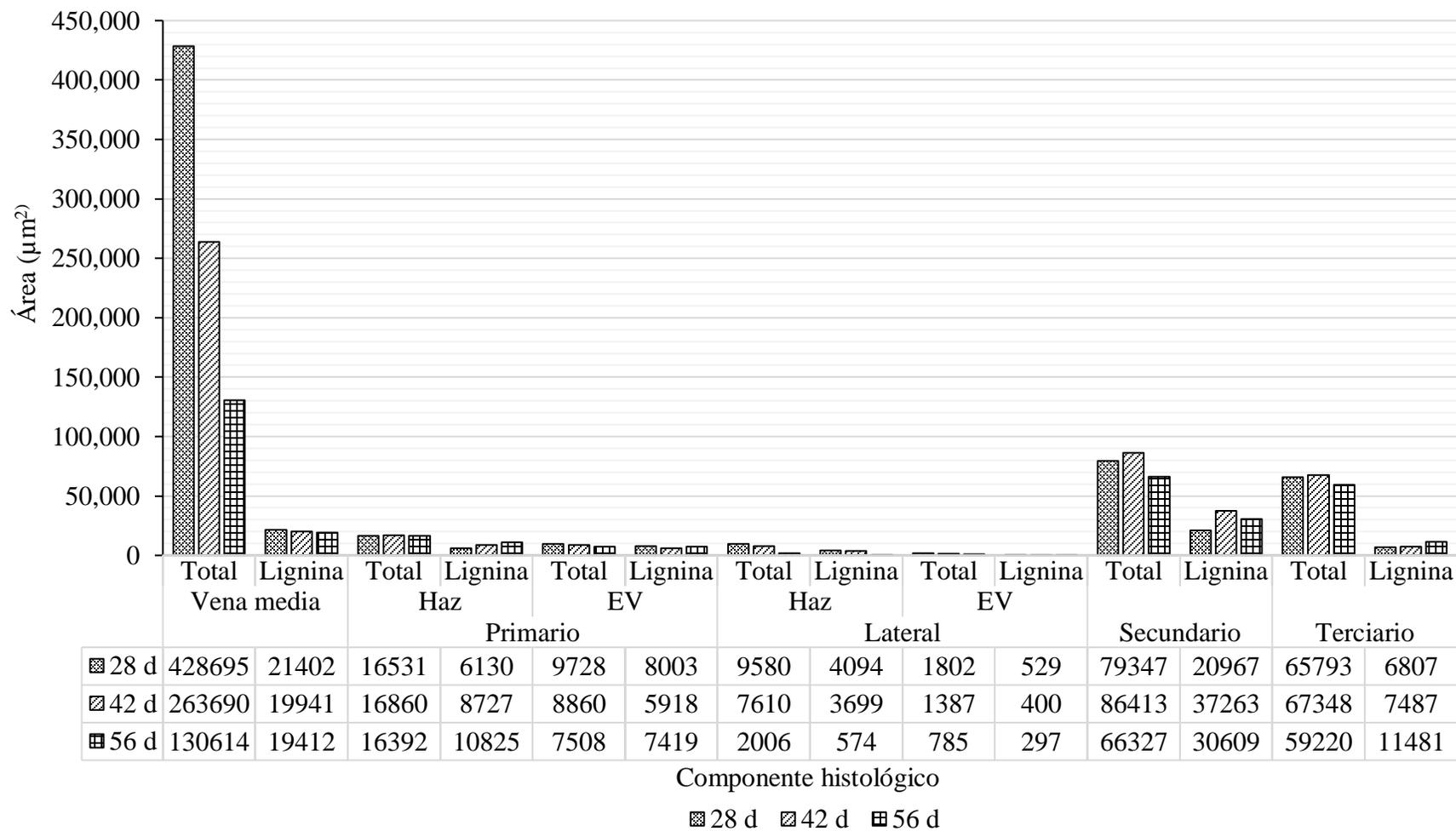


Figura 9. Área total y área lignificada (μm^2) ocupada por componente histológico en corte transversal de hoja del híbrido H-1, a 28, 42 y 56 d de rebrote.

Cuadro 8. Área total y lignificada de componentes histológicos (promedio \pm desviación estándar; n=3), expresada como área relativa (%) respecto al área total de la hoja, en corte transversal, del híbrido H-1 a 28, 42 y 56 d de rebrote.

Componente histológico	Área total (%)				Área lignificada (%)			
	28	42	56	CCP	28	42	56	CCP
Vena media	12.3 \pm 1 a	10.7 \pm 2 a	5.7 \pm 1 b	0.95	0.8 \pm 0.2 a	0.8 \pm 0.1 a	0.8 \pm 0.03 a	-0.78
Haz primario	0.5 \pm 0.02 b	0.7 \pm 0.1 a	0.7 \pm 0.07 a	-0.10	0.2 \pm 0.02 c	0.4 \pm 0.04 b	0.5 \pm 0.02 a	0.64
EV del haz primario	0.3 \pm 0.04 ab	0.4 \pm 0.01 a	0.3 \pm 0.02 b	0.87	0.2 \pm 0.06 a	0.2 \pm 0.03 a	0.3 \pm 0.02 a	-0.94
Haz lateral	0.3 \pm 0.15 a	0.3 \pm 0.05 a	0.1 \pm 0.04 a	0.79	0.1 \pm 0.08 ab	0.2 \pm 0.04 a	0.02 \pm 0.00 b	-0.21
EV del haz lateral	0.1 \pm 0.00 a	0.1 \pm 0.00 a	0.03 \pm 0.00 b	0.88	0.02 \pm 0.00 a	0.02 \pm 0.01 a	0.01 \pm 0.00 a	-0.64
Haz secundario	2.3 \pm 0.04 b	3.5 \pm 0.73 a	2.9 \pm 0.26 ab	0.30	0.6 \pm 0.12 b	1.5 \pm 0.45 a	1.3 \pm 0.27 ab	1.00
Haz terciario	1.9 \pm 0.14 b	2.7 \pm 0.15 a	2.6 \pm 0.51 ab	0.46	0.2 \pm 0.09 b	0.3 \pm 0.12 ab	0.5 \pm 0.11 a	0.24

CCP: coeficiente de correlación de Pearson entre el área total y lignificada ocupada por componente, y área de hoja en corte transversal;

EV: extensión de la vaina; a, b, c: medias con literales distintas son estadísticamente diferentes entre edades ($P \leq 0.05$).

El área relativa total de la vena media fue mayor a 28 y 42 d de rebrote, pero el área relativa lignificada de esta fue similar entre las edades estudiadas ($P > 0.05$). El área relativa total del haz primario fue similar entre 42 y 56 d de rebrote, pero mayores que a 28 d, mientras que la mayor área relativa lignificada del haz primario se observó en hojas de 56 d de rebrote y la menor a 28 d. La EV del haz primario mostró mayor área relativa total a 28 y 42 d de rebrote y menor a 56 d ($P \leq 0.05$); sin embargo, el porcentaje de área relativa lignificada de la EV del haz primario fue similar entre edades de rebrote bajo estudio ($P > 0.05$). Además, el área relativa total de los haces laterales fue similar entre edades estudiadas ($P > 0.05$), pero a 28 y 42 d de rebrote se obtuvieron las mayores áreas relativas lignificadas. La EV de los haces laterales mostró mayor área relativa total a 28 y 42 d de rebrote, mientras el área relativa lignificada fue similar entre las edades estudiadas. La mayor área relativa total y área relativa lignificada de los haces secundarios y terciarios se observó a 42 y 56 d de rebrote (Cuadro 8).

El área relativa total ocupada por el haz primario, secundario y terciario fue mayor a los 42 y 56 d, lo cual se puede deber, en el haz primario, a la disminución del área de hoja conforme aumenta la edad de rebrote, mientras que los haces secundarios y terciarios, aunque mantienen su área promedio, aumentan en cantidad conforme se incrementa la edad del rebrote y de esta forma ocupan mayor área a 42 y 56 d. El área relativa total de vena media, EV del haz primario, los haces laterales y sus EV fueron mayor a 28 y 42 d de rebrote, lo cual confirma los resultados consignados (Cuadro 7). Respecto a la vena media, González-Muñoz *et al.* (2018) encontraron resultados similares a los de nuestro estudio y mencionan que el haz vascular representó el área lignificada mayor de la vena media en hoja de *Festulolium*, mientras que la lignificación aumentó de 11.72 % a 28 d a 15.08 % a 35 d de rebrote, pero difiere en las características de la EV del haz porque ellos encontraron que las EV mostraron el mayor incremento, de 6.28 % a 15.28 %, con la edad.

El área relativa lignificada de los haces vasculares aumentó significativamente conforme la edad, excepto en aquellos laterales, lo cual es similar a lo reportado por González-Muñoz *et al.* (2018) de que la lignificación de los haces de la hoja de *Festulolium* aumentó de 2.53 % a 3.04 % y la EV del haz primario y lateral aportó más tejido lignificado al total de la hoja que el xilema, señalando que la mayor parte de fibras lignificadas de la EV se encontraron en la vena media.

El coeficiente de correlación (CCP) de área total del componente respecto a la hoja muestra que, mientras la vena media obtuvo alta correlación (0.945), el haz primario tuvo correlación negativa

y se debió a que, al aumentar la edad de rebrote, el área de la hoja y la vena media disminuían, pero el área total del haz primario se mantuvo. Respecto al área lignificada hubo una correlación negativa de la vena media, EV del haz primario, haz lateral y la EV del haz lateral, con el área lignificada de la hoja. Esto se pudo deber a que, al disminuir el área lignificada de estos componentes conforme aumentó la edad de rebrote, el área lignificada de la hoja aumentó, lo cual se explicaría por la correlación positiva perfecta que muestra con el haz secundario (el cual aporta más área total y lignificada al área total de la hoja) y el haz primario (CCP: 1.0 y 0.635, respectivamente).

6.5. Degradación ruminal *in situ*

6.5.1. Degradación ruminal *in situ* a 72 h de incubación

La degradación ruminal *in situ* de la materia seca, proteína total, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido de los híbridos Yacaré, Cobra y H-1 a los 28, 42 y 56 d de rebrote se midió durante 72 h (Cuadro 9).

La DISMS a 72 h de incubación (Cuadro 9) fue similar entre Yacaré, Cobra y H-1 ($P > 0.05$). Entre edades de estudio, a 42 y 56 d, la DISMS fue superior a 28 d ($P \leq 0.05$). Respecto a las combinaciones, Cobra a 42 d y H-1 a 56 d de rebrote tuvieron las mayores DISMS y Yacaré obtuvo la menor DISMS a 28 d.

La DISPT a 72 h de incubación no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre híbridos, edades de estudio, ni en las combinaciones híbrido por edad. La mayor DISFDN se obtuvo en H-1 ($P \leq 0.05$), pero entre edades de rebrote y combinaciones no existió diferencia significativa ($P > 0.05$). La mayor DISFDA entre híbridos se obtuvo en H-1 ($P \leq 0.05$), pero entre edades no se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$). La combinación con mayor DISFDA se obtuvo con H-1 a 56 d de rebrote y, la menor, en Yacaré a 28 d.

Cuadro 9. Degradación ruminal *in situ* (%; promedio \pm desviación estándar; n=3) de la materia seca (DISMS), proteína total (DISPT), fibra detergente neutro (DISFDN) y fibra detergente ácido (DISFDA) del rebrote de tres híbridos del género *Urochloa* spp. a tres edades de rebrote, a 72 h de incubación.

		DISMS	DISPT	DISFDN	DISFDA
Híbrido	Yacaré	72.15 \pm 4.4 A	62.19 \pm 3.9 A	90.39 \pm 4.6 B	91.32 \pm 5.2 B
	Cobra	74.07 \pm 4.2 A	58.55 \pm 8.2 A	89.27 \pm 4.3 B	91.77 \pm 4.4 B
	H-1	76.43 \pm 3.4 A	59.38 \pm 3.5 A	96.03 \pm 3.9 A	98.30 \pm 4.4 A
Edad	28	69.80 \pm 2.7 B	55.07 \pm 2.9 A	91.93 \pm 3.9 A	93.90 \pm 4.6 A
	42	77.28 \pm 3.6 A	63.99 \pm 7.9 A	91.96 \pm 4.6 A	93.47 \pm 5.3 A
	56	75.72 \pm 2.4 A	61.37 \pm 3.9 A	92.70 \pm 3.2 A	94.03 \pm 3.2 A
Combinaciones					
Yacaré	28	65.99 \pm 2.4 b	55.25 \pm 4.2 a	86.51 \pm 2.9 a	88.17 \pm 3.2 b
	42	77.61 \pm 1.1 ab	68.67 \pm 1.9 a	94.61 \pm 1.3 a	94.34 \pm 1.7 ab
	56	73.33 \pm 2.4 ab	63.39 \pm 1.6 a	90.04 \pm 2.6 a	91.45 \pm 2.7 ab
Cobra	28	69.97 \pm 2.7 ab	59.30 \pm 3.0 a	91.38 \pm 3.5 a	93.47 \pm 3.7 ab
	42	78.81 \pm 4.2 a	61.82 \pm 11.7 a	88.04 \pm 4.3 a	93.14 \pm 4.7 ab
	56	73.69 \pm 2.5 ab	54.76 \pm 1.4 a	88.40 \pm 2.9 a	88.70 \pm 2.9 ab
H-1	28	73.66 \pm 2.8 ab	50.96 \pm 2.0 a	97.91 \pm 3.8 a	100.06 \pm 4.0 ab
	42	75.44 \pm 4.9 ab	61.72 \pm 3.6 a	93.24 \pm 6.1 a	92.91 \pm 6.8 ab
	56	80.35 \pm 2.2 a	66.57 \pm 2.0 a	99.65 \pm 2.4 a	101.93 \pm 2.3 a

A, B: medias con diferentes literal dentro de variable son estadísticamente diferentes. a, b, c: medias con literales diferentes dentro de variable y columna son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Nuestros resultados contrastan con los de Thaikua *et al.* (2015), quienes encontraron en 17 genotipos de *Urochloa* que los pastos con hoja más ancha (*U. ruziziensis*) mostraron mayor degradación *in vitro* de la MS y menor porcentaje de áreas teñidas (presencia de lignina). Pero en nuestro estudio, Yacaré tuvo hojas más anchas y Cobra las más angostas, sin diferencia significativa entre híbridos en la DISMS y la DISPT, e incluso H-1 (hoja angosta) obtuvo la mayor DISFDN y DISFDA. Buxton y Casler (1993) mencionan que la disminución en la degradación de la MS puede deberse a propiedades de la pared celular como baja degradación, consecuencia de la concentración de carbohidratos estructurales presentes, mientras que Lascano y Euclides (1996) concluyen que la varianza en la DISMS de *U. decumbens* y *U. brizantha* causada por el genotipo puede ser hasta cuatro veces mayor que la varianza por interacción ambiental.

En nuestro experimento, a mayor edad del rebrote mayor fue la degradación de la MS. Estos resultados contrastan con Chaves *et al.* (2006), Toro *et al.* (2010), Ramírez *et al.* (2012), Du *et al.* (2015) y Ravhuhali *et al.* (2018), quienes mencionan que al aumentar la edad fisiológica de la planta aumentan los porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina, y se reduce la proporción de nutrientes potencialmente digestibles, lo cual es una caída acentuada de la degradación de la MS. Al respecto, Avellaneda *et al.* (2008) reportaron degradaciones *in situ* a 72 h de incubación en rebrotes de 28 d en genotipos de *Urochloa*, de 74.9, 74.8 y 73.6 % para *U. brizantha*, Mulato y *U. decumbens*, respectivamente, mientras que a 56 d de rebrote fue 64.7, 66.8 y 70.9 %, respectivamente, con disminución en la degradación de los pastos. Avellaneda *et al.* (2015) encontraron mayor degradación de la MS en forraje de 42 d de rebrote, al comparar edades de rebrote de 42 y 56 d en *Urochloa* híbrido cv. Mulato (*U.* híbrido CIAT 36087) y *U. decumbens*, y explican que pudo deberse al crecimiento del forraje acompañado por engrosamiento de la pared celular y aumento del contenido de lignina (Wilson, 1997), lo cual reduce la degradación del forraje (Bauer *et al.*, 2008; Santiago-Hernández *et al.*, 2015). Resultados similares reportan Gándara *et al.* (2017) y Valles *et al.* (2016) quienes encontraron que la DIVMS e DISMS a 72 h de incubación, respectivamente, de pastos de *U. brizantha* disminuyeron conforme aumentó la edad de rebrote; y Gándara *et al.* (2017) obtuvieron 63.0 % a 28 d y a 112 d fue 37.2 %. Según Santiago-Hernández *et al.* (2015), la degradación *in vitro* promedio fue 68.5 % a 48 h de incubación en híbridos de *Urochloa* (Oaxaca y Yacaré) y a 60 d de rebrote en temporada de lluvias en Veracruz, degradación inferior a lo obtenido a 28 d en los tres híbridos de nuestro estudio, lo cual se puede deber a las horas de incubación. Contrario a estos resultados, en pruebas de

degradación *in situ* de la MS de *Sorghastrum setosuma* a edades de rebrote 15, 30 y 45 d, no hubo diferencias significativas en la degradación de la MS a 120 h de incubación (Slanac *et al.*, 2011).

La degradación de la proteína del forraje en rumen es un proceso complejo y su cuantificación un desafío para especialistas en nutrición de rumiantes, y su estimación resulta indispensable para determinar la cantidad de proteína retenida en rumen y aquella digerida en el tracto digestivo posterior. La degradación de la PT a 72 h de incubación ruminal entre las edades de nuestro estudio y entre híbridos fue similar y contrasta con lo reportado por Du *et al.* (2015) quienes encontraron que la degradación de la FDN y FDA tuvo correlación positiva con el contenido de PT, pero negativa con el contenido de FDN, FDA y LDA. Soliva *et al.* (2015) observaron que al aumentar la degradación *in situ* de la FDN y FDA del heno de *U. brizantha* cv. Toledo, la degradación de la PT no cambió. Los resultados de la degradación de la PT muestran el poco aporte que ofrecen los híbridos en proteína degradable en rumen, porque la proteína promedio degradada en rumen fue 39.42 g kg⁻¹ MS; mientras NRC (2001) señala que la cantidad mínima recomendada para que el rumiante tenga una adecuada degradación de la fibra es 100 g kg⁻¹ MS.

La fibra es esencial en la predicción de la degradación de la MS, digestibilidad total del tracto digestivo, capacidad de llenado de rumen, tasa de pasaje y cinética de la digestión (Palmonari *et al.*, 2016). La lignina es un componente de la pared celular que se une a los carbohidratos de la pared celular vegetal (Santiago-Hernández *et al.*, 2015). Nuestros resultados muestran que la mejor DISFDN y DISFDA se obtuvo en el híbrido H-1, pero fue similar entre edades de rebrote. En teoría, la degradación de la FDN y FDA debió disminuir con el incremento de la edad de rebrote, debido al mayor contenido de lignina porque la LDA impide la degradación del forraje; lo anterior, se debe a que la lignina inhibe la hidrólisis y utilización de los carbohidratos estructurales de la pared celular vegetal, actuando como barrera entre celulosa y hemicelulosa con las bacterias fibrolíticas (Du *et al.*, 2015; Grilli *et al.*, 2015), aunque Nousiainen *et al.* (2004), Robinson *et al.* (2004) y Du *et al.* (2015) mencionaron que la correlación entre el contenido de lignina y la degradación de la fibra es baja.

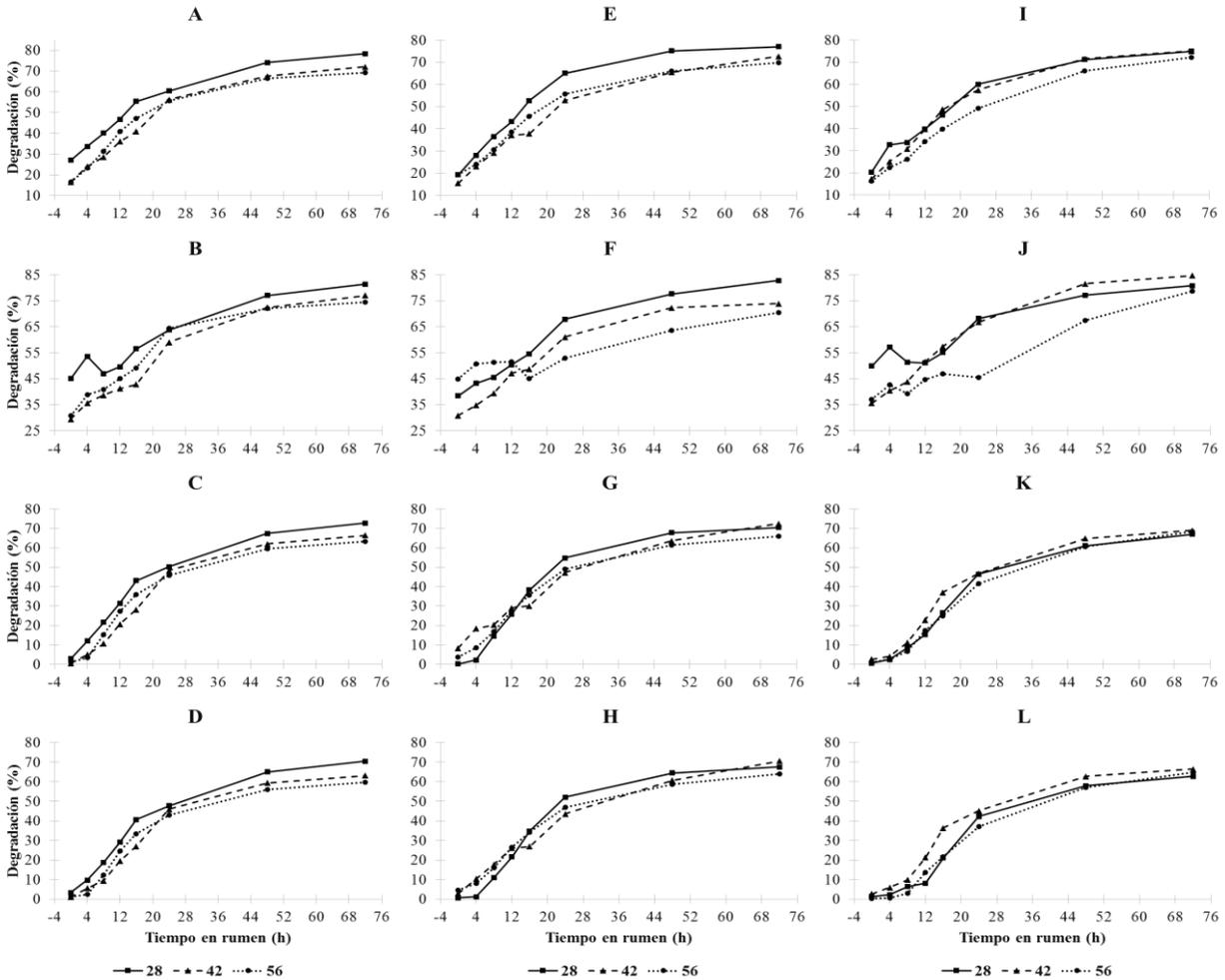


Figura 10. Degradación ruminal *in situ* de la materia seca (A, E, I), proteína total (B, F, J), fibra detergente neutro (C, G, K) y fibra detergente ácido (D, H, L) del rebrote de híbridos de *Urochloa* spp.: Yacaré (A, B, C, D), Cobra (E, F, G, H) y H-1 (I, J, K, L) para tres edades de rebrote (28, 42 y 56 d) a 72 h de incubación.

Las curvas muestran que la degradación de la MS, PT, FDN y FDA fue mejor a 28 d de rebrote en los híbridos Yacaré y Cobra; mientras en H-1, el rebrote a 28 y 42 d tienen un comportamiento similar pero siempre mejor que 56 d. Esto indica que Yacaré y Cobra tendrán mejor aprovechamiento por el rumiante hasta los 28 d de rebrote y después su degradación disminuye, mientras que en H-1 las tres edades de rebrote tienen degradaciones similares (Figura 10).

6.5.2. Tasas de degradación ruminal *in situ* (TDIS)

La TDISMS entre Yacaré, Cobra y H-1 fue similar ($P > 0.05$). Entre edades de rebrote la mejor TDISMS se obtuvo a 28 d. Entre combinaciones la TDISMS no tuvo diferencias significativas ($P > 0.05$). La mejor TDISPT se obtuvo en H-1, mientras que la edad de rebrote con la mejor TDISPT se registró a 28 y 42 d. La mejor TDISPT se obtuvo en la combinación H-1 a 42 d y la peor en Cobra a 56 d de rebrote (Cuadro 10).

La TDISFDN y TDISFDA no tuvieron diferencias significativas entre los híbridos estudiados ($P > 0.05$). Las mejores TDISFDN y TDISFDA se encontraron a 28 d de rebrote ($P \leq 0.05$). Entre combinaciones no se observaron diferencias significativas en TDISFDN y TDISFDA ($P > 0.05$).

Los resultados muestran que las tasas de degradación de la MS, FDN y FDA fueron similares entre los híbridos, pero el híbrido H-1 mostró la mejor TDISPT. El comportamiento de la TDISPT en H-1 pudo deberse a que hasta los 42 d, el rebrote tuvo las menores tasas de elongación de hoja y pseudotallo y las condiciones ambientales fueron adecuadas para mantener tejidos jóvenes y, por consecuencia, menos lignificados, factores que favorecen su degradación (Grilli *et al.*, 2015). Yacaré y Cobra mostraron mejor crecimiento en los primeros 42 d de rebrote, lo cual involucra madurez temprana y, como consecuencia, calidad nutritiva baja porque un aumento en la producción de MS aumenta la necesidad de crear más paredes celulares fibrosas. Respecto a la edad de rebrote, los resultados muestran que el incremento en edad de rebrote disminuyó la tasa de degradación de la MS, PT, FDN y FDA, lo cual se debe a que los pastos tropicales en los primeros estadios de crecimiento presentan pared celular delgada, con poca fibra, permitiendo fácil ruptura y tiempos cortos de digestión (Ramírez *et al.*, 2012); sin embargo, al madurar aumenta la concentración y engrosamiento de paredes celulares, se reduce el contenido celular (de rápida degradación; Moharrery *et al.*, 2009) o también al incremento en porcentaje de tallo, hoja senescente (Valenciaga *et al.* 2009) y contenido de lignina (Ramírez *et al.*, 2012), factores que afectan la acción de los microorganismos en la digestión porque estos no tienen la capacidad para degradar la lignina de la pared celular (Clipes *et al.*, 2010). Esto se debe a que las asociaciones lignina-hemicelulosa dificultan el acceso y adecuado acoplamiento de enzimas microbianas con los sustratos específicos.

Cuadro 10. Tasa de degradación ruminal *in situ* (%; promedio \pm desviación estándar; n=3) de la materia seca (TDISMS), proteína total (TDISPT), fibra detergente neutro (TDISFDN) y fibra detergente ácido (TDISFDA) del rebrote de tres híbridos de *Urochloa* spp., en tres edades de rebrote (28, 42 y 56 d) durante 72 h de incubación.

		TDISMS (% h ⁻¹)	TDISPT (% h ⁻¹)	TDISFDN (% h ⁻¹)	TDISFDA (% h ⁻¹)
Híbrido	Yacaré	1.58 \pm 0.17 a	1.58 \pm 0.23 ab	1.63 \pm 0.18 a	1.51 \pm 0.19 a
	Cobra	1.62 \pm 0.23 a	1.39 \pm 0.49 b	1.69 \pm 0.22 a	1.61 \pm 0.20 a
	H-1	1.69 \pm 0.19 a	1.71 \pm 0.40 a	1.72 \pm 0.18 a	1.59 \pm 0.17 a
Edad	28	1.76 \pm 0.15 a	1.65 \pm 0.29 a	1.78 \pm 0.17 a	1.66 \pm 0.17 a
	42	1.66 \pm 0.22 ab	1.78 \pm 0.37 a	1.70 \pm 0.20 ab	1.61 \pm 0.20 ab
	56	1.48 \pm 0.11 b	1.26 \pm 0.35 b	1.56 \pm 0.14 b	1.45 \pm 0.13 b
Combinaciones					
Yacaré	28	1.73 \pm 0.15 A	1.62 \pm 0.40 AB	1.80 \pm 0.15 A	1.70 \pm 0.14 A
	42	1.60 \pm 0.13 A	1.65 \pm 0.13 AB	1.64 \pm 0.08 A	1.50 \pm 0.08 A
	56	1.42 \pm 0.08 A	1.47 \pm 0.08 B	1.45 \pm 0.09 A	1.33 \pm 0.09 A
Cobra	28	1.83 \pm 0.18 A	1.87 \pm 0.18 AB	1.84 \pm 0.19 A	1.72 \pm 0.19 A
	42	1.60 \pm 0.21 A	1.51 \pm 0.21 B	1.72 \pm 0.27 A	1.70 \pm 0.19 A
	56	1.42 \pm 0.08 A	0.80 \pm 0.01 C	1.52 \pm 0.08 A	1.42 \pm 0.07 A
H-1	28	1.71 \pm 0.15 A	1.45 \pm 0.14 B	1.72 \pm 0.20 A	1.54 \pm 0.17 A
	42	1.77 \pm 0.31 A	2.17 \pm 0.36 A	1.75 \pm 0.27 A	1.63 \pm 0.28 A
	56	1.59 \pm 0.07 A	1.51 \pm 0.09 B	1.72 \pm 0.10A	1.59 \pm 0.07 A

A, B, C: Medias con literales diferentes dentro de variable y columna son estadísticamente diferentes. a, b, c: medias con literales diferentes dentro de variable son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Las tasas de degradación obtenidas para MS, PT, FDN y FDA son buenas, porque tasas mayores a 0.15 % h⁻¹ son suficientes para un adecuado paso de los alimentos por el tracto gastrointestinal del rumiante (Rezende *et al.*, 2007). Además, las tasas de degradación disminuyeron al aumentar la FDN y FDA de los pastos (Van Soest, 1994; Santiago-Hernández *et al.*, 2015), lo cual corrobora los resultados de lignina obtenidos en el análisis químico y en la tinción histoquímica de hojas del híbrido H-1.

La definición de un híbrido adecuado para ciertas condiciones de suelo y clima debe involucrar un estudio detallado y extenso, así como otorgar mayor credibilidad y justificación para el pasto seleccionado. Las hibridaciones interespecíficas del género *Urochloa* buscan combinar los principales caracteres del forraje como producción de biomasa estable a lo largo de las estaciones, mayor contenido de proteína y degradación y alta resistencia a las plagas. Además, los híbridos interespecíficos apomícticos obtenidos después de los cruces entre las especies sexual y apomíctica permiten la fijación de la heterosis en un cultivar, lo cual es deseable comercialmente y ha resultado en amplia adopción de cultivares de *Urochloa* en la producción pecuaria. En condiciones de pastoreo, la dinámica de crecimiento no sólo depende del suministro de nutrientes y de las variaciones del clima, sino de la acción de los rumiantes en el pastoreo, con respuestas morfológicas y fisiológicas variables, en dependencia del hábito de crecimiento de la planta, del mecanismo de propagación y persistencia y del sistema de manejo empleado en su explotación (Rodríguez y Avilés, 1997).

7. CONCLUSIONES

Yacaré y Cobra tuvieron rebrotes con mejor crecimiento y producción de biomasa a los 28 y 42 d, pero H-1 mejoró su tasa de crecimiento después de los 42 d, además de mantener el mejor contenido de nutrientes durante el periodo de estudio. La edad del rebrote afectó el contenido de nutrientes.

La degradación ruminal *in situ* de la materia seca, proteína total, fibra detergente neutro y ácida, fue similar entre híbridos y edades, pero sus tasas de degradación disminuyeron con el aumento de la edad del rebrote.

La estructura anatómica de la hoja del híbrido H-1 fue similar entre las edades de estudio. El área, en corte transversal, de la vena media, EV del haz lateral, haces secundarios y terciarios, disminuyó con la edad del rebrote, mientras sus áreas lignificadas se mantuvieron, lo cual generó mayor área relativa lignificada con el incremento en edad. El haz primario tuvo un área similar entre edades, pero un área lignificada mayor a 56 d de rebrote.

8. LITERATURA CITADA

- AFRC. Agricultural and Food Research Council. 1992. Technical committee on responses to nutrients: Nutritive requirements of ruminant animal protein. *Nutr. Abs. Rev.* 68: 65-71.
- Akin, D. E. and Burdick, D. 1975. Percentage of tissues types in tropical and temperate grass leaf blades and degradation of tissues by rumen microorganisms. *Crop. Sci.* 15: 661-668.
- Alexandrino, E., Nascimento, D. J., Mosquim, P. R., Regazzi, A. J. y Cipriano, R. F. 2004. Características morfogênicas e estruturais na rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a três doses de nitrogênio. *Rev. Bras. Zoot.* 33: 1372-1379.
- ANKOM (Ankom Technology). 2010. Operator's manual "Daisy" incubator. Ankom Technology, Macedon, N.Y. [Consulta: 23 de agosto de 2017] URL: <https://www.ankom.com/technical-support/daisy-incubator>.
- ANKOM (Ankom Technology). 2017. Procedures for fiber and *in vitro* analysis [Consulta: 14 de octubre de 2017] URL: <https://www.ankom.com/technical-support/daisy-incubator>.
- A.O.A.C (Association of Official Analytical Chemist). 1995. Official Methods of Analysis. Arlington. 1230 p.
- Ara, G. M. y Reyes, A. C. 2007. Evaluación del establecimiento del híbrido *Brachiaria ruziziensis* x *Brachiaria brizantha* en condiciones de trópico húmedo. *Rev. Inv. Vet.* 18: 158-161.
- Arellano-Cueto, A., Quero-Carrillo, A. R., Zavaleta-Mancera, H. A., Silva-Luna, M., Cobos-Peralta, M. A. y Pérez-Rodríguez, P. 2017. Caracterización anatómica de hoja de recursos genéticos de *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees. *Rev. Fitotec. Mex.* 40: 65-72.
- Argel, M. P. J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. CIAT. San José, Costa Rica. *Arch. Latin. Prod. Anim.* 14: 65-72.

- Avellaneda, C. J. H., Luna, M. R. A., Romero, G. D. A., Tapia, M. E. O. y López, T. S. 2015. Enzimas fibrolíticas exogenas en la degradabilidad de la MS de dos *Brachiarias*. ESPANCIENCIA. 7: 43-49.
- Avellaneda, C. J., Cabezas, G. F., Quintana, Z. G., Luna, M. R., Montañez, V. O., Espinoza, G. I., Zambrano, M. S., Romero, G. D., Vanegas, R. J. y Pinargote, M. E. 2008. Comportamiento agronómico y composición química de tres variedades de *Brachiaria* en diferentes edades de cosecha. Cien. Téc. 1: 87-94.
- Ayres, J. F., Nandra, K. S. and Turner, A. D. 1998. A study of the nutritive value of white clover (*Trifolium repens* L.) in relation to different stages of phenological maturity in the primary growth phase in spring. Grass For. Sci. 53: 250-259.
- Bach, A., y Calsamiglia, S. 2006. La fibra en los rumiantes: ¿Química o Física? XXII Curso de especialización FEDNA. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España, pp. 99-113.
- Balseca, D. G., Cienfuegos, E. G., López, H. B., Guevara, H. P. and Martínez, J. C. 2015. Nutritional value of *Brachiarias* and forage legumes in the humid tropics of Ecuador. Cien. Inv. Agr. 42: 57-63.
- Barbosa, R. A., Júnior, N. D., Euclides, B. V., Da Silva, S. C., Zimmer, A. H. e Júnior, R. A. 2007. Capim-tanzania submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. Pesq. Agrop. Bras. 42: 329-340.
- Barth, N. A., De Faccio, C. P. C., Lemaire, G., Sbrissia, A. F., Weber, D. M., Savian, J. V., Azevedo, A. G. e Bremm, C. 2013. Perfilamento em pastagens de azavém em sucessão a soja ou milho, sob diferentes métodos e intensidades de pastejo. Pesq. Agrop. Bras. 48: 329-338.
- Baruch, Z. 1994. Response to drought and flooding in tropical forage grasses. II. Leaf water potential, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenase activity. Plant and Soil. 164: 97-105.
- Baruch, Z. y Fisher, M. 1991. Factores climáticos y de competencia que afectan el crecimiento de la planta en el establecimiento de pasturas. In: Lascano, C. y Spain, J. (Eds.) Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoques de investigación. 6ta. Reunión Comité Asesor RIEPT. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 103-142.
- Bauer, M. O., Gomide, J. Á., Silva, E. A. M., Regazzi, A. J. e Chichorro, J. F. 2008. Características anatómicas e valor nutritivo de quatro gramíneas predominantes em pastagem natural de Viçosa, MG. Rev. Bras. Zoote. 37: 9-17.
- Berchioelli, T. T., Pires, A. V. e Oliveira, S. G. 2006. Nutrição de ruminantes. Jaboticabal: SP. Prol editora gráfica. 583 p.

- Bernal-Flores, A., Quero-Carrillo, A. R., Zavaleta-Mancera, H. A., Pérez-Rodríguez, P., Valdez-Carrasco, J. y Ortega-Cerrilla, M. E. 2017. Atributos histológicos relacionados con digestibilidad en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. de México. Rev. Fitotec. Mex. 40: 299-308.
- Bianco, C. A., Kraus, T. A. y Vegetti, A. C. 2004. La hoja: Morfología externa y anatomía. 1° ed. Universidad Nacional de Río Cuarto. Universidad Nacional del Litoral. Córdoba, Argentina. 199 p. Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=_VpLSEAQaHkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- 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. 48:51-61.
- Briske, D. D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. In: Heitschmidt, R. K. and Stuth, J. W. (Eds.). Grazing management - An ecological perspective, Timber Press, Portland, Oregon, USA. 85-108.
- Brito, C. J. F. A., Rodella, R. A., Deschamps, F. C., e Alquini, Y. 1999. Anatomia quantitativa e degradação *in vitro* de tecidos em cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach). Rev. Bras. Zoot. 28: 223-229.
- Buxton, D. R. and Casler, M. D. 1993. Environmental and genetic effects on cell wall composition and digestibility. In: Jung, H. G., Buxton, D. R., Hatfield, R. D. and Ralph, J. (Eds.) Forage Cell Wall Structure and Digestibility. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America. Soil Science Society of America, Madison. 685-714.
- Buxton, D. R. and Redfearn, D. D. 1997. Plant limitations to fiber digestion and utilization. J. Nutr. 127: 814S-818S.
- Canchila, E. R., Soca, M., Wencomo, H. B., Ojeda, F., Mateus, H., Romero, E., Argüello, G., Ruiz, R. y Canchila, N. 2011. Comportamiento agronómico de siete accesiones de *Brachiaria humidicola* durante la fase de establecimiento. Past. Forr. 34: 155-166.
- Carvalho, M. M., Freitas, V. P. e Xavier, D. F. 2005. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. Pesq. Agropec. Bras. 37: 717-722.
- Carvalho, P. C. F. 2013. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management. Trop. Grass. 1: 137-155.
- Carvalho, P. C. F., Mezzalira, J. C., Fonseca, L., Wesp, C. D. L., da Trindade, J. K., Neves, F. P. e Poli, C. H. E. C. 2009. Do bocado ao sitio de pastejo: Manejo em 3D para compatibilizar a estrutura do pasto e o processo de pastejo. In: VII Simposio e III Congresso de Forragicultura e Pastagens (pp. 116-137). Lavras, Brazil. (Proceedings, in Portuguese).

- Castellanos, A., Llamas, L. G. y Shimada, A. S. 1990. Manual de técnicas de investigación en rumiología. Ed. Sistema de educación continua en producción animal en México, A.C. México, D. F.
- Cerdas, R. y Vallejos, E. 2012. Comportamiento productivo de varios pastos tropicales a diferentes edades de cosecha en Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Sed. Reg.* 13: 6-22.
- Chapman, D. F. and Lemaire, G. 1993. Morphogenic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In: Baker, M. J. (Eds.). Grasslands for our world.* Wellington: SIR. 55-64.
- Chaves, A. V., Waghorn, G. C., Brookes, I. M. and Woodfield, D. R. 2006. Effect of maturation and initial harvest dates on the nutritive characteristics of ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Anim. Feed Sci. Tech.* 127: 293-318.
- Clipes, R. C., Silva, J. F. C. D., Detmann, E., Vásquez, H. M., Henriques, L. T., Donatele, D. M. e Oliveira, A. D. F. M. D. 2010. Predição da fração indegradável da fibra em detergente neutro em forragens tropicais a partir da concentração de lignina. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 11: 999-1011.
- Combatt, C. E., Jarma, O. A., Paternina, D. E. 2015. Bromatología de *Brachiaria decumbens* Stapf y *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst en suelos sulfatados ácidos en Córdoba, Colombia. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 6: 1035-1049.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2017. Estación el Tejar, Medellín de Bravo, Veracruz. Disponible en: <https://smn.cna.gob.mx/tools/RECURSOS/Estadistica/30468.pdf>.
- Costa, K. A. D. P., Oliveira, I. P. D., Faquin, V., Neves, B. P. D., Rodrigues, C., e Sampaio, F. D. M. T. 2007. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5. *Ciênc. Agrotec.* 31: 1197-1202.
- Cruz, H. A., Hernández, G. A., Chay, C. A. J., Mendoza, P. S. I., Ramírez, V. S., Rojas, G. A. R y Ventura, R. J. 2017. Componentes del rendimiento y valor nutritivo de *Brachiaria humidicola* cv. Chetumal a diferentes estrategias de pastoreo. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 8: 599-610.
- Cruz, H. A., Hernández, G. A., Enríquez, Q. J. F., Gómez, V. A., Ortega, J. E., Maldonado, G. N. M. 2011. Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. *Rev. Mex. Cien. Pec.* 2: 429-443.
- Cruz, P. and Boval, M. 2000. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. *In: Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., Nabinger, C. and Carvalho, F. P. C. (Eds.). Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology.* CABI Publishing. UK. 101-126.

- Cruz-Hernández, A., Hernández-Garay, A., Vaquera-Huerta, H., Chay-Canul, A., Enríquez-Quiroz, J. y Ramírez-Vera, S. 2017. Componentes morfogenéticos y acumulación del pasto mulato a diferente frecuencia e intensidad de pastoreo. *Rev. Mex. Cien. Pec.* 8: 101-109.
- Cuadrado, H., Torrogroza, L. y Jiménez, N. 2004. Comparación bajo pastoreo con bovinos machos de ceiba de cuatro especies de gramíneas del género *Brachiaria*. *Rev. MVZ Cord.* 9: 438-443.
- Da Silva, C. S., Fischer, S. A. and Techio, P. L. E. 2015. Ecophysiology of C₄ forage grasses—understanding plant growth for optimising their use and management. *Agriculture.* 5: 598-625.
- Del Pozo, P. P. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. *Pastos.* 32: 109-137.
- Deminicis, B. B., Abreu, J. B. R. D., Vieira, H. D., and Araújo, S. A. D. C. 2010. *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick in different cutting ages under nitrogen and potassium fertilization. *Ciên. Agrotec.* 34: 1116-1123.
- Difante, G. S., Júnior, D. N., Da Silva, S. C., Euclides, V. P. B., Montagner, D. B. e Silveira, M. C. T. 2011. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. *Rev. Bras. Zoot.* 40: 955-963.
- Du, S., Ming, X. and Yao, J. 2015. Relationship between fibre degradation kinetics and chemical composition of forages and by-products in ruminants. *J. Appl. Anim. Res.* 1-5.
- Durand, J. L., Schäufele, R. and Gastal, F. 1999. Grass leaf elongation rate as a function of developmental stage and temperature: morphological analysis and modelling. *Annals Bot.* 83: 577-588.
- Edwards, E. G., Franceschi, R. V. and Voznesenskaya, V. E. 2004. Single-cell C₄ photosynthesis versus the dual-cell (Kranz) paradigm. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 173-96.
- Enríquez, Q. J. F., Hernández, G. A., Quero, C. A. R. y Martínez, M. D. 2015. Producción y manejo de gramíneas tropicales para pastoreo en zonas inundables. INIFAP - Colegio de Postgraduados. Folleto Técnico. 60 p.
- Festo, J. M., Sabed, N. A. e Jeremy, A. R. 2003. The impact of temperature on leaf appearance in bamba groundnut landraces. *Crop. Sci.* 43: 1375-1379.
- Fialho, C. M. T., Ferreira, E. A., Meira, R. A. S., Santos, J. B., Silva, A. A., Freitas, F. C. L., Galon, L., Concenco, G., Silva, A. F., Tironi, S. P. and Rocha, P. R. R. 2009. Caracteres morfoanatómicos de *Brachiaria brizantha* Submetida à aplicação de trinexapac-ethyl. *Plant. Danin.* 27: 533-539.

- Foy, C. D. 1988. Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19: 959-987.
- Fulkerson, W. J., Slack, K., Hennessy, D. W. and Hough, G. M. 1998. Nutrients in ryegrass (*Lolium spp.*), white clover (*Trifolium repens*) and kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures in relation to season and stage of regrowth in a subtropical environment. *Aust. J. Exp. Agr.* 38: 227-240.
- Gándara, L., Borrajo, C. L., Fernández, J. A. y Mercedes, P. M. 2017. Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad del rebrote sobre el valor nutritivo de *Brachiaria brizantha* cv. "Marandú". *Rev. FCA UNCUYO.* 49: 69-77.
- Goering, H. K. and Van Soest, P. J. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric. Hand. No. 379.* Agricultural Research Service/United States Department of Agriculture. Washington, D. C. USA. 20 p.
- Gomide, M. C. A. and Gomide, J. A. 2000. Morfogênese de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. *Rev. Bras. Zoot.* 29: 341-348.
- González-Muñoz, S. S., Zavaleta-Mancera, H. A., Miranda-Romero, L. A., Loera-Corral, O., Pinos-Rodríguez, J. M., Campos-Montiel, R. G. and Almaraz-Buendía, I. 2018. Histochemical changes in early and mature *Festulolium* and maturation's effects on rumen bacteria activity and *in vitro* degradation. *Grass. Sci.* 1-9.
- Greenwood, D. J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A. and Neeteson, J. J. 1990. Decline in percentage N of C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. *Annals Bot.* 66: 425-436.
- Grilli, D., Egea, V., Paez, L. S., Carcaño, D., Allegretti, L., Sosa, E. M. and Nora, A. G. 2015. Degradación y utilización de la hemicelulosa contenida en especies forrajeras por *Pseudobutyrvibrio ruminis* y *Pseudobutyrvibrio xylanivorans*. *Rev. FCA UNCuyo.* 47: 231-243.
- Gutiérrez, O., Delgado, D., Oramas, A., y Cairo, J. 2005. Consumo y digestibilidad de materia seca y nitrógeno total en vacas en pastoreo durante la época de lluvias, con bancos de proteína y sin ellos. *Rev. Cub. Cien. Agric.* 39: 593-598.
- Hare, M. D., Phengphet, S., Songsiri, T., Sutin, N. and Stern, E. 2013. Effect of cutting interval on yield and quality of three *brachiaria hybrids* in Thailand. *Trop. Grass.* 1: 84-86.
- Heinzen, F., Ramos, J. y Tivano, J. C. 2002. Anatomía cuantitativa comparada de algunas especies de gramíneas de la provincia de Santa Fe. *Cien. Agra.* 1: 57-63.
- Hernández, G. A., Martínez, H. P., Mena, U. M., Pérez, P. J. y Enríquez, Q. J. 2002. Dinámica del rebrote en pasto insurgente (*Brachiaria brizantha* Hochst. stapf.) pastoreado a diferente asignación en la estación de lluvia. *Téc. Pec. Mex.* 40: 193-205.

- Hernández-Garay, A., Hodgson, J. and Matthew, C. 1997. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass/white clover pasture. I Tissue turnover and herbage accumulation. *New Zea. J. Agric. Res.* 40: 25-35.
- Herrera, G. R. S. 2014. Algunos aspectos que pueden influir en el rigor y veracidad del muestreo de pastos y forrajes. *Avan. Invest. Agrop.* 18: 7-26.
- Hodge, A., Paterson, E., Thornton, B., Millard, P. and Killham, K. 1997. Effects of photon flux density on carbon partitioning and rhizosphere carbon flow of *Lolium perenne*. *J. Exp. Bot.* 48: 1797-1805.
- Hodgson, J. and Da Silva, S. C. 2002. Options in tropical pasture management. *In: Proceedings of the Annual Meeting of the Brazilian Animal Science Society, Recife, Brazil, 29 July–1 August 2002; SBZ: Recife, Brazil.* 39: 180-202.
- Hoffman, P. C., Lundberg, K. M., Bauman, L. M., Shaver, R. D. y Contreras, G. F. E. 2007. Digestibilidad *in vitro* de la FDN (Fibra detergente neutro): El debate de 30 vs 48 horas. *Foc. For.* 5: 1-4.
- Holnam, F., Rivas, L., Argel, P. J. y Pérez, E. 2004. Impacto de la adopción de pastos *Brachiaria*: Centroamérica y México. CIAT Documento de Trabajo no. 197. Cali, Colombia: CIAT; Nairobi, Kenya: ILRI. 30 p.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Medellín, Veracruz de Ignacio de la Llave. 9 p. Disponible en: http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30105.pdf.
- Inyang, U., Vendramini, M. B., Sollenberger, B. L., Adesogan, L. A. and Lupha, A. 2010. Forage species and stocking rate effects on animal performance and herbage responses of 'Mulato' and Bahiagrass pasture. *Crop. Sci.* 50: 1079-1085.
- Jarillo-Rodríguez, J., Castillo-Gallegos, E., Flores-Garrido, A. F., Valles de la Mora, B., Ramírez, L., Avilés, L., Escobar-Hernández, R. and Ocaña-Zavaleta, E. 2011. Forage yield, quality and utilization efficiency on native pastures under different stocking rates and seasons of the year in the Mexican humid tropic. *Trop. Subtrop. Agroec.* 13: 417-427.
- Juárez-Hernández, J. y Bolaños-Aguilar, E. D. 2007. Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Trop. Hum.* 23: 81-90.
- Kellogg, E. A. 2013. C₄ photosynthesis. *Curr. Bio.* 23: 594-599.
- Krishnamurthy, K. V. 1999. *Methods in cell wall cytochemistry.* CRC Press. U. S. A. 318 P.

- Lara, M. V., Drincovich, M. F. y Andreo, C. S. 2010. Transiciones metabólicas en la fijación fotosintética del carbono en plantas del género *Portulaca*. In: Gonzalez, J. R. y Chueca, S. A. (Eds.), *C₄ y CAM: Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas* (pp: 43-55). Madrid, España.
- Lara, M. y Pedreira, C. G. S. 2011. Respostas morfogênicas e estruturais de dosséis de espécies de Braquiária à intensidade de desfolhação. *Pesq. Agropec. Bras.* 46: 760-767.
- Lascano, C. E. and Euclides, V. P. B. 1996. Nutritional quality and animal production of *Brachiaria* pastures. In: *Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement* (Eds: Miles JW, Maass BL, do Valle CB), CIAT, Cali. 106-123.
- Lascano, C. E. y Spain, J. M. (Eds.) 1991. Reunión del Comité Asesor Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (6; 1988, Veracruz, México). Establecimiento y renovación de pasturas: Conceptos, experiencias y enfoque de la investigación. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 425 p. (Publicación CIAT no. 178).
- Lascano, C. E., Pérez, R., Plazas, B., Camilo, H., Medrano, J., Argel, M. y Pedro, J. 2002. Reporte técnico: Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110): Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA); Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Villavicencio, CO. 18 p. DOI: 10.13140/2.1.3614.5927.
- Lemaire, G. and Agnusdei, M. 2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization In: Lemaire, G., Hodson, J., Moraes, A., Nabinger, C. and Carvalho, F. P. C. (Eds.) *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*, CAB International, Wallingford, UK. pp. 265-288.
- Lemaire, G., Hodgson, J., de Moraes, A., Carvalho, P. C. F. and Nabinger, C. 2000. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CAB Internat. 422 p.
- Luna, M. R. A., Reyes, P. J. J., Avellaneda, C. J. H., Espinoza, C. A. L., Iza, T. N. B. y Luna, M. M. V. 2015. Respuesta agronómica de tres variedades de *Brachiaria* en el cantón El Empalme provincia del Guayas, Ecuador. *Cien. Téc.* 8: 45-50.
- Marcelino, K. R., Junior, D. N., Da Silva, S. C., Euclides, V. P. e Da Fonseca, D. M. 2006. Características morfogênicas e estruturais e produção de forragem do capim-marandu submetido a intensidades e frequências de desfolhação. *Rev. Bras. Zoot.* 35: 2243-2252.
- Marino, M. A., Mazzanti, A., Assuero, S. G., Gastal, F., Echeverría, H. E. and Andrade, F. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agron. J.* 96: 601-607.
- Martín, M. R., Dell'Amico, J. M. y José, C. P. 2018. Respuesta del ásto Cayman (*Brachiaria* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) al déficit hídrico. *Cult. Trop.* 39: 113-118.

- Mauri, J., Avelar, S. G., Pereira, D. L., Techio, V. H., Davide, L. C., Sobrinho, F. S. and Pereira, F. J. 2018. Regrowth age modifies the leaf anatomy of *Brachiaria* genotypes. *Acta Scientia. Bio. Sci.* 40: 1-9.
- Mauri, J., Techio, V. H., Davide, L. C., Pereira, D. L., Sobrinho, F. S. and Pereira, F. J. 2015. Forage quality in cultivars of *Brachiaria* spp. association of lignin and fibers with anatomical characteristics. *Austr. J. Crop Sci.* 9: 1148-1153.
- Mehrez, A. Z. y Orskov, E. R. 1977. The use of a Dacron bag technique to determine rate of degradation of protein and energy in the rumen. *J. Agric. Sci. Camb.* 88: 645-650.
- Mejía, H. J., Nájera, A. K., Rober Danilo, R. R. y Ramírez, C. N. 2018. Efecto de la fertilización sobre el pasto *Brachiaria* híbrido cv. CIAT BR02/1794 como medida de mitigación ante el cambio climático. *Rev. Iberoame. Bioecon. Camb. Clim.* 4: 816-823.
- Melo, O. E. y Boetto, G. C. 1993. Gramíneas tropicales y templadas. Características y zonas de adaptación. Colección Ganadería en zonas cálidas. Cuadernillo No 1. Ed. Hemisferio Sur. 32 p.
- Merlo-Maydana, F. E., Ramírez-Avilés, L., Ayala-Burgos, A. J. y Ku-Vera, J. C. 2017. Efecto de la edad de corte y la época del año sobre el rendimiento y calidad de *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Staff en Yucatán, México. *J. Selva Andina Anim. Sci.* 4: 116-127.
- Miles, J. W. 2006. Mejoramiento genético en *Brachiaria*. Objetivos, estrategias, logros y proyección. *Past. Trop.* 28:1-26.
- Miles, J. W. and Lapointe, S. L. 1992. Regional germplasm evaluation: Aportfolio of germplasm options for the major ecosystems of tropical America. *In: Pastures for the tropical Lowlands: CIAT, Cali, Colombia.* 9-28.
- Moharrery, A., Hvelplund, T. and Weisbjerg, M. R. 2009. Effect of forage type, harvesting time and exogenous enzyme application on degradation characteristics measured using *in vitro* technique. *Anim. Feed Sci. Techn.* 153: 178-192.
- Molano, G. M. L. 2012. Caracterización nutricional de forrajes tropicales usando espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS). Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 148 p.
- Morrone, O. y Zuloaga, F. 1992. Revisión de las especies sudamericanas nativas e introducidas de los géneros *Brachiaria* y *Urochloa* (*Poaceae: Panicoideae: Paniceae*). *Darw.* 31: 43-109.
- Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Lara-Bueno, A., Rangel-Santos, R. y de la Rosa-Arana, J. L. 2016. Producción de materia seca de forrajes en condiciones de Trópico Húmedo en México. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 16: 3329-3341.

- Ndikumana, J. 1985. Étude de l'hybridation entre espèces apomictiques et sexuées dans le genre *Brachiaria*. Ph.D. Thesis. Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgium. 210 pp.
- Neto, A. F. G., Nascimento, J. D., Regazzi, A. J., Fonseca, D. M., Mosquin, P. R. e Gobbi, K. F. 2002. Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. Rev. Bras. Zoot. 31: 1890-1900.
- Nieuwenhyse, A. 2010. Lecciones aprendidas en recuperación de tierras de pasturas degradadas. In: Memorias VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos (Eds: Ibrahim, M. y Murgueitio, E.). 1ª ed. CATIE- CIPAV. Turrialba, Costa Rica. pp. 8.
- Nousiainen, J., Ahvenjärvi, S., Rinne, M., Hellämäki, M. and Huhtanen, P. 2004. Prediction of indigestible cell wall fraction of grass silage by near infrared reflectance spectroscopy. Anim. Feed Sci. Technol. 115: 295-311.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 7º ed. Washington, DC., US. National Academy Press. 381 p.
- Olivera, Y., Machado, R., del Pozo, P. P. 2006. Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. Past. Forr. 29: 5-29.
- Olivera, Y., Machado, R., Ramírez, J. F. y Castañeda, L. 2012. Evaluación del establecimiento de una colección de accesiones de *Brachiaria brizantha* asociadas con *Stylosanthes guianensis* CIAT-184. Past. Forr. 35: 153-164.
- Orozco, A. J., Angulo, L. M., Pérez, A. P. y Liodoro, J. H. 2012. Aspectos fisiológicos y bromatológicos de *Brachiaria humidicola*. CES Med. Vet. Zoot. 7: 87-98.
- Orskov, E. R., DeB Hovell, F. D. and Mould, F. L. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Trop. Anim. Prod. 5: 195-213.
- Ortega, G. R., Castillo, G. E., Jarillo, R. J., Escobar, H. R., Ocaña, Z. E. y Valles, M. B. 2011. Calidad nutricia de diez gramíneas en la época de lluvias en un clima cálido húmedo y suelo ultisol. Trop. Subtrop. Agroec. 13: 481-491.
- Ortega-Aguirre, C. A., Lemus-Flores, C., Bugarín-Prado, J. O., Alejo-Santiago, G., Ramos-Quirarte, A., Grageola-Núñez, O. y Bonilla-Cárdenas, J. A. 2015. Características agronómicas, composición bromatológica, digestibilidad y consumo animal en cuatro especies de pastos de los géneros *Brachiaria* y *Panicum*. Trop. Subtrop. Agroec. 18: 291-301.

- Palhano, A. I., de Faccio, P. C., Dittrich, J. R., de Moraes, A., Barreto, M. Z. e Ferreira, M. C. 2005. Sward structure and defoliation patterns in mombaçagrass according to different canopy heights. *Rev. Bras. Zoot.* 34: 425-433.
- Palmonari, A., Gallo, A., Fustini, M., Canestrari, G., Masoero, F., Sniffen, J. C. and Formigoni, A. 2016. Estimation of the indigestible fiber in different forage types. *J. Anim. Sci.* 94: 248-254.
- Paulino, V., Pedreira, J., Camargo, D., Meirelles, N., Bianchini, D. y Oliveira, P. 1991. Memorias del 2° encontro para discussão sobre capins do género *Brachiaria*. Instituto de Zootecnia y Fundação de Amparo á Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPSEP): 45-135.
- Pérez, A. J. A., García, M. E., Enríquez, Q. J. F., Quero, C. A. R., Pérez, P. J. y Hernández, G. A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria* híbrido). *Téc. Pec. Mex.* 42: 447-458.
- Pérez, B. M. T., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G. y Bárcena, G. R. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Téc. Pec. Mex.* 40: 251-263.
- Pérez, B. y Lazcano, C. E. 1992. Pasto Humidicola (*Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickhardt). Boletín técnico no. 181. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 15 p.
- Pérez-López, O. y Afanador-Téllez, G. 2017. Comportamiento agronómico y nutricional de genotipos de *Brachiaria* spp. manejados con fertilización nitrogenada, solos y asociados con *Pueraria phaseoloides*, en condiciones de la altillanura colombiana. *Rev. Fac. Med. Vet. Zoot.* 64: 52-77.
- Pizarro, E. A, Hare, M. D., Mutimura, M. and Changjun, B. 2013. *Brachiaria* hybrids: potential, forage use and seed yield. *Trop. Grass.* 1: 31-35.
- Pizarro, E. A. 2010. Potencial agronómico de especies forrajeras megatérmicas: género *Brachiaria*. In: III Congreso Asociación Uruguay de Producción Animal Montevideo, Uruguay. 14: 21-25.
- Pizarro, E. A. 2012. Folleto: Cayman, *Brachiaria* híbrido cv. CIAT BR02/1752. Grupo Papalotla. Research and Development Department. 12 p.
- Pomar, F., Merino, F., and Barceló, A. R. 2002. O-4-linked coniferyl and sinapyl aldehydes in lignifying cell walls are the main targets of the Weisner (phloroglucinol-HCl) reaction. *Protoplasma.* 220: 17-28.
- Provenza, F. D., Gregorini, P., and Carvalho, P. C. F. 2015. Synthesis: Foraging decisions link plants, herbivores and human beings. *Anim. Prod. Sci.* 55: 411-425.

- Quero, C. A. R., Enríquez, Q. J. F. y Miranda, J. L. 2007. Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o *status quo*. *Interciencia*. 32: 566-571.
- Quintao, L. R. M., Quintao, L. A. M., Lanna, R. G. and Miranda, L. E. 2016. Productivity and nutritive value of brachiaria forage intercropping with eucalyptus in a silvopastoral system in the Brazilian Cerrado biome. *Aust. J. Crop Sci.* 10: 654-659.
- Ramírez, J. L., Herrera, R. S., Leonard, I., Verdecia, D. y Álvarez, Y. 2012. Rendimiento y calidad de la *Brachiaria decumbens* en suelo fluvisol del Valle del Cauto, Cuba. *Rev. Electr. Vet.* 13: 1-11.
- Ramírez, O., Hernández, A., Carneiro, S., Pérez, J., Enríquez, J. F., Quero, A., Guadalupe, J., Herrera, H., Cervantes, A. 2009. Acumulación de forraje, crecimiento y características del pasto mombaza (*Panicum maximum* Jacq.). *Rev. Téc. Pec.* 47: 203-213.
- Ramírez, R. O., Hernández, G. A., Carneiro, S. S., Pérez, P. J., de Souza, J. S. J., Castro, R. R. y Enríquez, Q. J. F. 2010. Características morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto mombaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. *Trop. Subtrop. Agroeco.* 12: 303-311.
- Ravhuhali, K. E., Mlambo, V., Beyene, T. S. and Palamuleni, L. G. 2018. A comparative analysis of the morphology and nutritive value of five South African native grass species grown under controlled conditions. *Afric. J. Rang. For. Sci.* 1-4.
- Renvoize, S. A., Clayton, W. D., y Kabuye, C. H. S. 1998. Morfología, taxonomía y distribución natural de *Brachiaria* (Trin.) Griseb. *In: Miles, J. W., B. L. Maass y C. B do Valle (Eds.). Brachiaria: Biología, Agronomía y Mejoramiento.* CIAT EMBRAPA/CNPGC, Cali. 1-17.
- Revollo, E. E. L., Serna, D. O. D. y Hernández, T. J. 2012. Caracterización de actinobacterias raras, degradadoras de lignocelulosa: demostración de actividad lacasa en dos aislados de *Tsukamurella* spp. y *Cellulosimicrobium* spp. *Rev. Colomb. Biotecn.* 14: 70-80.
- Rezende, V. M., Paiva, P. C. A. and Barcelos, A. F. 2007. Ruminant degradability of napier grass silages produced with different levels of bran potato. *Agrotec. Sci.* 31: 485-491.
- Ribeiro, K. G., Pereira, O. G., Valadares, F. S. C., García, R. e Da Silva, C. L. 2001. Caracterização das frações que constituem as proteínas e os carboidratos, e respectivas taxas de digestão, do feno de capim tifton-85 de diferentes idades de rebrota. *Rev. Bras. Zoot.* 30: 589-595.
- Ribeiro, N. G., Ariano, A. P. R. and Silva, I. V. 2017. Death of pastures syndrome: tissue changes in *Urochloa* hybrid cv. Mulato II and *Urochloa brizantha* cv. Marandu. *Braz. J. Biol.* 77: 97-107.
- Richards, J. H. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. *In: Grasslands for Our World.* M. J. Baker (Eds.). SIR Publishing, Wellington. p. 46.

- Rincón, A., Ligarreto, G. A. y 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. Facul. Nal. Agric. 61: 4336-4346.
- Robinson, P. H., Givens, D. I. and Getachew, G. 2004. Evaluation of NRC, UC Davis and ADAS approaches to estimate the metabolizable energy values of feeds at maintenance energy intake from equations utilizing chemical assays and *in vitro* determinations. Anim. Feed Sci. Techn. 114: 75-90.
- Rodrigues, A. L. P., Sampaio, I. B. M., Carneiro, J. C., Tomich, T. R. e Martins, R. G. R. 2004. Degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais obtidas em diferentes épocas de corte. Arq. Bras. Med. Vet. Zoot. 56: 658-664.
- Rodríguez, J. y Avilés, L. 1997. Pastoreo intensivo y tradicional: su influencia sobre el sistema suelo-planta-animal en el sureste de México. Arch. Latin. Prod. Anim. 5: 72-75.
- Rodríguez, P. D. P. 2011. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Pastos. 32: 109-37.
- Rosero, N. R. y Posada, O. S. L. 2007. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. Rev. Col. Cien. Pec. 20:174-182.
- Rotger, A., Ferret, A., Manteca, X. J., Ruiz de la Torre, L. and Calsamiglia, S. 2006. Effects of dietary nonstructural carbohydrates and protein sources on feeding behavior of tethered heifers fed high-concentrate diets. J. Anim. Sci. 84: 1197.
- Sampaio, C. B., Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., de Souza, M. A., Lazzarini, I., Rodrigues, P. P. V. and de Queiroz A. C. 2010. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. Trop. Anim. Health Prod. 42: 1471-1479.
- Sánchez, D. E., Arreaza, L. C. y Abadia, B. 2005. Estudio de la cinética de degradación *in vitro* de cuatro forrajes tropicales y una leguminosa de clima templado. Rev. Corp. 6: 58-68.
- Santana, P. A. A., Pérez, L. A. A. y Figueredo, A. M. E. 2010. Efectos del estado de madurez en el valor nutritivo y momento óptimo de corte del forraje Napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) en época lluviosa. Rev. Mex. Cien. Pec. 1: 277-286.
- Santiago-Hernández, F., López-Ortiz, S., Ávila-Reséndiz, C., Jarillo-Rodríguez, J., Pérez-Hernández, P. and Guerrero-Rodríguez, J. D. 2015. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. Agrofor. Syst. 90: 339-349.

- Santos, F. C., Freitas, A. S., Castro, E. M., Davide, L. C., Souza, S. F. and Techio, V. H. 2014. Leaf anatomy and nutritive values of *Brachiaria ruziziensis* genotypes. *New. Zeal. J. Agr. Res.* 57: 128-135.
- Santos, M. P., Balsalobre, A. M. A. y Corsi, M. 2004. Características morfogénicas e taxa de acúmulo de forragem do capim-mombaça submetido a três intervalos de pastejo. *Rev. Bras. Zoot.* 33: 843-851.
- Schofield, P. 2000. Gas production methods. *In: Farm Animal Metabolism and Nutrition*, Chapter 10. Cab Intern., UK. 209-232.
- Slanac, A. L., Kucseva, C. D., Balbuena, O. y Rochinotti, D. 2011. Degradación ruminal en bovinos de la materia seca de *Sorghastrum setosum* a diferentes edades en época otoñal. *22: 105-108.*
- Soliva, C. R., Amelchanka, S. L. and Kreuzer, M. 2015. The requirements for rumen-degradable protein per unit of fermentable organic matter differ between fibrous feed sources. *Front. Microbiol.* 6: 1-17.
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach, 2nd Ed. McGraw-Hill, N.Y. 633 p.
- Stefanelli, L. M. A. e Silveira, P. C. G. 2011. Respostas morfogênicas e estruturais de dosséis de espécies de Braquiária à intensidade de desfolhação. *Pesq. Agropec. Bras.* 46: 760-767.
- Stern, M. D. and Satter, L. D. 1984. Evaluation of nitrogen solubility and the dacron bag technique as methods for estimating protein degradation in the rumen. *J. Anim. Sci.* 58: 714.
- Swenne, A., Louant, B. P. and Dujardin, M. 1981. Induction par la colchicine de formes autotétraploides chez *Brachiaria ruziziensis* Germain et Evrard (Graminée). *Agron. Trop.* 36: 134-141.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. 3rd Ed. Sunderland (USA): Sinauer Associates Inc. 690 pp.
- Tamele, O. H., Lopes de Sá, O. A. A., Bernardes, T. F., Lara, M. A. S. and Casagrande, D. R. 2017. Optimal defoliation management of brachiaria grass–forage peanut for balanced pasture establishment. *Grass Forage Sci.* 1-10.
- Tergar, L. E., Velez, S. J. and Saldanas, D. 1988. Production of grazed tropical grasses in different agroecosystem in Puerto Rico Humid Mountain. *J. Agric. Univ. Puerto Rico.* 72: 99-108.
- Thaikua, S., Ebina, M., Kouki, K., Inafuku, M., Akamine, H., Shimoda, K., Suenaga, K. and Kawamoto, Y. 2015. Preliminary evaluation on digestibility and the relation to morphology

- and water content of *Brachiaria* spp. and their heritability. Japan. Soc. Grass. Sci. 61: 92-100.
- Tivano, J. C. y Heinzen, F. A. 1996. Anatomía cuantitativa en 3 cultivares de *Dichanthium aristatum* (Poiret) C.E. Hubbard (Poaceae) para inferir su valor forrajero. Rev. Fac. Agron. 101: 15-23.
- Toro, V. P. A., Teresinha, B. T., Andrade, R. R., Rivera, R. A., Moura, D, P. H. e Molina de Almeida, T. A. 2010. Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade *in vitro* de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. Rev. Bras. Zoot. 6: 1206-1213.
- Tremblay, G. F., Michaud, R., Bélanger, G., McRae, K. B. and Petit, H. V. 2000. *In vitro* ruminal undegradable protein of alfalfa cultivars. Can. J. Plant Sci. 80: 315-325.
- Valenciaga, D., Herrera, R. S., de Oliveira Simoes, E. Chongo, B. y Torres, V. 2009. Composición monomérica de lignina de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115 y su variación con la edad de rebrote. Rev. Cub. Cien. Agric. 43: 315-319.
- Valle, C. B., Glienke, C. and Leguizamon, G. O. C. 1994. Inheritance of apomixis in *Brachiaria*, a tropical forage grass. Apom. News. 7: 42-43.
- Valles, M. B., Castillo, G. E. y Bernal, B. H. 2016. Rendimiento y degradabilidad ruminal de materia seca y energía de diez pastos tropicales cosechados a cuatro edades. Rev. Mex. Cien. Pec. 7: 141-158.
- Van Soest, P. J. 1965. Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 48: 785.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2ª Ed. Nueva York: Cornell University Press. 488 p.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dai. Sci. 74: 3583-3597.
- Vázquez, D. R., Abadía, B. y Arreaza, L. C. 2004. Aplicación de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para la caracterización nutricional del pasto Guinea y del grano de maíz. Rev. Corp. 5: 49-51.
- Vega, E. M., Ramírez, R. J., Acosta, L. I. e Igarza, A. 2006. Rendimiento, caracterización química y digestibilidad del pasto *Brachiaria decumbens* en las actuales condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto. Rev. Elect. Vet. 7: 1-6.

- Vergara, L. J. y Araujo, F. O. 2006. Producción, composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de *B. humidicola* (Rendle) Schweick en el bosque seco tropical. Rev. Cient. FCVLUZ. 16: 239-248.
- Villalobos, L. y Sánchez, M. I. J. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. Agron. Costarric. 34: 43-52.
- Wilson, G. C. Y., Hernández, G. A., Ortega, C. M. E., López, C. C., Bárcena, G. R., Zaragoza R. J. L. y Aranda, O. G. 2017. Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje, en el valle de México. Rev. Fac. Cien. Agr. UNCuyo. 49: 79-92.
- Wilson, J. R. 1990. Influence of plant anatomy on digestion and fibre breakdown. *In: Akin et al.*, (Eds.). Microbial and plant opportunities to improve the utilization of lignocellulose by ruminants. Els. Sci. Pub. 99-117.
- Wilson, J. R. 1997. Structural and anatomical traits of forage influencing their nutritive value for ruminants. *In: Simpósio internacional sobre producao animal em pastejo*. Viçosa, M. G. Anais. Viçosa, M. G: Universidade Federal de Viçosa. 173-208.
- Wilson, J. R., Denium, B. and Engels, F. M. 1991. Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperate forage species. Netherlands. J. Agric. Sci. 39: 31-40.
- Zavaleta, M. H. A. and Engleman, E. M. 1994. Anatomy of the ovule and seed of *Manilkara zapota* (L.) Van Royen (Sapotaceae). Phytomorphology. 44: 169-175.
- Zheng, W. J., Chen, G. C., Zhang, C. L., Hu, Y. X., Li, L. H. and Lin, J. X. 2002. Physiological adaptation of habitat by ion distribution in the leaves of four ecotypes of reed (*Phragmites australis*). Act. Bot. Sin. 44: 82-87.