



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CUATRO
PASTOS TROPICALES DURANTE EL
ESTABLECIMIENTO DE LA PRADERA

JESÚS MIGUEL CALZADA MARÍN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

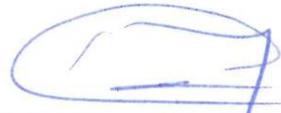
2019

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

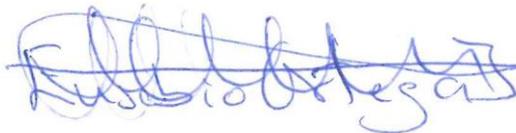
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe JESUS MIGUEL CALZADA MARIN, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor EUSEBIO ORTEGA JIMENEZ, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CUATRO PASTOS TROPICALES DURANTE EL ESTABLECIMIENTO DE LA PRADERA

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 31 de ENERO de 2019



Firma del
Alumno (a)



DR. EUSEBIO ORTEGA JIMENEZ

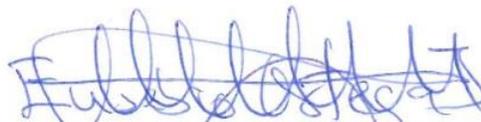
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CUATRO PASTOS TROPICALES DURANTE EL ESTABLECIMIENTO DE LA PRADERA. Realizada por el alumno: JESUS MIGUEL CALZADA MARIN. Bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. EUSEBIO ORTEGA JIMENEZ

DIRECTOR DE TESIS



DR. JAVIER FRANCISCO ENRIQUEZ QUIROZ

ASESOR



DR. SERGIO IBAN MENDOZA PEDROZA

ASESOR



DR. HUMBERTO VAQUERA HUERTA

ASESOR



DR. JOSE ALBERTO SALVADOR ESCALANTE ESTRADA

ASESOR



DR. JOSE AMADOR HONORATO SALAZAR

Montecillo, Texcoco, Estado de México, enero de 2019

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CUATRO PASTOS TROPICALES DURANTE EL ESTABLECIMIENTO DE LA PRADERA

Jesús Miguel Calzada Marín, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

El objetivo de este experimento fue realizar un análisis de crecimiento de los pastos Taiwan (*Pennisetum purpureum*), Chetumal (*Brachiaria humidicola* CIAT 679), Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) y Cayman (*Brachiaria* híbrida CIAT BR02/1752) desde la siembra hasta los 180 días después de la siembra, para encontrar el momento óptimo para el primer aprovechamiento. Se evaluó la composición morfológica (CM), tasa de crecimiento (TC), altura, radiación interceptada (RI), relación hoja/tallo (H:T), hoja/no hoja (H:NH) y biomasa aérea; a intervalos de quince días, a excepción de los dos primeros muestreos que fueron cada 30 días. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS, bajo un diseño experimental de bloques al azar, con medidas repetidas en el tiempo, con tres repeticiones. La CM de los pastos fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) a las diferentes edades de crecimiento. La máxima acumulación de biomasa total y TC se alcanzó a los 135 dds para los pastos Taiwan y Chetumal; a esta edad las praderas tenían una altura de 2.49 m y 0.68 m respectivamente, así como una RI de 92% y 100%. Para los casos de Toledo y Cayman la mayor biomasa total y TC se alcanzó a los 150 dds con una altura de 1.06 y 0.86 m respectivamente y 100% de RI en ambos casos. La relación H:T y H:NH en todos los casos disminuyeron con el incremento en la edad de las plantas. Para cada uno de los forrajes, se sugiere realizar el primer aprovechamiento cuando la mayor acumulación de biomasa total y TC coinciden.

PALABRAS CLAVE: *Pennisetum*, *Brachiaria*, crecimiento, biomasa, aprovechamiento, radiación interceptada.

GROWTH ANALYSIS OF FOUR TROPICAL GRASS DURING THE ESTABLISHMENT OF MEADOW

Jesús Miguel Calzada Marín, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

The objective of this experiment was to perform a growth analysis of the Taiwan (*Pennisetum purpureum*), Chetumal (*Brachiaria humidicola* CIAT 679), Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) and Cayman (*Brachiaria* hybrid CIAT BR02 / 1752) pastures from sowing to 180 days after sowing, to find the optimum moment for the first harvest. The morphological composition (CM), growth rate (TC), height, intercepted radiation (RI), leaf / stem ratio (H: T), leaf / non-leaf (H: NH) and aerial biomass were evaluated; at intervals of fifteen days, except for the first two samples that were every 30 days. The data were analyzed using the SAS GLM procedure, under an experimental design of randomized blocks, with measures repeated over time, with three repetitions. The CM of the pastures was statistically different ($P < 0.05$) at the different growth ages. The maximum accumulation of total biomass and TC was reached at 135 dds for the Taiwan and Chetumal pastures; at this age the grasslands had a height of 2.49 m and 0.68 m respectively, as well as an RI of 92% and 100%. For the cases of Toledo and Cayman the highest total biomass and TC was reached at 150 dds with a height of 1.06 and 0.86 m respectively and 100% of IR in both cases. The ratio H: T and H: NH in all cases decreased with the increase in the age of the plants. For each of the forages, it is suggested to make the first use when the greatest accumulation of total biomass and TC they match.

KEY WORDS: *Pennisetum*, *Brachiaria*, growth, biomass, harvesting, intercepted radiation.

DEDICATORIA

A mis padres Herman Calzada Robles† (*in memoriam*) y Noemí Candelaria Marín Loría, por sus sacrificios, apoyo incondicional en todo momento, enseñanzas y consejos a lo largo de mi vida; por ser mis guías desde el hogar.

A mis hermanos Agustín y Juan Alberto por su compañía y apoyo en los buenos y malos momentos y formar parte de mi vida; siempre presentes sin intereses alguno y si siempre positivos y animosos.

A mis hijos Axel y Layra; que pese a las adversidades han sido pacientes, comprensivos y amorosos y se que así serán siempre por ello son mi esperanza y el deseo de un mejor futuro reflejados en su ser fortalecidos a cada momento.

A mi esposa Paulina Vázquez Mendoza por su apoyo incondicional en este proceso y la realización de este trabajo; pero sobre todo por su comprensión, paciencia y amor para estar a mi lado y ser mi compañera de batallas y de logros y ser ese impulso que me alienta cada día y que al pasar de los años no decae nuestro amor.

In memoriam del Dr. Alfonso Hernández Garay† a quien le agradezco siempre su apoyo en la orientación y contribuciones para la realización del presente trabajo y para mi formación profesional; quien fuese un gran asesor y sobre todo un gran amigo.

¡¡¡Este trabajo es para todos y cada uno de ustedes con mucho amor!!!

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios Doctorales.

Al Colegio de Postgraduados y en especial al programa de Ganadería, por darme la oportunidad de formación profesional.

Al INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), por su apoyo otorgado para el uso de las instalaciones y equipo en el sitio experimental Papaloapan y en el campo experimental de Paso del Toro, Veracruz

A los Doctores Eusebio Ortega Jiménez, Javier Francisco Enríquez Quiroz, Iban Mendoza Pedroza, Alberto Escalante Estrada, Humberto Vaquera Huerta y José Amador Honorato Salazar por todo el apoyo incondicional en la dirección de esta investigación, su invaluable asesoría, consejos, disposición y enseñanza integral. Gracias.

A todos mis compañeros y amigos del área de forrajes del Colegio de Postgraduados y de la Universidad Autónoma Chapingo, con quienes he contado en cada momento y he tenido la fortuna de su apoyo incondicional y amistad, en particular a quienes han estado de manera muy cercana en estos momentos al Dr. Said Cadena, el Dr. Daniel Martínez, el Dr. Francisco Cigarroa y a todas las generaciones de forrajeros como los 4^{os} Bats, los Transformers y los abstemios.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivo General	3
Objetivos Especificos	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Descripción del pasto Taiwan (<i>Pennisetum purpureum</i> Schumacher).	4
DESCRIPCIÓN DEL PASTO CHETUMAL (<i>Brachiaria humidicola</i> [Rendle] Schweick).	5
DESCRIPCIÓN DEL PASTO TOLEDO (<i>Brachiaria brizanta</i> [A. Richard] Stapf). ..	6
DESCRIPCIÓN DEL PASTO YACARÉ o CAYMAN (<i>Brachiaria híbrida</i> cv. CIAT BR02/1752).	7
ANÁLISIS DE CRECIMIENTO.....	8
FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DEL FORRAJE.....	9
Clima.....	9
Temperatura	9
Radiación solar.....	11
Humedad.....	12
Suelo.....	15

FACTORES QUE AFECTAN EL REBROTE DE LAS PLANTAS FORRAJERAS.....	16
Meristemos de crecimiento	16
Reserva de carbohidratos	17
Área foliar remanente.....	18
VALOR NUTRITIVO DEL FORRAJE.....	19
Factores que afectan la composición química plantas forrajeras.....	21
Genotipo de las especies forrajeras	21
Estado de desarrollo vegetativo	21
Composición de los componentes de la planta	22
Luz, temperatura y humedad.....	22
FRECUENCIA E INTENSIDAD DE DEFOLIACIÓN	23
CONCLUSIONES.....	24
LITERATURA CITADA	25
CAPITULO 1. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO TAIWAN (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum) EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO	38
1.1. RESUMEN.....	38
1.2. ABSTRACT.....	39
1.3. INTRODUCCIÓN.....	40
1.4. MATERIAL Y MÉTODOS	42
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
1.6. CONCLUSIONES.....	52
1.7. LITERATURA CITADA	53

CAPITULO 2. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO CHETUMAL (<i>Brachiaria humidicola</i> CIAT 679) DURANTE EL ESTABLECIMIENTO EN UN CLIMA CALIDO HUMEDO	57
2.1. RESUMEN.....	57
2.2. ABSTRACT.....	58
2.3. INTRODUCCIÓN.....	59
2.4. MATERIAL Y MÉTODOS	61
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
2.6. CONCLUSIONES	71
2.7. LITERATURA CITADA	72
CAPITULO 3. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO TOLEDO (<i>Brachiaria brizantha</i> CIAT 26110) EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO	77
3.1. RESUMEN.....	77
3.2. ABSTRACT.....	78
3.3. INTRODUCCIÓN.....	79
3.4. MATERIAL Y MÉTODOS	81
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
3.6. CONCLUSIONES	92
3.7. LITERATURA CITADA	93
CAPITULO 4. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO CAYMAN O YACARÉ (<i>Brachiaria híbrido</i> CIAT BR02/1752) DURANTE EL ESTABLECIMIENTO EN UN CLIMA CALIDO HUMEDO	99
4.1. RESUMEN.....	99
4.2. ABSTRACT.....	100
4.3. INTRODUCCIÓN.....	101

4.4. MATERIAL Y MÉTODOS	103
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	106
4.6. CONCLUSIONES	113
4.7. LITERATURA CITADA	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Precipitación, temperatura máxima y mínima durante la fase de muestreo en el Sitio Experimental Papaloapan, Isla, Veracruz.	46
Figura 1.2. Dinámica de acumulación de forraje total, por componente morfológico, altura de la planta, radiación interceptada y cobertura del pasto Taiwan, en el primer aprovechamiento.	47
Figura 1.3. Cambios en la tasa de crecimiento, a través del tiempo, del pasto Taiwan en el durante el establecimiento.	49
Figura 1.4. Cambios morfológicos a través del tiempo del pasto Taiwan, en el primer aprovechamiento	50
Figura 1.5. Cambios a través del tiempo en la relación hoja:tallo y hoja:no hoja del pasto Taiwan, en el primer aprovechamiento.	52
Figura 2.1. Comportamiento de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante la fase de muestreo en el Sitio Experimental Papaloapan, Isla, Veracruz.....	65
Figura 2.2. Dinámica de acumulación de forraje total, por componente morfológico, altura de la planta, radiación interceptada y porcentaje de cobertura del pasto Chetumal durante el establecimiento.....	67
Figura 2.3. Cambios en la tasa de crecimiento, a través del tiempo, del pasto Chetumal durante el establecimiento.	68
Figura 2.4. Cambios morfológicos en pasto Chetumal en diferentes estadios de crecimiento durante el establecimiento.	70
Figura 2.5. Cambios a través del tiempo en la relación hoja/tallo y hoja/no hoja del pasto Chetumal, durante el establecimiento.....	71
Figura 3.1. Comportamiento de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante la fase de muestreo en el Sitio Experimental Papaloapan, Isla, Veracruz.....	85

Figura 3.2. Dinámica de acumulación de forraje total, por componente morfológico, altura de la planta, radiación interceptada y porcentaje de cobertura del pasto Toledo durante el establecimiento.	87
Figura 3.3. Cambios en la tasa de crecimiento, a través del tiempo, del pasto Toledo durante el establecimiento.....	89
Figura 3.4. Cambios morfológicos en pasto Toledo en diferentes estadios de crecimiento durante el establecimiento.	90
Figura 3.5. Cambios a través del tiempo en la relación hoja/tallo y hoja/no hoja del pasto Toledo, durante el establecimiento.	92
Figura 4.1. Comportamiento de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante la fase de muestreo en el Sitio Experimental Papaloapan, Isla, Veracruz.....	106
Figura 4.2. Dinámica de acumulación de forraje total, por componente morfológico, altura de la planta, radiación interceptada y porcentaje de cobertura del pasto Cayman durante el establecimiento.....	109
Figura 4.3. Cambios en la tasa de crecimiento, a través del tiempo, del pasto Cayman durante el establecimiento.	110
Figura 4.4. Cambios morfológicos en pasto Cayman en diferentes estadios de crecimiento durante el establecimiento.	112
Figura 4.5. Cambios a través del tiempo en la relación hoja/tallo y hoja/no hoja del pasto Cayman, durante el establecimiento.....	113

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México es un país que, debido a factores como su orografía, el hecho de que lo atraviesa el trópico de cáncer y el ser un territorio extenso quedando una parte dentro las zonas tropicales y la otra fuera de estas, la forma del territorio, ancho en el norte y angosto hacia el sur lo que genera diferente interacción con los océanos, lo hacen un país con diversidad ecológica (Muñoz, 2005). Debido a esto, en México hay una diversidad de climas, suelos y tipos de vegetación por lo tanto los sistemas de producción pecuaria se han tenido que adecuar a diversos ecosistemas, por ello se ha dividido al territorio en cinco grandes zonas ecológico-ganaderas, las cuales son: árida, semiárida, templada, trópico húmedo y trópico seco (Villegas *et al.*, 2001).

La región trópicale ocupa una superficie de 55.7 millones de ha, 28.2% de la superficie nacional y se produce el 35 y 20% de la producción nacional de carne y leche (Villegas *et al.*, 2001). En esta región predomina el sistema de cría de doble propósito, esta ganadería tiene índices productivos bajos y la base de la alimentación son los forrajes, esto se explica, por su disponibilidad, facilidad de obtención y bajo costo, en contraste con otras fuentes de alimentación (Koppel *et al.*, 2002; Hernández *et al.*, 2006; Calderón *et al.*, 2007). Para alimentar al ganado parte de los ecosistemas de las selvas del trópico han sido reemplazados por praderas de gramíneas introducidas como *Digitaria decumbens*, *Panicum máximum*, *Cynodon sp.*, *Pennisetum sp.* y *Brachiaria sp.* (De Alba, 1976; Cantú, 1990). No obstante, se estima que entre el 55 y 60 % de la superficie usada para la producción de forrajes está cubierta con pastos nativos, lo cuales pertenecen los géneros de *Axonopus spp.* y *Paspalum spp.*, estos se caracterizan por tener baja capacidad de carga y no cubren las necesidades de una ganadería productiva (Enríquez *et al.*, 1999; Calderón *et al.*, 2007). Por tal razón, uno de los ejes estratégicos de la reconversión tecnológica de la ganadería es el mejoramiento del

recurso forrajero, al sustituir especies poco productivas por otras de mayor rendimiento y mejores características agronómicas que permitan una producción sostenible de la pradera y el hato ganadero (Enríquez y Romero, 1999). Datos de la adopción de los pastos mejorados tiene un efecto directo de un incremento en la productividad del 24% en leche y 5% en carne (Argel, 2006).

El establecimiento de praderas comprende varias etapas que va desde la selección de la especie, preparación del terreno hasta que la pradera se encuentra lista a ser utilizada, ya sea mediante corte o pastoreo (Enríquez *et al.*, 1999). El establecimiento de la pradera determina el crecimiento y la producción de la pastura, es por eso que el manejo inicial tiene como objetivo mantener la mayor cantidad de plantas que sea capaces de rebrotar y estimular el amacollamiento de las plantas, además de controlar las malezas (Hampton *et al.*, 1999) con la finalidad de que la pradera tenga plantas vigorosas, libre de maleza y por consiguiente sea una pradera productiva. Para realizar recomendaciones de cultivares y manejo es necesario conocer el crecimiento de los pastos, para lo cual además de cuantificar la producción y calidad del forraje hay que considerar otras variables morfofisiológicas tales como altura de las plantas, relación hoja:tallo, tasa de expansión foliar y dinámica de ahijamiento, entre otras (Costa y Paulino, 1999; Ramirez *et al.*, 2010).

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar análisis de crecimiento de los pastos Taiwan, Chetumal, Toledo y Cayman durante el establecimiento, desde la siembra hasta los 180 días después de la siembra, para determinar el momento del primer corte.

Objetivos Especificos

1. Cuantificar la acumulación de biomasa total y por componente morfológico a diferentes edades de las plantas, además realizar un modelo de regresión del crecimiento de los pastos Taiwan, Chetumal, Toledo y Cayman durante el establecimiento, desde la siembra hasta los 180 días después de la siembra.
2. Determinar la composición morfológica, calcular la relación hoja:tallo y la tasa de crecimiento de los pastos Taiwan, Chetumal, Toledo y Cayman, a diferentes edades de las plantas, durante el establecimiento, desde la siembra hasta los 180 días después de la siembra.
3. Medir la altura del dosel y radiación interceptada de los pastos Taiwan, Chetumal, Toledo y Cayman, a diferentes edades de las plantas, durante el establecimiento, desde la siembra hasta los 180 días después de la siembra.
4. Analizar la información del crecimiento de los pastos Taiwan, Chetumal, Toledo y Cayman durante el establecimiento para realizar recomendaciones del momento de realizar el primer corte.

REVISIÓN DE LITERATURA

DESCRIPCIÓN DEL PASTO TAIWAN (*Pennisetum purpureum* Schumacher).

El pasto *Pennisetum purpureum* Schumacher cv Taiwan es originario de África, es una especie perenne, muy vigorosa que forma grandes macollos. Las hojas alcanzan una longitud de 30 a 120 cm y de 1 a 5 cm de ancho. Los tallos son erectos, ramificados en la parte superior, mide de 2 a 4 m de altura, de diámetro de 3 cm en la porción basal, produce gran cantidad de nudos y pequeños rizomas que originan nuevos tallos (Bogdan, 1997; Enríquez *et al.*, 1999).

La Inflorescencia es una panícula densa, de forma cilíndrica, esta emerge del tallo principal o de las ramas laterales, de 10 a 30 cm de longitud y de 15 a 30 mm de ancho; de color variable el cual puede ser verdoso, amarillo, café o purpura y con una alta densidad de tricomas en el raquis. Las espiguillas miden de 5 a 7 mm de longitud. Su propagación se hace principalmente con material vegetativo dividiendo el macollo o por cortes de tallo (Bogdan, 1997; Enríquez *et al.*, 1999).

Es una especie que se ha introducido en todas las regiones tropicales desde el nivel del mar hasta los 2000 m de altitud con precipitación superior a los 1000 mm. Prefiere áreas muy húmedas como riveras de los ríos, aunque es sensible a las inundaciones; puede sembrarse en gran variedad de suelos, su mayor potencial productivo es en suelos de alta fertilidad, profundos y permeables, aunque crece bien en suelos arcillosos y arenosos; en suelos ácidos y/o salinos disminuye su rendimiento. Crece bien y se desarrolla en temperaturas altas (25 a 40 °C), en temperaturas bajas su crecimiento disminuye (15 |C), y las plantas interrumpen su crecimiento con temperatura menor a 10 °C. (Bogdan, 1997; Enríquez *et al.*, 1999; Tropical Forages, 2017).

Se cultiva como forraje para ganado vacuno, ya sea en pastoreo o en corte, se utiliza en fresco o en la elaboración de ensilados; es un pasto de alta productividad, vigor competitivo, palatabilidad y persistencia. En praderas bien fertilizadas puede llegar a producir mas de 30 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ (Bogdan, 1997), en

un estudio realizado en Costa Rica reportan producción de 22 t MS ha⁻¹ en rebrotes de 140 días (Araya *et al.*, 2005). Debido a su potencial de producir biomasa, algunos cultivares de *Pennisetum* tienen potencial para ser utilizados en la producción de biotenaol de segunda generación (Ventura *et al.*, 2017).

DESCRIPCIÓN DEL PASTO CHETUMAL (*Brachiaria humidicola* [Rendle] Schweick).

Brachiaria humidicola es una gramínea originaria de África, con una distribución natural en el este y sureste de este continente, en países como Sudán, Uganda, norte y oeste de Tanzania, Zambia y Mozambique (Keller-Grein *et al.*, 1998; Enríquez *et al.*, 1999). El material que se cultiva en México como cv. Chetumal proviene del ecotipo *B. humidicola* CIAT 679, proveniente del programa de pastos tropicales del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), este se derivó del ecotipo CPI 16707, de la estación experimental Rietondale, Pretoria, Sudáfrica. En México fue liberado en 1992 por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Register of Australian Herbage Plant Cultivas, 1982; Keller-Grein *et al.*, 1998).

El pasto Chetumal es una gramínea perenne de crecimiento estolonífero, crece a una altura de 100 cm, formando una densa cobertura, los tallos postrados o arqueados en la parte inferior del dosel forman la raíz de los nudos inferiores; los estolones son fuertes, largos de color verde claro y también de color púrpura, enraízan con facilidad. Los tallos florales son erectos de 20 a 60 cm de altura. Las hojas son erectas, lanceoladas, glabras, de color verde intenso, de 0.5 a 1.6 cm de ancho y 8 a 16 cm de longitud, con lígula pequeña y pubescente. La inflorescencia es una panícula de 7 a 12 cm de longitud, con tres o cinco racimos, de 2 a 5 cm de longitud, espiguillas biflorales, distribuidas a lo largo de un lado del raquíz, semilla es fértil con alto grado de latencia (Register of Australian Herbage Plant Cultivas, 1982; Enríquez *et al.*, 1999).

Crece bien en regiones tropicales desde el nivel del mar hasta los 1800 m de altitud, con precipitaciones entre 1500 y 4000 mm al año. Se comporta bien en

diferentes tipos de suelo, desde fértiles hasta suelos pobres y ácidos (pH 3.5) con saturación de aluminio y niveles de fósforo bajos, de francos a arcillosos. Tolera bien los excesos de humedad, pero no el encharcamiento prolongado. Se usa para la alimentación de ganado y como cubierta vegetal para el control de la erosión (Register of Australian Herbage Plant Cultivars, 1982; Pérez y Lascano 1992; Enríquez *et al.*, 1999).

DESCRIPCIÓN DEL PASTO TOLEDO (*Brachiaria brizantha* [A. Richard] Stapf).

El pasto Toledo se deriva del material de *Brachiaria brizantha* recolectado el 15 de mayo de 1985 por C. Keller-Grein, Investigador del CIAT, con la colaboración de técnicos de la Institución Nacional de Investigación de Burundi en África (ISABU). El sitio de colecta está ubicado entre Bubanza y Bukinanyama en el estado de Cibioke, a 2° 53' de latitud sur y 26° 20' de longitud oeste, con una precipitación anual de 1710 mm. En octubre de 1985 este material fue registrado en el banco de germoplasma del CIAT con el número 26110. También fue registrado en Brasil por la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) con el código BRA-004308. En Costa Rica fue introducida en 1988 y liberada en 2001 como pasto Toledo. En Brasil este material fue liberado como MG5 cultivar Victoria (Argel, 2000; Lascano *et al.*, 2002).

Se considera que *Brachiaria brizantha* CIAT 26110, al igual que otras accesiones de esta especie, es poliploide de reproducción apomítica. Algunas investigaciones no publicadas realizadas en EMBRAPA, indican que es pentaploide, es decir que tiene cinco conjuntos completos de cromosomas (Lascano *et al.*, 2002).

El pasto Toledo es una gramínea perenne que crece formando macollos y puede alcanzar una altura de 1.6 m. Produce tallos vigorosos capaces de enraizar en los nudos cuando entra en contacto con el suelo, ya sea por pisoteo o por compactación mecánica, lo cual favorece el cubrimiento y desplazamiento lateral de la gramínea. Las hojas son lanceoladas con poca pubescencia de hasta 60 cm de longitud y 2.5 cm de ancho. La inflorescencia es una panícula de 40 a 50 cm de longitud, generalmente con cuatro racimos de 8 a 12 cm y una hilera de espiguillas

sobre ellos. Cada tallo produce una o más inflorescenciasproveniente de diferentes nudos, aunque la de mayor tamaño es la terminal (Argel, 2000; Lascano *et al.*, 2002).

El cv. Toledo se adapta a un amplio rango de climas y suelos. Crece bien en condiciones de trópico subhúmedo con periodos secos entre 5 y 6 meses y promedios de lluvia anual de 1600 mm y en localidades de trópico muy húmedo con precipitaciones anuales superiores a 3500 mm. Se desarrolla bien en suelos ácidos de baja fertilidad, pero se desempeña mejor en suelos de mediana a buena fertilidad. Tolera suelos arenosos y persiste en suelos mal drenados, aunque en este caso su crecimiento puede reducirse si se mantiene a un nivel freático próximo a la superficie del suelo por más de 30 días. En Colombia, con fertilidad y climas contrastantes, los promedios de producción del pasto Toledo varían entre 25 y 33 t de MS ha⁻¹ año⁻¹. Este pasto se establece por medio de semilla gámica, la cual generalmente es de buena calidad dando como resultado plántulas con buen desarrollo; también se puede propagar con mateirla vegetativo (Argel, 2000; Lascano *et al.*, 2002).

El pasto Toledo es utilizado bajo pastoreo con bovinos y se ha observado que los equinos seleccionan las hojas tiernas de esta gramínea. Debido a su habito de crecimiento, en forma de macollos, este cultivar se asocia bien con leguminosas forrajeras de crecimiento estolónífero como *A. pintoi* y *D. heterocarpum* subsp *ovalifolium* (Argel, 2000; Lascano *et al.*, 2002).

DESCRIPCIÓN DEL PASTO YACARÉ O CAYMAN (*Brachiaria Híbrida* cv. CIAT BR02/1752).

El clon apomíctico BR02/1752 resultó de cruzar un clon sexual, identificado como SX00NO/1145, seleccionado el cuarto ciclo de una población de cría sexualmente reproductora, tetraploide, sintética, con la accesión de germoplasma de *B. brizantha* apomíctica CIAT 16320. La Población de cría sexual sintética

contiene germoplasma de *B. ruziziensis*, *B. brizantha* y *B. decumbens*. El clon BR02/1752 fue seleccionado de una población híbrida biparental, que se formó al exponer plantas de clon sexual (materno), SX00NO/1145, al polen del CIAT 16320 en un bloque de cruce de campo en 2001. El híbrido BR02/1752 fue evaluado y seleccionado por primera vez en una prueba de campo en 2002. Su comportamiento de apomixis fue confirmado mediante pruebas de progenie en campo de la sede central del CIAT en 2003 (Pizarro, 2013).

El cv. Cayman tiene crecimiento amacollado-semidecumbente; produce gran cantidad de estolones, en presencia de humedad modifica su hábito de crecimiento y desarrolla gran cantidad de tallos decumbentes, los cuales producen hijos y raíces en los nudos, dichas raíces superficiales dan sostén, absorción de nutrientes y proveen oxígeno a la planta en condiciones adversas de mal drenaje. El pasto Cayman tiene buena persistencia; además de buena resistencia a la sequía, requiere suelos de mediana a alta fertilidad, se adapta a suelos ácidos y es tolerante al salivazo (Grupo Papalotla S/A).

En pruebas realizadas en México, a cuatro años de establecida la pradera superó al pasto Insurgente en cobertura del suelo 83 vs 53%. En producción de forraje también ha superado al pasto Insurgente, produce 21 t MS ha⁻¹ en rebrotes de 120 días. En pruebas de tolerancia a suelos inundados el pasto Cayman ha tolerado hasta 85 días de inundación. Se utiliza en pastoreo, en la elaboración de heno y ensilado (Pizarro, 2013).

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO.

El crecimiento vegetal es el aumento irreversible del peso seco, altura o diámetros del cuerpo de las plantas, éstos son susceptibles de ser medidos (Rojas, 1993) y de ser modificado por factores ambientales como el clima, el suelo y prácticas agronómicas como fertilización (Pearson y Ison, 1987; Velasco *et al.*, 2001). Tradicionalmente, el crecimiento de plantas forrajeras se analiza mediante

índices de eficiencia como la tasa de crecimiento del cultivo (kg o t de materia seca por día y unidad de superficie), la tasa relativa de crecimiento (g de materia seca por g de peso seco existente en un tiempo específico) (Hernández-Garay *et al.*, 1992). El primer índice es consecuencia de la tasa de fotosíntesis de la pradera fuertemente influenciada por el clima, fertilidad del suelo y manejo agronómico de la pradera (Hodgson *et al.*, 1981).

FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DEL FORRAJE.

Clima.

El crecimiento de las plantas forrajeras y productividad de las praderas son influidos por la temperatura, frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia y cantidad de radiación solar que incide sobre las praderas. Estos elementos del clima son responsables de la estacionalidad en la producción de forraje de las praderas (Blanco, 1991). Consecuentemente, es difícil tener una producción sostenida de las praderas tropicales, a través del año. La tasa de crecimiento de las praderas varía en el año con la temperatura ambiental, la distribución de las lluvias y la cantidad de radiación solar fotosintéticamente activa que incide sobre el área foliar de las praderas. (McKenzie *et al.*, 1999; Perreta *et al.*, 1997; Matthew *et al.*, 2001; Lemaire, 2001; Moliterno, 2002). La constitución genética de las distintas especies forrajeras determina la magnitud de tasa crecimiento la cual es modificada por el clima, el tipo y fertilidad del suelo, las prácticas agronómicas (Perreta *et al.*, 1997; Moliterno, 2002).

Temperatura

La temperatura es el elemento del clima que influye en la tasa de aparición de las hojas de las gramíneas forrajeras, en la tasa de crecimiento de la pradera y en la tasa de elongación del tallo y hojas. Además, determina la distribución de las plantas forrajeras y diversidad de las especies en las praderas. Cada aspecto de las plantas forrajeras asociado a la producción de materia seca tiene una temperatura

óptima, situaciones con temperaturas ambientales inferiores o superiores disminuyen el área foliar fotosintéticamente activa y consecuentemente la productividad de las praderas (Parson y Chapman, 2000). Los procesos bioquímicos y fisiológicos relacionados con la síntesis, transporte y degradación de sustancias en las plantas, son influenciados por la temperatura, debido al efecto directo que ejerce sobre la velocidad de reacción de las enzimas que participan en diversas reacciones bioquímicas y sobre el mantenimiento de la integridad de las membranas (Simpson y Vulnevor, 1987).

La temperatura para máxima tasa de crecimiento (máxima tasa de fotosíntesis) varía entre las especies forrajeras tropicales. En general, Baruch y Fisher (1991) reportan que la temperatura óptima esta entre 35 y 39 °C, y para las leguminosas tropicales entre 30 y 35 °C. Ambos tipos de plantas forrajeras son muy sensibles a temperaturas inferiores a la zona térmica óptima. En la mayoría de las especies forrajeras tropicales, los efectos negativos sobre la tasa de crecimiento ocurren entre 0 y 15 °C y, en pocas especies a 20 °C, si la humedad en el suelo no es un factor limitante para el crecimiento. Jiménez y Martínez (1984) señalan, que temperaturas superiores a la zona térmica óptima estimulan la respiración celular de las plantas, duplicándose o triplicándose la producción de anhídrido carbónico por cada 10 °C de aumento en la temperatura, mientras la temperatura no sea superior a 45 °C, aumentando la formación de materia orgánica en las plantas forrajeras. Las temperaturas superiores a la temperatura óptima reducen sustancialmente la tasa de crecimiento, por disminuir la tasa de fotosíntesis al desnaturalizar las enzimas del ciclo de Calvin y aumentar la tasa de respiración, junto con lo anterior aumenta la tasa de transpiración estableciéndose un balance hídrico negativo que reduce la expansión celular y, por consiguiente, el crecimiento (Durand *et al.*, 1999). Las tasas de fotosíntesis y de respiración influyen sobre la tasa de aparición y expansión de hojas, tasa de aparición de tallos y de estolones y el crecimiento de las raíces (McKenzie *et al.*, 1999; Buxton y Fales 1994).

Para enfrentar el estrés de las temperaturas superiores a la óptima, las gramíneas aumentan el contenido de lignina en la pared celular de las hojas

afectando, negativamente la digestibilidad y la calidad de la materia seca que acumulan. Por ejemplo, a temperaturas superiores a la óptima, el contenido de componentes estructurales aumentó y la digestibilidad de la materia seca de las hojas y tallos disminuyó en plantas de *Cynodon dactylon*, *Panicum maximum* var. trichoglume, *Lolium perenne* y *Medicago sativa* (Wilson, 1983). Las temperaturas máximas y mínimas, del período de diciembre a marzo, influyeron negativamente en el rendimiento de materia seca de los pastos *Cynodon dactylon*, *Panicum maximum* y *Cenchrus ciliaris*; especialmente a temperaturas menores a 20 °C (Herrera, 1984).

En los meses más fríos del año (enero y febrero) en una pradera con *Digitaria decumbens* la tasa de crecimiento osciló entre los 5 y 7 kg MS/ha/día en la sequía y sin fertilización. Al aplicar fertilizantes y riegos la tasa de crecimiento de la misma pradera fue mayor a 24 kg MS/ha/día, demostrando que además de la temperatura la disponibilidad de agua y nutrimentos para las gramíneas influyen en la acumulación de materia seca. En el resto de los meses del año, las tasas de crecimiento no fueron afectados por la temperatura; como fue comprobado por Ayala *et al.* (1989) en praderas de *Pennisetum purpureum*.

Radiación solar

La radiación solar es otro elemento del clima que se relaciona estrechamente con procesos fisiológicos fundamentales, vinculados con el crecimiento y los cambios morfológicos que experimentan las gramíneas durante el desarrollo vegetal. La conversión de energía solar en biomasa forrajera es variable y depende de las vías metabólicas para la fijación de carbono de la fotosíntesis, por lo que la tasa de fotosíntesis de los pastos es una función de la radiación fotosintéticamente activa que incide sobre la pradera. Las plantas C4, fotosintetizan más por unidad de radiación solar absorbida y alcanzan la saturación lumínica a niveles superiores a las plantas C3, con eficiencias de hasta un 6%. Sin embargo, en condiciones normales de crecimiento las hojas superiores reducen los niveles de radiación al

resto del follaje, y sólo una parte de ellas alcanza su potencial fotosintético, lo que hace que bajo estas condiciones se logre la saturación lumínica a intensidades superiores. Por otra parte, bajo condiciones de campo, las hojas están orientadas en diferentes direcciones y la intensidad de radiación a la que la mayoría de ellas están expuestas es mucho más baja que cuando se disponen en un plano horizontal y parte de la energía que llega es dispersada por la misma vegetación, a través de la reflexión y transmisión (Cruz y Moreno, 1992).

Buxton y Fales (1994) señalaron que en las regiones tropicales la reducción de la intensidad de radiación por el efecto de la sombra cambia la composición química de los forrajes y, en especial, sus componentes celulares, aunque las respuestas son variables según la combinación de especies. Wilson (1983) encontró un aumento en el contenido y rendimiento de nitrógeno en *Panicum* y *Chloris* de un 17 y 36%, respectivamente, mientras en *Cenchrus*, éste disminuyó en 4% cuando los niveles de radiación disminuyeron un 50%. En *Cynodon nlemfuensis*, la reducción de la radiación mejoró en 3.7 y 2.3 unidades porcentuales la proteína bruta y el contenido de cenizas, respectivamente, disminuyendo en 4.5% los componentes estructurales (Del Pozo y Jeréz, 1999). Por su parte, Hernández (2000) señaló que la reducción en la intensidad luminosa por el sombreo, mejora la digestibilidad de la materia seca debido a una disminución en el contenido de pared celular. Además, argumentaron que las variaciones producidas en la calidad de los pastos debido a la radiación, están más relacionadas con los cambios anatómicos y morfológicos, que por el incremento o disminución de algunos de sus constituyentes químicos.

Humedad

El volumen de agua caída por las precipitaciones y la distribución de los eventos de lluvia en el año ejercen efectos notables en el crecimiento del área foliar, el desarrollo de tallos y el crecimiento radicular (Fisher *et al.*, 1996), así como en la relación de los factores bioquímicos y fisiológicos que ocurren en la planta. El agua

es un componente esencial en las células de las plantas, casi todos los procesos metabólicos dependen de su presencia; además, se requiere para el mantenimiento de la presión de turgencia, la difusión de solutos en las células y suministra el hidrógeno y oxígeno que están involucrados durante el proceso fotosintético (Lösch, 1995). Tanto el exceso, como el déficit de agua, pueden provocar situaciones de estrés en los cultivos forrajeros. En el caso del primero, generalmente ocurre en los suelos mal drenados durante la estación lluviosa o en las regiones donde las precipitaciones son altas durante todo el año. Su efecto fundamental radica en que causa anoxia en las raíces, afectando su respiración aerobia, absorción de minerales y agua. Si este se prolonga en especies no tolerantes, disminuye la asimilación y distribución del carbono, produciéndose cambios metabólicos que activan la respiración anaerobia, lo cual implica una menor eficiencia energética y bio-productiva en las plantas (Baruch, 1994a). Por otra parte, modifica la distribución y producción de la biomasa, la tasa de crecimiento y concentración de minerales en las plantas, aspecto que fue demostrado por Baruch (1994b) en *Hyparrhenia rufa*, *Andropogon gayanus* cv Llanero, *Brachiaria mutica* y *Echinochloa polystachya*, en condiciones de inundación durante 20 a 25 días.

El estrés causado por sequía es común en las regiones tropicales, el cual afecta el comportamiento fisiológico y morfológico de las plantas. La magnitud del efecto depende de la intensidad del estrés hídrico y del estado desarrollo vegetativo. Las consecuencias del efecto son reducción de la expansión celular debido a la disminución de la presión de turgencia, el cierre de estomas, la tasa de transpiración, la tasa de fotosíntesis (Antolín y Sánchez-Díaz, 1993). Las consecuencias de lo anterior es la alteración en la distribución de la biomasa en la planta (Baruch y Fisher 1991), disminución del área foliar y del área foliar fotosintéticamente activa, aumento del incremento de la senescencia y caída de las hojas. En condiciones de estrés hídrico, los cambios morfológicos podrían beneficiar la calidad de la materia seca de las gramíneas, por reducir en el crecimiento de los tallos, aumentar la proporción de hojas, y retrasar la madurez de los tejidos vegetales (Lösch, 1995).

El efecto de los eventos de lluvia en la magnitud de los procesos morfológicos, bioquímicos y fisiológicos, relacionados con el crecimiento y la calidad de los pastos, depende de múltiples factores asociados al ambiente, al suelo y la especie de planta. Se menciona, en la literatura científica, que el crecimiento de los pastos depende de la humedad disponible en el suelo, la cual está estrechamente relacionada con la cantidad y distribución de los eventos de lluvia, de la estructura y pendiente del suelo, de la intensidad de la radiación solar y temperatura ambiental. Así que, la cantidad de materia seca acumulada en una pradera, es consecuencia de la intensidad del déficit hídrico durante el periodo de crecimiento de cada rebrote (Gillet, 1984).

La disponibilidad de agua en el suelo para las plantas forrajeras es una condición necesaria para que las plantas expresen su potencial biológico para producir materia seca (Jensen *et al.*, 2003). El nivel de humedad en el suelo influye en el contenido de proteína cruda (PC), en la digestibilidad de la fibra detergente neutro (DFDN), de la materia seca *in vitro* (D/VMS), y de la fibra detergente neutro (FDN) constituyentes importantes de la calidad de la materia seca. En pasto Ovillo y Ballico Perenne irrigados se cosecho materia seca de la calidad esperada, sin embargo, en praderas de pasto Ballico tetraploide la materia seca cosechada tuvo mayor concentración de PC, D/VMS y menor concentración de FDN comparados con las variedades diploides. En general, se reporta que, con el aumento del estrés hídrico, el valor nutricional del forraje (PC y DFDN) aumentó en 9% (Jensen *et al.*, 2003).

Las plantas expuestas a estrés hídrico cambian su morfología y fisiología para reducir la pérdida de agua y mejorar la eficiencia en consumo de la misma. El déficit hídrico afecta negativamente la expansión del área foliar (Passioura, 1982). En general, la elongación celular es más sensible al déficit hídrico que la división celular (Turner y Begg, 1978). Las implicaciones son reducción en la tasa de crecimiento foliar (menor tamaño de las hojas), tasa de aparición de tallos, menor número de hojas vivas por tallo, mayor número de hojas y tallos senescentes, en comparación con los cultivos irrigados y sin situaciones de estrés hídrico (Turner y Begg, 1978).

Suelo

Las propiedades físicas y químicas del suelo, en el que crecen las gramíneas, determinan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Las propiedades físicas, como la textura y porosidad, influyen directa o indirectamente sobre la calidad nutritiva de la materia seca de los forrajes. Por ejemplo, una pobre aeración en los suelos disminuye la absorción de elementos esenciales, como el fósforo. Suelos ricos en vida biótica tienen mejor aeración y fertilidad. Las propiedades químicas del suelo determinan la cantidad y tipo de nutriente disponible para las plantas. Por ejemplo, el fósforo es disponible a pH de 6 y 7, en suelos ácidos el fósforo reacciona con hidróxido de hierro, aluminio y magnesio formando un compuesto insoluble, por lo que el fósforo no está disponible para la planta (Oelberg, 1956). La fertilidad de los suelos es el factor clave, para el crecimiento de las plantas, productividad de las praderas y calidad de la materia seca cosechada (más contenido de proteína cruda). Existe una relación directa entre el nivel de fertilidad del suelo y productividad de los sistemas ganaderos pastoriles (Robinson, 2005).

En suelos fértiles el valor nutritivo de la materia seca de los pastos es mayor que en suelos poco fértiles debido a que suministran la cantidad de nutrimentos que las plantas requieren para su crecimiento y desarrollo. Con la fertilización se incrementa la cantidad de algunos nutrimentos que el suelo no puede proporcionar a las plantas. El ejemplo clásico es el nitrógeno, que al adicionarlo aumenta la concentración de sustancias nitrogenadas en la materia seca de los forrajes (Rodríguez *et al.*, 1976).

La mayoría de las gramíneas perennes cultivadas tiene mayor necesidad del nitrógeno, pero los suelos donde crecen tienen menor contenido de materia orgánica y proveen menor cantidad de nitrógeno a las plantas forrajeras. El nitrógeno es el nutriente que limita la productividad de las praderas y calidad de la materia seca producida. Afortunadamente, la fertilización nitrogenada en los sistemas pastoriles es fácil de implementar (Robinson, 2005). El nitrógeno estimula el desarrollo de las hojas y tallos, produce un color verde oscuro en las plantas

debido a la abundancia de clorofila. La aplicación excesiva de nitrógeno retrasa la maduración de las plantas por prolongar el proceso de desarrollo vegetativo de las plantas. También la absorción tardía de nitrógeno retrasa la maduración, por estimular el desarrollo vegetativo. Si se aplica nitrógeno en la época adecuada, se acelera el crecimiento y, en consecuencia mejora su calidad (Robinson, 2005).

FACTORES QUE AFECTAN EL REBROTE DE LAS PLANTAS FORRAJERAS.

El rebrote, es decir el nuevo brote de las gramíneas perennes, es la acumulación de materia seca durante un periodo específico. Es una forma de crecimiento que implica formación de hojas y tallos; y la senescencia y descomposición de los mismos. La tasa de acumulación de materia seca durante el rebrote está determinada por factores ambientales y por el nivel de defoliación de las praderas. La capacidad para rebrotar de una planta forrajera, después de una defoliación, depende de factores intrínsecos de las plantas, entre ellos la tasa de amacollamiento, velocidad de activación de los meristemos, rapidez de la restitución del área foliar fotosintéticamente activa y cantidad de reservas de carbohidratos en la raíz (Hunt y Field, 1979).

Meristemos de crecimiento

En las gramíneas perennes, el crecimiento ocurre en los meristemos que están protegidos por hojas (Valentine y Matthew, 1999; Bidwell, 1979). Los meristemos son zonas de tejido embrionario, que al recibir el estímulo fisiológico y ambiental, experimenta cambios debido a la diferenciación, la división y la expansión celular (Bidwell, 1979). A nivel de una pradera, el tejido meristemático se ubica en la parte basal de los tallos de las gramíneas forrajeras, a nivel del suelo o por debajo del mismo. La función de las zonas meristematicas es proporcionar la condición de continuidad del crecimiento de las gramíneas (perennes) mediante la incesante producción de hojas y tallos (Gold y Caldwell, 1989). Debido a esto, las gramíneas forrajeras después de cada defoliación rebrotan, siempre que existan las

condiciones favorables de humedad y temperatura para un nuevo crecimiento. Para cuidar esta condición de rebrote las zonas meristemáticas no deben ser removidas por la defoliación y permanecer en estado vegetativo (Davies, 1988).

En las gramíneas forrajeras, hay meristemas apicales y laterales sensibles a estímulos ambientales, que al ser activos inician el proceso de transformación para definir la morfología de las plantas. Del meristemo apical se origina la parte aérea de las plantas, tallos, hojas, inflorescencia y semillas (Bidwell, 1979). La activación de estas zonas meristemáticas, inicia la formación de nuevo tejido o individuo completo. En tanto que, la edad de los tallos y cantidad de tejido removido causa pérdidas en la biomasa, disminuye el área foliar y la cantidad de reserva de carbohidratos (Briske, 1991). Valentine y Matthew (1999), Chapman y Lemaire (1993) y Davies (1988) coinciden al reportar que los meristemas de crecimiento son favorecidos por defoliaciones arriba de las zonas meristemáticas, por lo que en sistemas pastoriles deben planificarse para que el ganado defoliese las plantas arriba de las zonas meristemáticas.

Reserva de carbohidratos

Las plantas forrajeras al ser defoliadas experimentan una situación de estrés por la remoción del tejido fotosintético y se modifica el estado fisiológico, previo a la defoliación (Bazzaz *et al.*, 1987). Al ser removidas las hojas, de las plantas, se produce un desbalance entre los órganos fuente y órganos demanda (Richards, 1993). Defoliaciones poco frecuentes, dan oportunidad a las plantas forrajeras para reestablecer el equilibrio fuente-demanda, al aumentar el suministro de carbohidratos producidos por la fotosíntesis. Por el contrario, defoliaciones muy frecuentes o severas causan que las plantas tarden en restaurar dicha condición fisiológica (Chapman y Lemaire, 1993). Después de una defoliación, el crecimiento inicial de las plantas depende de las reservas de carbohidratos solubles, mientras no acumulen suficiente área foliar fotosintéticamente activa para producir los fotoasimilados que requiere para sostener el crecimiento y desarrollo de sus

órganos (Parson y Chapman, 2000). La velocidad de crecimiento y estructura de las plantas forrajeras después de una defoliación depende de la frecuencia y severidad de la defoliación. Según Hodgson (1990) y Ballerstedt (1994), el crecimiento inicial de plantas forrajeras con defoliaciones ligeras, es acosta de las reservas de carbohidratos almacenadas en las raíces y base de los tallos de las plantas forrajeras, y pocos días después de los foto-asimilados que producen las hojas fotosintéticamente activas del área foliar remanente y las formadas recientemente. El resultado es una tasa de crecimiento mayor comparado con aquellas de plantas sin área foliar remanente. Estas últimas plantas, tendrán menor tasa de crecimiento al depender el crecimiento inicial solo de las reservas de carbohidratos. Volenec (1986) reporta, que el 50% de las reservas de carbohidratos solubles, de pasto festuca alta, fueron consumidas en los primeros cuatro días después de la defoliación; y restituida después de 24 días post defoliación. Esto significa que las praderas de festuca necesitan no ser apacentadas en los primeros 30 días después de cada defoliación. El periodo de recuperación es necesario para asegurar la renovación del tejido foliar fotosintéticamente activo (Ballerstedt, 1994).

Área foliar remanente

La cantidad de área foliar de las praderas después de una defoliación, a condición que las hojas remanentes sean fotosintéticamente activas, estimula el rebrote al producir foto-asimilados. La tasa de fotosíntesis del área foliar residual será mayor cuando las hojas son jóvenes, y es modificada por el clima y suelo. La estructura de las plantas es resultado del nivel de desarrollo de los vástagos y distribución de los mismos en la corona de los pastos. Así que, la composición morfológica de las plantas variará de una planta a otra, particularmente en situaciones de defoliaciones severas (Sheath y Bircham, 1983). Davies (1988) y Watson, (1972) señalan que la tasa de rebrote está relacionada con la cantidad de hojas fotosintéticamente activas remanentes, después del corte o pastoreo. A mayor área foliar fotosintéticamente activa mayor la tasa de crecimiento de la pradera, debido a que la cantidad de foto-asimilados satisfacen la necesidad para el

mantenimiento de las plantas y la sobrante se almacena en forma de almidón y azúcares solubles en los tallos. La velocidad de restitución del área foliar fotosintéticamente activa depende de la constitución genética de las plantas, del estado de desarrollo del tejido meristemático remanente, la cantidad de tejido, de la fertilidad del suelo, y de la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas (Richards, 1993; King *et al.*, 1979).

VALOR NUTRITIVO DEL FORRAJE

La calidad del forraje se refiere a la concentración nutrimentos y fibra digestible en la materia seca de las plantas forrajeras. La calidad de la materia seca se reporta en términos de composición química y digestibilidad de la materia seca (Skerman *et al.*, 1991). La composición química de la materia seca de las gramíneas tropicales cambia con la edad de las plantas, varía entre especies, y es modificada por el clima. Las especies forrajeras difieren en la composición química de la materia seca (Rodríguez-Romero *et al.*, 2004; Van Soest, 1994), en palatabilidad, grado de aceptación por el ganado, concentración de nutrimentos, digestibilidad de la pared celular; así como, por la presencia y cantidad de sustancias tóxicas (Humphreys, 1991). Todos estos factores influyen negativamente en el consumo voluntario y desempeño del ganado que las consume (Herrera y Hernández, 1993).

La composición química de la materia seca de los forrajes se determina con los métodos de análisis proximal de Weende y para fibras de Van Soest (Van Soest *et al.*, 1994; Yapes y Tamayo, 2003). El análisis proximal de Weende fracciona el contenido de la materia seca en proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extracto etéreo (EE), extracto libre de nitrógeno (ELN) y cenizas. Pero tienen el inconveniente de que no determina la concentración real de fibra presente en la materia seca (Yapes y Tamayo, 2003). El método para fibras de Van Soest divide la materia seca en dos componentes la fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA). El componente FDN representa la pared celular, que agrupa la celulosa, hemicelulosa, lignina y la parte de la materia mineral. Es la mejor estimación de la concentración total de la fibra de la materia seca que está estrechamente e inversamente relacionado

con el consumo voluntario (Yapes y Tamayo, 2003). La FDA representada por la celulosa, lignina, sílice y nitrógeno no soluble en detergente ácido (NNSDA) y está relacionada con la fracción no digestible de la materia seca; y es de importancia en el cálculo del contenido energético de un forraje (García *et al.*, 2005)

El contenido de nitrógeno de la materia seca se determina con el método Kjeldhal, el cual al multiplicarse por 6.25 se transforma en contenido de proteína cruda; por lo que el termino proteína cruda está formado por proteína verdadera y nitrógeno no proteico, como nitrógeno ureico y nitrógeno amoniacal. El valor de proteína cruda no proporciona información acerca de los aminoácidos de la proteína o del coeficiente para la digestibilidad intestinal de la proteína ni del nivel de aprovechable de la proteína en el rumen (García *et al.*, 2005).

La digestibilidad de la materia seca de forrajes indica la cantidad de la materia seca que es aprovechada por los rumiantes domésticos. El valor del coeficiente de digestibilidad, que se reporta como porcentaje, es la diferencia entre la cantidad de materia seca consumida y la materia seca excretada en las heces (Enríquez *et al.*, 1999). La cantidad de materia seca digestible depende del contenido de FDA, a mayor cantidad de FDA menor la digestibilidad de la materia seca (Fernández, 2000). Los tallos son las partes de las plantas menos digestibles por el mayor contenido de FDA, le siguen material muerto y hojas (Crowder y Chheda., 1982). La digestibilidad de la fracción de la materia seca potencialmente digestible, depende de las propiedades químicas intrínsecas de los carbohidratos estructurales en la pared celular y de su relación estructural con otros componentes (lignina y sílice) presentes (Minson, 1990). La digestibilidad de la materia seca se correlaciona negativamente con la madurez de la planta debido a la gradual acumulación de las fracciones de la pared celular. En promedio, la fracción completamente digerible en forrajes tropicales varía entre 25 y 35%, la potencialmente digerible entre 47 y 63% y la completamente indigerible entre 12 y 1% (Van Soest *et al.*, 1994). La mayoría de los resultados de investigaciones, tanto *In Vivo* como *In Vitro*, indican que la digestibilidad aparente de la materia seca de los forrajes tropicales varía entre 45 y 65%, lo que implica que se utiliza menos del 50 % de la fracción potencialmente

digerible. Se ha indicado que las gramíneas de clima tropical son, en promedio, 13% menos digeribles que las gramíneas de clima templado. Esta diferencia se ha atribuido a temperaturas ambientales más altas y a diferencias anatómicas (hoja: tallo) (Minson, 1990).

Factores que afectan la composición química plantas forrajeras

Genotipo de las especies forrajeras

La constitución genética de las plantas forrajeras determina la tasa de madurez, la cantidad de nutrimentos que acumulan y el contenido de FDN y FDA. Así como, variabilidad entre especies forrajeras en su anatomía y morfología (Fales, 2007). La materia seca de las gramíneas tiene mayor contenido de FDA que la materia seca de las leguminosas y por consecuencia menor concentración de células solubles de rápida fermentación. Esto por la presencia de lignina que es el constituyente indigestible de la FDA (Fales, 2007).

Estado de desarrollo vegetativo

Con el avance en la edad de las plantas, cambia el estado de desarrollo de las plantas de manera progresiva desde estado vegetativo hasta de senescencia. Estos cambios están asociados al aumento gradual en el contenido de FDA con el envejecimiento de tejidos y desarrollo, y cambio de dominancia de hojas a dominancia de tallos (Minson, 1990). Las hojas son más digeribles por tener mayor proporción de paredes delgadas y células mesófitas altamente degradables en comparación con los tallos, que tienen mayor proporción de envoltorios vasculares recalcitrantes, incluyendo el xilema y otras células del esclerénquima, que lignificados son necesarios para proveer soporte a la planta (Akin *et al.*, 1990).

Composición de los componentes de la planta

Las células de las plantas comprenden contenido citoplasmático y paredes celulares. El citoplasma contiene proteínas, aminoácidos, lípidos, pectinas, vitaminas hidrosolubles y minerales. Mientras que la pared celular de las plantas está compuesta de un material rígido, compuesto de fibrillas de celulosa envueltas en una matriz de hemicelulosa, materiales pecticos y lignina. También contiene agua, varios solventes orgánicos y componentes fenólicos, que en combinación juegan un rol importante en el intercambio catiónico, balance de agua, protección contra estrés biótico y reconocimiento celular. La composición de la pared celular varía con la especie de planta y madurez, así como órganos y tejidos dentro de la planta. La lámina media es la primera capa formada durante la división celular y compone a la pared exterior de la célula y después es compartida por las células adyacentes. La pared celular primaria formada al lado de la lámina media durante la elongación celular, se compone casi en su totalidad de polisacáridos, incluyendo celulosa, hemicelulosa, componentes pecticos y glicoproteínas. La deposición de la pared secundaria comienza cuando se ha completado la ampliación de la célula. (Fales, 2007).

Luz, temperatura y humedad

Temperaturas ambientales menores a la temperatura óptimo para el crecimiento, causan que se acumulen azúcares solubles en los tejidos vegetales, debido a que la tasa de madurez es lenta. Temperaturas ambientales mayores a la óptima para crecimiento originan disminución en la concentración de azúcares solubles. Esto debido a que las temperaturas menores y mayores disminuyen y aceleran la velocidad de las reacciones metabólicas, el transporte activo a través de las membranas, concentración de enzimas. También, las temperaturas mayores aceleran la síntesis de componentes estructurales de la pared celular (Fales, 2007).

La luz solar influye sobre el crecimiento de las plantas forrajeras por ser la fuente de radiación fotosintéticamente activa y la radiación que estimula la diferenciación y desarrollo de las zonas meristemáticas de las plantas forrajeras. Las diferencias entre estaciones del año, en la intensidad de la radiación fotosintéticamente activa y calidad de la radiación solar, son las responsables de las diferentes tasas de crecimiento y de maduración del tejido vegetal; y de la morfología de las plantas (Ballare *et al.*, 1991). La radiación de longitud de onda azul y roja disminuyen con la profundidad del dosel; y la proporción de la longitud de rojo lejano se incrementa modificando la morfogénesis y por consiguiente la proporción de hojas y la elongación de los tallos, afectando así la calidad del forraje.

Las temporadas de lluvia y sequía causan cambios en la distribución de la producción de materia seca. Situaciones de déficit hídrico estimulan el cierre de los estomas para reducir la tasa de transpiración, aceleran la senescencia de hojas y tallos, disminuyen la producción de tallos y causa la muerte de los tallos ya establecidos.

La cantidad y disponibilidad nutrimentos, en el suelo, disponibles para el crecimiento de las plantas forrajeras, influyen en la producción de materia seca y calidad de la misma. El nitrógeno, contenido en el suelo mineral y materia orgánica, es el nutrimento de mayor beneficio para las praderas, ya que estimula la producción de materia seca (Fales, 2007), pero beneficia poco a la digestibilidad de la materia seca del forraje (Messman *et al.*, 1991).

FRECUENCIA E INTENSIDAD DE DEFOLIACIÓN

La frecuencia e intensidad de las defoliaciones, por medios mecánicos o por el ganado, modifican la respuestas fisiológicas y homeostáticas de las praderas (Richards, 1993), la velocidad del rebrote (Chapman y Lemaire, 1993), disminuyen la tasa de fotosíntesis y modifican la distribución del carbono en las plantas (Richards, 1993) y la cantidad de hojas fotosintéticamente activas en el área foliar residual (Chapman y Lemaire, 1993). También, afectan el crecimiento de las raíces, por ejemplo 24 horas después de remover el 40 al 50% de la masa de forraje, se

detiene la elongación de la raíz, las raíces finas mueren y se descomponen. La cantidad de nitrógeno atmosférico fijado biológicamente, en las raíces de las leguminosas y absorbido del suelo disminuye después de una defoliación (Richards, 1993).

Después de la defoliación ocurren los procesos fisiológicos para restaurar el balance de carbono en las plantas para lo cual, son necesarias varias semanas durante las cuales los meristemos se activan iniciando el proceso de rebrote, comenzando con la aparición del área foliar fotosintéticamente activa, seguida de la elongación de los tallos, la aparición de las inflorescencias y finalizando con la madurez de las semillas. El área foliar inicial para rebrotar varía entre las especies forrajeras, así como la habilidad para tolerar las defoliaciones (Huber *et al.*, 1999).

CONCLUSIONES

Las especies de gramíneas de ambientes tropicales tienen diferente morfología, diferentes requerimientos de humedad, fertilidad del suelo, así como diferente nivel de tolerancia a plagas y enfermedades por lo que es necesario conocer las características de la especie, el suelo y clima para la selección esta cuando se va a establecer una pradera.

El crecimiento de las plantas depende de las condiciones ambientales como son temperatura, precipitación, radiación solar, características físicas y químicas del suelo. El crecimiento de las plantas es menor cuando las condiciones ambientales son diferentes al ambiente óptimo que requieren las plantas para su crecimiento.

El rebrote de las plantas forrajeras depende de la ubicación de los meristemos de crecimiento, la acumulación de carbohidratos en los órganos de reserva y de la

intensidad y frecuencia defoliación. Para favorecer el rebrote la defoliación se tiene que hacer por arriba de la ubicación de los meristemos de crecimiento, las defoliaciones poco frecuentes dan oportunidad a que las plantas repongan la reserva de carbohidratos.

La composición química de las plantas forrajeras además de la producción es importante para determinar el momento de cosecha de una pradera. Esta es afectada por la especie de la planta, etapa de desarrollo de las plantas, la morfología y el ambiente. Al ser la hoja la el componente morfológico que tiene menor contenido de FDA es la porción de mayor digestibilidad y menor contenido de FDA, así que la relación hoja y tallo influye en la calidad del forraje la cual cambia con la edad del forraje.

Los estudios de crecimiento de las plantas forrajeras perennes son en su mayoría en praderas ya establecidas y se tiene poca información durante el establecimiento de las praderas.

LITERATURA CITADA

- Akin, D.E., L.L. Rigsby, C.E. Lyon, and W.R. Windham. 1990. Relationship of tissue digestion to textural streng in bernudagrass and alfalfa stems. *Crop and Science* 30: 990-993.
- Araya, M.M. y Boschini, F.C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 16(1): 37-43.
- Antolín M.C. y Sánchez-Díaz M. 1993. Effects of temporary droughts on photosynthesis of alfalfa plants. *Journal of Experimental Botany* 44(265): 1341 - 1349.

- Argel, P.J. 2000. Pasto Toledo, nuevo cultivar para zonas tropicales de América. *Pasturas Tropicales*. 22(3): 38-39.
- Argel, P.J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14(2): 65-72.
- Avalos, E.D. 2009. Reproducción vegetativa del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp) y su respuesta a la fertilización química y orgánica en la granja Laguacoto, Canton Guaranda, provincia Bolívar. Tesis de licenciatura. Universidad Estatal de Bolivar. Escuela de Medicina Veterinaria. Ecuador. 84 p.
- Ayala, J.R., Sistachs, M. y Herrera, R.S. 1989. Methodology to determine planting time in king grass (*Pennisetum* sp). Using historical climatic indices. En: XVI International grassland Congress, Nice, France; pp. 561-562.
- Ballare, C.I., Scopel A.I., and Sanchez R.A. 1991. Photocontrol of stem elongation in plant neighbourhood: effect of photon fluence rate under natural condition of radiation. *Plant Cell and Environment* 14: 57-65.
- Ballerstedt, P.J. 1994. El pastoreo cada día más popular. *Lechero Latino*. Holstein-Friesian World, Inc. E.U; pp. 6-8.
- Baruch, Z. 1994a. Response to drought and flooding in tropical forage grass. I. Production and allocation of biomass leaf growth and mineral nutrients. *Plant and Soil* 164: 87-96.
- Baruch, Z. 1994b. 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 J. M. Fisher. 1991. Factores climáticos de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el crecimiento. In: *Establecimiento y renovación*

de pasturas. Conceptos, experiencia y enfoques de la investigación. Memorias de Red de Investigación y Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT. Colombia; pp. 103-142.

Bazzaz, F.A., Chiariello N.R., Coley P.D and Pitelka L.F. 1987. Allocating resources to reproduction and defence. *BioScience*. 37: 58-67.

Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología vegetal. 1ª. Edición. AGT Editor, SA México DF. 784 p.

Blanco, F. 1991. La persistencia y el deterioro de los pastizales. *Pastos y Forrajes* 14 (2): 87-103.

Bogdan, A.V. 1997. Pastos Tropicales y plantas de forraje (Pastos y Leguminosas). [Borbolla, H. E., trad.]. A.G.T. Editor S.A. México D. F., México. 461 p.

Brenes, M.J. 2009. Estudio técnico-económico del uso de diferentes tipos de fertilización en el pasto de corte Maralfalfa (*Pennisetum* sp) Instituto Tecnológico de Costa Rica. 3 p.

Briske, D.D. 1991. Development morphology and physiology of grasses. *In: Grazing Management: an ecological perspective*. Heitschmidt, R.K., Stuth J.W. (eds.). Timber Press, Portland, Oregon, USA; pp. 85-108.

Buxton, D.R. y Fales S.L. 1994. Plant environment and quality. *In: Forage Quality Evaluation and Utilization*. Edited by American Society Agronomy Crop Science Society of American, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA; pp. 155-199.

Calderón, R.R.C., Hernández V.J.O., Olazarán J.S., Ramírez G.J.J.M., Rosete F.J.V., Ríos U.A., Galavíz R.J.R., Vega M.V.E., Castañeda M.O.G., Aguilar B.U. y Lagunes L.J.. 2007. Manual ilustrado para el manejo de la lechería tropical especializada con bovinos. Libro Técnico Núm. 18. Sitio

- Experimental las Margaritas. Campo Experimental la Posta. CIRGOC, INIFAP. Puebla, México. 133 p.
- Cantú, B.J.E. 1990. Manejo de pastizales. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México. 290 p.
- Chapman D.F., Lemaire G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In* Proceedings of the XVII International Grassland Congress. Palmerston, New Zealand. SIR Publ., Wellington, New Zealand; pp. 95-104.
- Costa, N.L. e Paulino V.T. 1999. Desempenho agronómico de genótipos de *Brachiaria humidicola* em diferentes idades de corte. *Pasturas Tropicales*. 21(2): 68-71.
- Cruz, P.D.A. 2008, Evaluación del potencial forrajero del pasto Maralfalfa *Pennisetum violaceum* con diferentes niveles de fertilización de nitrógeno y fósforo con una base estándar de potasio. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Chimborazo, Facultad de ciencias Pecuarias. Riobamba, Ecuador. 144 p.
- Cruz, P., y Moreno J.L. 1992. Crecimiento potencial comparado de una gramínea natural (*Dichanthium aristatum*) y una cultivada (*Digitaria decumbens* Stent) sometida a variaciones fotoperiodicas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 26: 323-330.
- Crowder L.V. and Chheda H.R. 1982. Tropical grassland husbandry. Longman Inc., New York, USA; pp. 346-397.
- Cunuhay, J.A. y Choloquina M.T. 2011. Evaluación de la adaptación del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp) en dos pisos altitudinales con tres distancia de siembra en el campus Juan Lunardi y Naste del Canton Paute. Tesis de

licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana sede matriz Cuenca. Facultad de Ingeniería Agropecuaria y Ambientales. Cuenca, Ecuador; pp. 10-19.

De Alba, J. 1976. Panorama actual de la ganadería mexicana. *In* Memorias del Seminario Internacional de Ganadería Tropical. FIRA. SAG. Banco de México. Acapulco, Guerrero, México. 41-62 pp.

Del Pozo, P.P. y Jeréz I. 1999. Experiencias en la implementación de un módulo silvopastoril en una unidad de producción de leche en Cuba. Primer Congreso Latino Americano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible. Cali, Colombia. 28 -30 de Octubre 1999.

Davies, A. 1988. The regrowth of grass swards. *In*: Jones M.B. and Lazenby A. (eds). The Grass Crop. Chapman and Hall. London; pp. 85-127.

Dawson, J.E., Hatch S.T. 2002. A world wide web key to the grass genera of Texas. S.M. Tracy Herbarium, Department of Rangeland Ecology and Management, Texas A&M University.

Durand, J.L., Schäufele R., Gastal F. 1999. Grass leaf elongation rate as a function of developmental stage and temperature: Morphological analysis and modeling. *Annals of Botany* 83: 577-588.

Enríquez, Q.J.F, Meléndez N.F. y Bolaños A.E.D. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. Libro Técnico Núm. 7. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Veracruz, México. 262 p.

Enríquez, Q.J.F y Romero M.J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla, Veracruz. *Agrociencia*. 33: 141-148.

- Fales, S.L. 2007. Factors affecting forage quality. *In* Barnes, R.F., Nelson C.J., Moore K. J., and Collins M. Forages the science of grassland agriculture. 6^a ed. Blackwell publishing. Iowa USA.
- Fernández, J.L. 2000. Efecto de la edad de rebrote en el rendimiento de *Brachiaria purpurascens* cv. Aguada en el Valle del Cauto en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 34(3): 267-272.
- Fisher, H.J., Rao M.I, Thomas J.R., and. Lascano E.C. 1996. Grassland in the well-watered tropical lowlands. *In*: Hodgson J., and Illius W.A. (eds). The ecology and management of grazing systems. CAB INTERNATIONAL. Wallinton, Oxon, UK; pp 393-425.
- Fortes, D., Herrera S.R., García M., Cruz M.A, Romero A. 2012. Composición química de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(3): 321-329.
- García, M.M.C., Brindley M., Del Río E., Ación G.F., Fernández M. J and Molina E. 2005. Modelling of growth and accumulation of carotenoids in *Haematococcus pluvialis* as a function of irradiance and nutrients supply. *Biochemical Engineering Journal*. 26: 107-114.
- Gillet M. 1984. Las Gramíneas Forrajeras, descripción, funcionamiento, aplicaciones al cultivo de la hierba. Acirbia, Zaragoza España; pp 62-164.
- Gold, W.G. and Calwell M.M. 1989. The effects of the spatial pattern of defoliation on regrowth of a tussock grass, responses. *Oecologia*. 80: 289-296.
- Grupo Papalotla. S/A. Yacaré. *Brachiaria* híbrido cv. CIAT BR02/1752. Triptico. Grupo Papalotla. México D.F., México. 4 p. Disponible en: https://ciat-library.cgiar.org/forrajes_tropicales/Released/Materiales/Cv%20Yacar

[e%20\(Cayman\)%20Papalotla.13-01-30.pdf](#). Consultado el 20 de octubre de 2018.

Guamanquispe, M.E. 2012. Evaluación de la productividad del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.), mediante dos tipos de multiplicación asexual y dos abonos orgánicos en Cunchibamba, provincia de Tungurahua. Universidad Estatal De Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Guaranda, Ecuador. 4 p.

Hampton J.G.; Kemp P.D. & White J.G.H. 1999. Pasture Establishment. *In*: White J. and Hodgson J. [ed.]. New Zealand Pasture and Crop Science. Ed. Oxford University Press. Auckland, New Zealand; pp 101-115.

Hernández, G.A., Enríquez Q.J.F., Velasco Z.M.E. y Ortega J.E. 2006. Estrategias para reducir la estacionalidad de la producción animal en el trópico mexicano. *In*: Velasco ZME, Hernández GA, Pérez GA y Sánchez BM (ed.) Producción y Manejo de los recursos forrajeros tropicales. Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México; pp 5-21.

Hernández-Garay, A., Pérez P.J. y Hernández G.V.A. 1992. Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia*. 2:131-144.

Hernández, I. 2000. Utilización de las leguminosas arbóreas *L. leucocephala*, *A. lebbeck* y *B. purpurea* en sistemas silvopastoriles. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 138 p.

Herrera, R.S. 1984. Algunos factores que afectan la calidad de los pastos. *Revista Cubana Ciencias Agrícolas* 19: 223-231.

- Herrera R.S. y Hernández Y. 1993. Respuesta de la bermuda cruzada a la fertilización nitrogenada y edad de rebrote. IX Residualidad de N. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 27(2): 231-238.
- Hodgson J. 1990. Grazing Management. Science into Practice. Longman Scientific & Technical. Harlow, London, England. 204 p.
- Hodgson, J., Bircham A., Grant L. and King J. 1981. The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilization. *In*: Wright. C.E. (Ed.) Plant Physiology and Herbage Production. The British Grassland Society. Occasional Symposium No. 13:51.
- Huber, H., Luckacs S. and Watson M.S. 1999. Spatial structure of stoloniferous herbs: an interplant between structural blue-print, ontogeny and phenotypic plasticity. Plant Ecology 141: 107-115.
- Humphreys, L.R. 1991. Tropical pasture utilization. Cambridge University Press. NY. 206 p.
- Hunt, W.F. and Field T.R.O. 1979. Growth characteristics of perennial ryegrass. Proceedings. New Zealand Grassland Association 40: 104-114.
- Jensen, B.K., Waldron B.L., Asay K.H., Johnson D.A., Monaco T.A. 2003. Forage nutritional characteristics of orchard grass and perennial ryegrass at five irrigation levels. Agronomy Journal 95:668-675.
- Jiménez, M. A. y Martínez H.P.A. 1984. Utilización de praderas. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- Keller-Grein, G., Maass B.L. and Hanson J. 1998. Variación natural en *Brachiaria* y bancos de germoplasma existentes. *In*: Miles, J.W., Maass B.L. and do Valle C.B. (Eds.). *Brachiaria: Biología, Agronomía y Mejoramiento*. CIAT. Cali, Colombia. 18-45 pp.

- King, J., Lamb W.I. and McGregor M.T. 1979. Regrowth of ryegrass swards subject to different cutting regimes and stocking densities. *Grass, Forage Sci.* 34: 107-18.
- Koppel, R.E.T., Ortiz O.G.A., Avila D.A., Lagunes L.J., Castañeda M.O.G., López G.I., Aguilar B.U., Román P.H., Villagómez C.J.A., Aguilera S.R., Quiroz V.J. y Calderón R.R.C. 2002 Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. Libro técnico Núm. 5. 2ª ed. CIRGOC, INIFAP. Veracruz, México. 161 p.
- Lascano, C., Pérez R., Plazas C., Medrano J., Pérez O. y Argel P. J. 2002. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110). Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 22 p.
- Lösch, R. 1995. Plant water relations. *In: Physiology, Progress in Botany.* Springer, Forlag, Berlin. 56: 55- 96.
- Messman, M.A., Weiss W.P. and Erickson D.O. 1991. Effect of nitrogen fertilization and maturity of bromegrass on in situ ruminal digestión kinetics of fiber. *Journal of Animal Science.* 69: 1151-1161.
- Minson, D.J. 1990. Forraje in ruminant nutrition. Publisher Academic Press Inc. San Diego, CA, USA. 483 p.
- Molitero, E.A. 2002. Variables básicas que definen el comportamiento productivo de mezclas forrajeras en su primer año. *Agrociencia.* 6(1): 40-52.
- Moreno, G.M. 2013. Establecimiento de un cultivo de Maralfalfa en Tepatitlán Jalisco. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; pp 3.

- Muñoz, O.A. 2005. Centli-Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y Geografía. 2ª ed. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México, México. 210 p.
- Oelberg, K. 1956. Factors affecting the nutritive value of range forage. *Journal of Range Management*. 220-224.
- Parson A.J. and Chapman F.D. 2000. The principles of pasture growth and utilization. *In* Hopkins, A. Grass: its production and utilization. Oxford Blackwell Science; pp. 31-89.
- Passioura, J.B. 1982. Water in the soil-plant atmosphere continuum. *In*: Lange O.L, Nobel P.S, Osmond C.B. and Ziegler H. (eds.), *Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimilation*. Springer Verlag, New York. Vol. 12 B; pp. 5-33.
- Pearson, C.J. and Ison R.L. 1987. *Agronomy of grassland systems*. Cambridge University Press. Great Britain. 169 p.
- Pérez, B., Lascano C.E. 1992. Pasto humidicola (*Brachiaria humidicola*) Rendle Cchweickt. Boletín técnico No. 181. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), CIAT. Cali, Colombia. 20 p.
- Perreta, M. y Vegetti A. 1997. Formas de crecimiento y efectos del corte en gramíneas forrajeras. *Revista FAVE* 1, 2: 68-80.
- Pizarro, E. A. 2013. Un nuevo híbrido para el mundo tropical –*Brachiaria* híbrido cv. CIAT BR02/1752 “Cayman”. *Pasturas de américa*.
- Ramírez, Y. y Pérez J. 2006. Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento y composición química del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.). *Revista UNELLES Ciencia y Tecnología* 24: 57-62.

- Ramírez, R.O., Hernández G.A., Da Silva S.C., 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. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12: 303-311.
- Register of Australian Herbage Plant Cultivars. 1982. *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. (Koronivia grass) cv. Tully. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 48(2): 117-118.
- Richards, J.H. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. *In: Proceedings of the XVII International Grassland Congress*. New Zealand and Australia. 85-94 pp.
- Robinson, D. 2005. Fertilización y utilización de nutrientes en campos forrajeros de corte, 1ª ed. INTA. Bogota, Colombia; pp 4,29.
- Rodríguez, J.M., Lannes M., Chávez J.L. 1976. Características nutritivas de los principales alimentos y aditivos utilizados en la alimentación de los animales. *Fac. Ciencias Agrop. Universidad de La Habana*. Cuba. 42 p.
- Rodríguez-Romero, N.R., Febres O.A., y González B. 2004. Efecto de la adición de urea sobre la composición química y la digestibilidad *in Vitro* de la materia seca de heno de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick cosechado a diferentes edades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 12(2): 52-58.
- Rojas, G.M. 1993. *Fisiología Vegetal Aplicada*. 4ª ed. Edit. Interamericana McGraw-Hill. México D. F. 275 p.
- Simpson, R.J. and Vulvenor R.A. 1987. Photosynthesis, carbon partitioning and herbage yield. *Temperate Pastures*; pp. 113-114.

- Skerman P.J., Cameron G.D. and Riveros F. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. *In*: Colección FAO: Producción y Protección Vegetal (FAO 2) Roma, Italia. 707 p.
- Tropical Forages. 2017. *Pennisetum purpureum* Schumach. Disponible en: http://www.tropicalforages.info/key/forages/Media/Html/entities/pennisetum_purpureum.htm. Consultado el 10 de diciembre de 2018.
- Turner, N.C. and Begg J.E., 1978. Responses of pasture plants to water deficits. *In*: Wilson J.R. (ed.), Plant Relations in Pastures. CSIRO, Melbourne, Vie.; pp. 50-66.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2^a. ed. Comstock Publishing Associates, Ithaca, N. Y. USA. 488 p.
- Van Soest, P.J., Robertson B.J. and Lewis A.B. 1994. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74: 3583-3597.
- Velasco, Z.M.E., Hernández-Garay A., González H.V, Pérez P.J, Vaquera H.H. and Galvis S.A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Técnica Pecuaria en México* 39(1): 1-14.
- Ventura, R.J., Honorato S.J.A, Hernández G.A., Aburto A.J.A., Vaquera H.H. y Enríquez Q.J.F. 2017. Composición química y rendimiento de biomasa de maralfalfa para producción de bioetanol de segunda generación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(1): 215-221.
- Villegas, D.G., Bolaños M.A. y Olguín P.L. 2001. La Ganadería en México. Temas Selectos de Geografía de México. I. Textos Monográficos: 5. Economía. Instituto de Geografía, UNAM, Plaza Valdés. México D. F. México. 158 p.

- Volenec, J.J. 1986. Nonstructural carbohydrate in stem base components of tall fescue during regrowth. *Crop Science* 26: 122-127.
- Watson, L. 1972. Smuts on grasses: Some general implications of the incidence of Ustilaginales on the genera Gramineae. *Quart. Rev. Bot.* 47: 46-62.
- Wilson, J.R. 1983. Effects of water stress on *In Vitro* dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. *Australian Journal of Agricultural Research* 34: 377-390.
- Yapes, T.J. C. y Tamayo L.F. 2003. Establecimiento y manejo racional de praderas en el nordeste antioqueño. Primero y segundo curso teórico-prácticos sobre sistemas ganaderos sostenibles en el Nordeste Antioqueño. Corpoica, Colombia; pp 25-65.

CAPITULO 1. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO TAIWAN (*Pennisetum purpureum* Schum) EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO

1.1. RESUMEN

El objetivo de este experimento fue realizar un análisis de crecimiento del pasto Taiwan (*Pennisetum purpureum*) desde la siembra hasta los 180 días después de la siembra para encontrar el momento óptimo para la primer cosecha. La composición morfológica de la planta (CMP), tasa de crecimiento (TC), altura, radiación interceptada (RI), relación hoja/tallo (H:T), hoja/no hoja (H:NH) y la acumulación de biomasa aérea, se evaluaron a intervalos de 15 días, a excepción de los dos primeros muestreos que fueron a los 30 días. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS, bajo un diseño experimental de bloques al azar, con medidas repetidas en el tiempo, con tres repeticiones. La CMP vario de manera significativa ($P < 0.01$) entre las diferentes edades de la planta. La máxima producción de biomasa aérea y TC se alcanzó a los 135 días después de la siembra, con $37,529 \text{ kg MS ha}^{-1}$ y $247 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. En este momento se registró el 92% de RI y altura de 2.49 m. La relación H:T y H:NH disminuyó con el incremento de la edad de las plantas. La biomasa de hojas y tallos se incrementó con la edad de las plantas. La máxima TC coincidió con la mayor biomasa

acumulada de tallos y hojas siendo este el momento en el que se sugiere realizar el primer corte.

Palabras clave: *Pennisetum purpureum*, materia seca, momento óptimo de cosecha.

1.2. ABSTRACT

The objective of this research was realized a growth analysis of Taiwan grass (*Pennisetum purpureum*) from planting to 184 days after planting to determinate the optimum time for first harvesting. The morphological composition of plants (MCP), growth rate (GR), height, intercepted radiation (IR), leaf/stem (L:S) and leaf/no-leaf (L:NL) and the biomass accumulation were evaluated at intervals of 15 days, except for the first two samples that were at 30 days. The data were analyzed using GLM procedure of SAS, under an experimental design of randomized blocks, with measures repeated over time, with three repetitions. The MCP varied significantly ($P<0.01$) across the different ages of the plant. The maximum biomass production and GR were reached at 135 days after planting, with 37,529 kg DM ha⁻¹ and 247 kg DM ha⁻¹ d⁻¹, respectively. At this time, 92% of IR and height of 2.49 m were registered. The ratio L:S and L:NL decreased with the increase in the age of the plants. The biomass production of leaves and stems increased with the age of the plants. The maximum GR coincided with the highest cumulative biomass of stems and leaves, this being the moment in which it is suggested to make the first harvest.

Key words: *Pennisetum purpureum*, dry matter, optimal harvest time.

1.3. INTRODUCCIÓN

Pennisetum purpureum (Schum) pertenece a la familia poaceae y es originario del trópico húmedo de África (Singh *et al.*, 2013). Se ha cultivado ampliamente en regiones tropicales y subtropicales, incluyendo las de México, donde representan hasta el 28% del territorio nacional, con 55.7 millones de hectáreas (Cantú, 2011). La región tropical posee un alto potencial para la producción animal ya que en ella se localiza el 63% del hato bovino nacional y su producción se asocia con los forrajes producidos (Enríquez *et al.*, 1999).

Entre las variedades de *Pennisetum purpureum* (Schum) de mayor importancia se encuentra el pasto Taiwan, el cual ha sido introducido en la mayoría de regiones tropicales y subtropicales en México, ya que se ha considerado como un pasto de gran valor por su alta productividad, vigor competitivo, palatabilidad, persistencia y alta calidad (Singh *et al.*, 2013; Bogdan, 1997). Sin embargo, no hay reportes de una caracterización productiva que defina la producción promedio de variedades específicas, como es el caso del pasto Taiwan (Araya y Boschini, 2005), por lo que es necesario realizar evaluaciones agronómicas que incluyan análisis de crecimiento y con ello conocer cómo se da la formación y acumulación de biomasa, así la influencia de los factores internos de la propia planta y de los factores externos del ambiente (Rodríguez y Larqué-Saavedra, 1988).

El crecimiento de un pasto incluye una serie de procesos entre los que se encuentran la aparición de hojas y tallos, la formación de tallos verdaderos y de raíces (Matthew *et al.*, 2001); mientras que los factores que pueden influir en estos

procesos son la temperatura, precipitación e intensidad de luz. En *Pennisetum purpureum* (Schum) el máximo crecimiento se presenta con temperaturas que van de 30 a 35 °C y se inhibe con temperaturas menores a 10 °C (Bogdan, 1997); también está adaptado a un amplio rango de precipitaciones que van de 750 a 2500 mm (Skerman y Riveros, 1990).

El pasto Taiwan, al igual que todos los forrajes tropicales se caracteriza por ser de crecimiento y maduración rápida. Al presentar esta característica, su calidad también cambia mostrando algunas limitaciones desde el punto de vista nutritivo como la reducción en el contenido de proteína y el aumento de los componentes estructurales (Capanema *et al.*, 2005). Debido a lo anterior cuando se busca que un pasto exprese su máximo potencial productivo, se tiene que considerar el manejo; dentro del cual destaca la edad de aprovechamiento o corte ya que constituye una herramienta para determinar los óptimos en rendimiento y calidad del forraje (Ramírez *et al.*, 2010).

Al respecto Tessema *et al.* (2010) en Etiopia reportaron una producción y calidad aceptable en *Pennisetum purpureum* (Schum) cuando el corte se realizó a los 90 días después del establecimiento; cuando el corte fue a intervalos menores como 40 días se redujo seriamente la producción de materia seca; por lo que no se obtuvo un óptimo en producción, aunque si en calidad. Por su parte Manyawu *et al.* (2003) indicaron que intervalos de corte de entre seis y siete semanas en *Pennisetum* sp., cultivado en Zimbabwe fueron los óptimos para asegurar adecuada producción sin mermas en calidad. Sin embargo, cada cultivar se comporta de

manera diferente con base en las condiciones en que se desarrolla, por lo que el objetivo de la investigación fue realizar un análisis de crecimiento del pasto Taiwan (*Pennisetum purpureum*) desde la siembra hasta los 184 días después de la siembra para determinar el momento óptimo de la primera cosecha bajo condiciones de clima cálido subhúmedo en México.

1.4. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se efectuó en el Sitio Experimental “Papaloapan” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Isla, Veracruz, localizado a los 18° 06' N y los 95° 31' O y 65 msnm. El clima, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), es Aw₀, el más seco de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano y una precipitación promedio de 1,000 mm, de la cual, el 85% ocurre de junio a noviembre, la temperatura media anual es de 25.7 °C. El suelo es acrisol órtico, con textura franco arenosa, con pH de 4 a 4.7, pobre en materia orgánica, nitrógeno, calcio, potasio y contenidos medios a altos de fósforo y magnesio (Enríquez-Quiroz y Romero-Mora, 1999).

El experimento se sembró el 22 de julio del 2011 y las evaluaciones se realizaron del 24 de agosto del mismo año al 23 de enero del 2012. Se estableció en parcelas de 5 m de ancho por 16 m de largo, con tres repeticiones. La siembra se realizó con material vegetativo (tallos) el cual se sembró en líneas a cordón corrido con 3.7 nudos (plantas) por metro lineal con separación entre surcos de 0.50 m; lo que dio una densidad de 74,000 plantas ha⁻¹. Se aplicó una dosis de fertilizante

de 120-80-00 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente; la cual se dividió en dos aplicaciones, a los 43 y 112 días después de la siembra.

Se evaluaron diferentes estadíos de crecimiento (30, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 y 180 días, después de la siembra [dds]), mediante muestreos destructivos; se cosecharon, a ras de suelo, al azar dos transectos de 1 m lineal cada uno, por parcela por estadío de crecimiento. El material cosechado se pesó para obtener el peso fresco total del transecto, se tomó una submuestra del material cosechado, se pesó nuevamente en fresco, y se secó en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante, para obtener la materia seca producida.

Del material cosechado se tomó otra submuestra de dos plantas (tallos completos), las cuales se separaron en sus componentes: hojas, tallos, inflorescencias y material muerto, se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante y pesaron, para así obtener la proporción de cada componente. La relación hoja/tallo y hoja/no hoja, se estimó para cada edad de crecimiento, al dividir la biomasa total de hojas, entre la biomasa total de tallos por planta. Para el caso de la relación hoja/no hoja, la materia seca total de hojas, se dividió entre la sumatoria de la materia seca total de tallos, inflorescencias y material muerto.

El número de plantas y el número de tallos presentes por planta, se registró en cada fecha de muestreo en transectos fijos de 1.0 m lineal por cada parcela, seleccionados al inicio del experimento; a los cuales se les mantuvo intactos durante los 180 días de evaluación con la finalidad de ir cuantificando el aumento en tallos

y plantas para cada unidad de muestreo; dichos datos se extrapolaron a una unidad de superficie determinada (ha), en función del metro lineal y la distancia entre surcos.

Con los datos de rendimiento de forraje por corte se calculó la tasa de crecimiento (TC) mediante la siguiente fórmula:

$$TC = \frac{FC}{t}$$

Dónde:

FC = Forraje cosechado (kg MS ha⁻¹) y t = días transcurridos entre la fecha de siembra y de corte.

Se tomaron cinco lecturas al azar de la radiación interceptada para cada edad de desarrollo en cada parcela con una regla de 1 m de longitud, graduada en centímetros, colocándola a nivel del suelo y en posición perpendicular a los surcos. Las lecturas se realizan aproximadamente a las 12:00 h (con la finalidad de estimar o captar la energía de los rayos solares en posición perpendicular al cultivo). Para ello se asume que la luz incidente sobre la regla es la que escapa a la intercepción por el cultivo y la sombra proyectada sobre la regla corresponde a la radiación interceptada por el dosel vegetal.

Para estimar cobertura se utilizó un cuadro de 1 m², el cual representa el 100% de la superficie y el porcentaje de forraje contenido en él, se expresa como la proporción que cubra de dicho cuadro. Se realizaron cinco mediciones por parcela en cada etapa de crecimiento. Al igual para medir la altura de la pradera se

efectuaron cinco mediciones aleatorias en cada unidad experimental colocando la regla en el suelo y se registró la altura cuando se tuvo el punto de contacto con la hoja bandera.

Los datos se analizaron por los procedimientos GLM de SAS (SAS, 2002), para un diseño experimental de bloques al azar con medidas repetidas, con 10 tratamientos (correspondientes a los estadios de crecimiento) con tres repeticiones y un análisis de regresión para cada variable, con el objetivo de describir la tendencia, a partir de seleccionar el mejor modelo, de acuerdo con el coeficiente de determinación y con el grado de significancia del modelo.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación anual durante el periodo de evaluación fue de 1,434 mm (Figura 1.1); superior al requerido por la especie, 617 mm (Murillo *et al.*, 2014). Respecto a temperatura, aunque se presentó un ligero incremento en el promedio anual (25.7 a 26 °C), durante el periodo experimental las temperaturas máximas estuvieron por arriba de los 30 °C, a excepción del mes de noviembre, condición en que éste cultivar tiene su máximo crecimiento (30 a 35 °C), en los meses de diciembre y enero la temperatura mínima estuvo cercana a 15 °C, temperatura ligeramente superior a la temperatura a la cual se inhibe el crecimiento del pasto Taiwan (Bogdan, 1997).

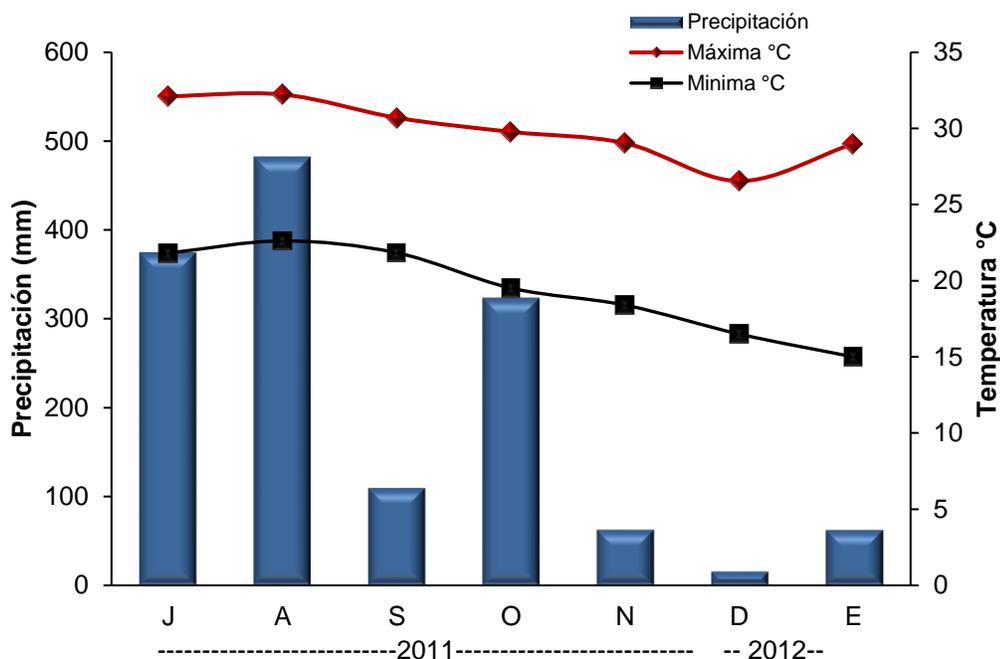


Figura 1.1. Precipitación, temperatura máxima y mínima durante la fase de muestreo en el Sitio Experimental Papaloapan, Isla, Veracruz.

La composición morfológica de la planta varió significativamente ($P < 0.01$) en los diferentes estadios fenológicos (Figura 1.2). Los modelos de regresión y coeficientes de determinación fueron altos ($R^2 > 0.95$) en las variables evaluadas. Los modelos que mejor se ajustó para biomasa total fue el logístico, para las variables hoja, tallo, MM y Crecimiento Neto fue el polinómico. La acumulación de biomasa se incrementó hasta el 135 dds (semana 19.3) y declinó en los cortes posteriores, lo cual coincide con el incremento del material muerto, esta tendencia es similar a lo reportado por Calzada-Marín en Maralfalfa (2014), Araya y Boschini (2005) encontraron, en varios cultivares de *Pennisetum* que después de alcanzar la mayor producción en rebrotes la biomasa disminuyó en los cortes posteriores.

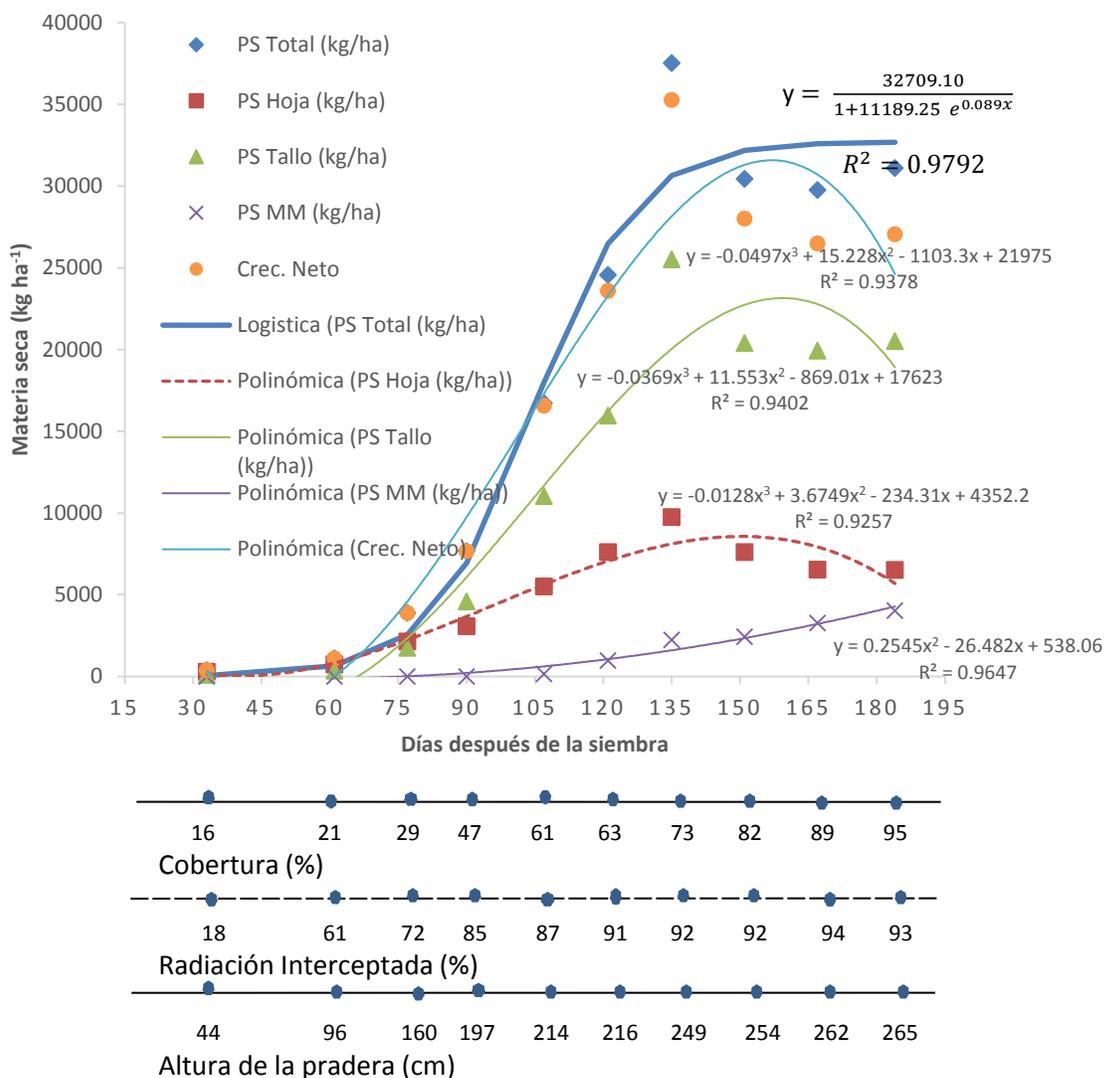


Figura 1.2. Dinámica de acumulación de forraje total, por componente morfológico, altura de la planta, radiación interceptada y cobertura del pasto Taiwan, en el primer aprovechamiento.

Los cambios en el crecimiento de hojas y tallos, así como la generación de material muerto en el pasto Taiwan se muestran en la Figura 1.2. Las hojas mostraron un incremento gradual hasta los 135 dds coincidiendo con el 92% de intercepción luminosa y una cobertura del 73%, comportamiento similar mostraron

los tallos; respecto al material muerto, a partir de esta fecha se incrementó considerablemente, contribuyendo en el aporte total de biomasa. Bernal-Eusse (1994) indica que, bajo condiciones ambientales favorables, *Pennisetum purpureum* muestra su máximo crecimiento cuando las hojas interceptan alrededor de 90% de la luz incidente. 135 dds (19.3 semanas) la biomasa de hojas disminuyó (Figura 1.2), relacionado posiblemente a factores endógenos de la planta, como la edad. Azcon-Bieto y Talón (2013) mencionan que la senescencia de las hojas se presenta cuando existe una disminución en la fotosíntesis y el principal factor que detona este proceso es la edad de la planta. Desde un punto de vista funcional la senescencia no es sólo un proceso degenerativo, sino también un proceso de reciclaje en el que los nutrientes son transportados desde las células que envejecen hasta las hojas jóvenes (Azcon-Bieto y Talón, 2013).

A medida que avanza el crecimiento en el pasto, se forman menos hojas y mueren las hojas más viejas, como resultado, la tasa de crecimiento se reduce y el rendimiento se estabiliza (Rodríguez *et al.* 2010), por ello, aunque existan grandes cantidades de área foliar no se manifiestan aumentos adicionales en producción, debido a que las hojas basales se hacen sombra unas a otras y las hojas viejas se tornan ineficientes. Adicionalmente, a medida que se forman hojas nuevas, las hojas viejas mueren anulando el incremento de la producción (Bernal-Eusse, 1994).

La altura del dosel de los pastos es una característica de la pradera con la que se puede identificar en campo fácilmente el momento de la mayor producción de biomasa (Da Silva y Nascimento, 2007). En pasto Taiwan la mayor biomasa

acumulada sucedió cuando la altura del dosel fue de 2.49 m (Figura 1.2), Calzada-Marín (2014) reportó que a la altura de 2.33 m se presentó la mayor biomasa acumulada en Maralfalfa.

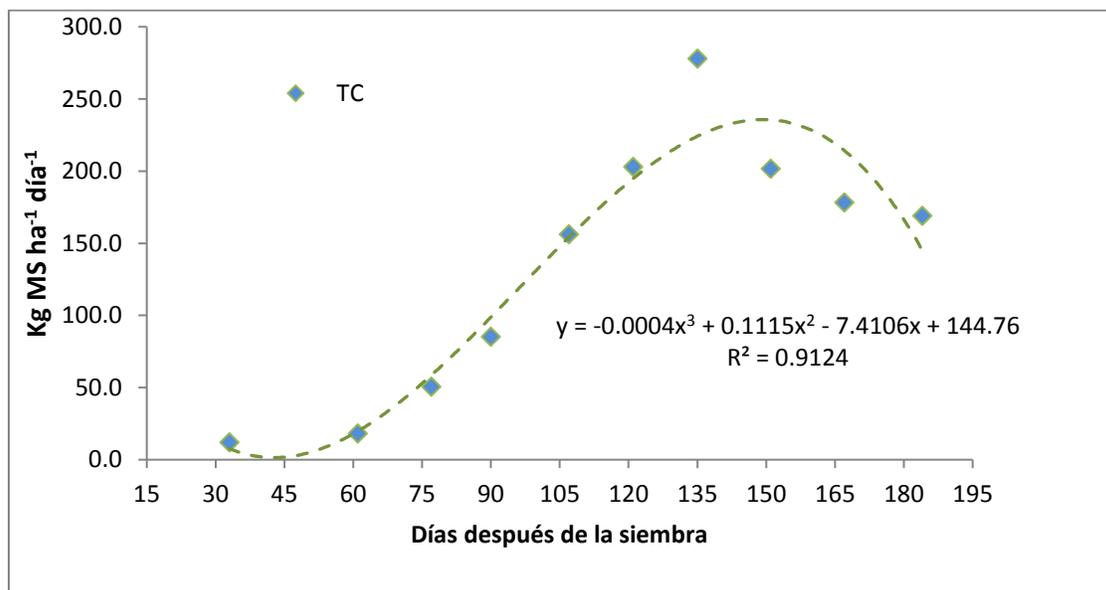


Figura 1.3. Cambios en la tasa de crecimiento, a través del tiempo, del pasto Taiwan en el durante el establecimiento.

La tasa de crecimiento referida a la rapidez con la que la planta aumenta su peso al transcurrir el tiempo (Castillo y Rodríguez, 2010), en el pasto Taiwan se incrementó desde la emergencia hasta obtener un máximo alrededor de los 135 dds; decreciendo a partir de dicho momento (Figura 1.3). La curva ajustada de la tasa de crecimiento, presenta un comportamiento logístico sigmoideo, el máximo valor de la tasa de crecimiento (247 kg de MS ha⁻¹ día⁻¹) se obtiene alrededor de los 135 dds, a partir de la cual comienza a descender y este fenómeno coincide con la disminución en la cantidad de biomasa de hoja que inicio posterior a los 135 dds (Figura 1.2), por lo que sería recomendable cortar la pradera en este punto, esto es

más tiempo al recomendado por Araya y Boschini (2005) quienes sugieren realizar el primer corte a los 120 dds.

A medida que la planta acumula más área foliar, se incrementa rápidamente su capacidad de capturar energía solar, de tal forma que alcanza su tasa de crecimiento máxima (Rodríguez *et al.*, 2010)

La Figura 1.4 muestra los cambios en la composición morfológica del pasto Taiwan, a edades tempranas como 30 dds las hojas contribuyeron con el 74% del total de la biomasa, posteriormente disminuyó y a los 90 dds aportó sólo el 40% al total de la biomasa y el tallo contribuyó con el resto. Lafarge y Loiseau (2002) consideran que la producción de tallos es un factor clave en la resistencia de la pradera por ello el monitoreo de la producción es deseable.

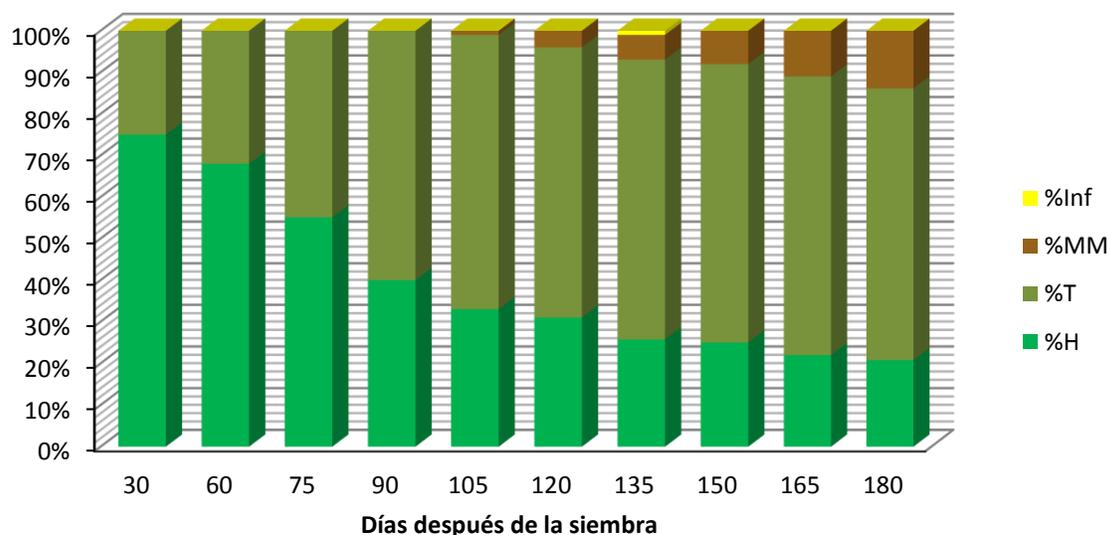


Figura 1.4. Cambios morfológicos a través del tiempo del pasto Taiwan, en el primer aprovechamiento

La relación hoja tallo está asociada con un alto valor nutritivo del forraje debido a que la hoja es generalmente de alto valor nutritivo, y la productividad animal está relacionada con la cantidad de hoja en la dieta (Nyambati *et al.*, 2010). Estudios recientes refieren la importancia de la relación hoja/tallo debido a que grandes cantidades de tallo son deseables para biocombustible (Singh *et al.*, 2013).

Los cambios en la relación hoja/tallo y hoja/no hoja, durante los diferentes estadios de crecimiento, se muestran en la Figura 1.5; ambas variables tienden a disminuir conforme se incrementa la madurez del pasto, a consecuencia de un aumento en la biomasa de tallo y material muerto. La relación H:T varió de 3 a 0.32 para 33 y 184 dds mientras que H:NH sus valores fueron de 3 a 0.26.

Poli *et al.* (1994) reportaron una relación hoja/tallo en pasto Taiwan A-146 de 1.08 a los 60 días de edad y de 0.25 cuando el cultivo tenía 242 días, indicando una reducción conforme la edad de la planta aumenta. Otro estudio en pasto Taiwan en rebrotes de 70 días de edad la relación hoja:Tallo fue de 0.89 y disminuyó a 0.44 en rebrotes de 140 días (Araya y Boschini, 2005).

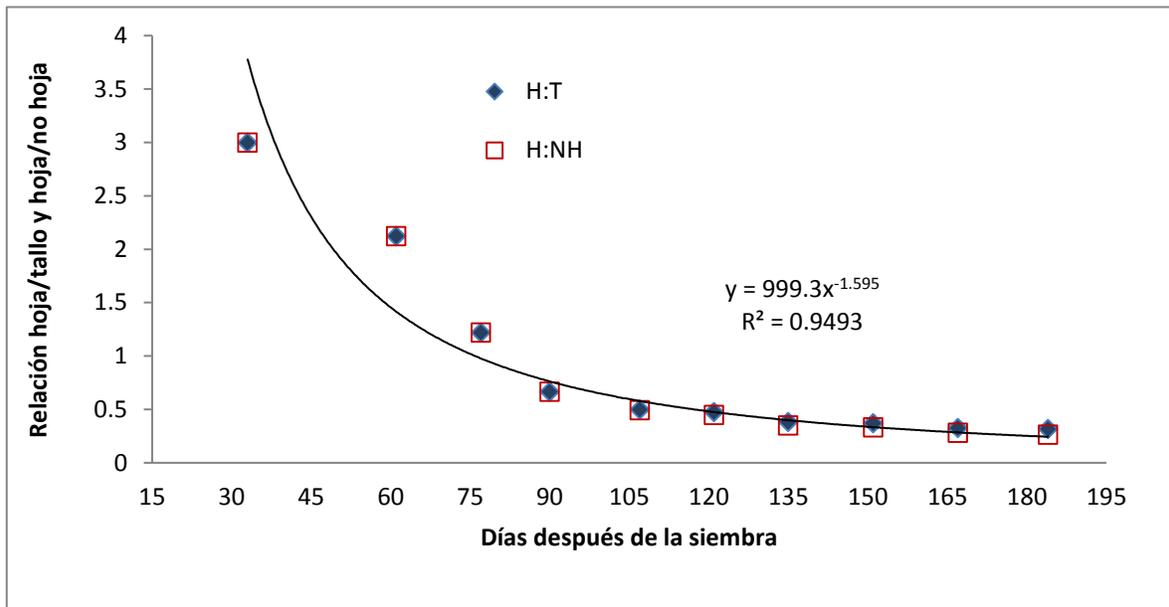


Figura 1.5. Cambios a través del tiempo en la relación hoja:tallo y hoja:no hoja del pasto Taiwan, en el primer aprovechamiento.

1.6. CONCLUSIONES

En base a los resultados se recomienda realizar, en pasto Taiwan, el primer corte, a los 135 días después de la siembra o cuando la pradera tenga una altura de 2.5 m, para obtener la mayor cantidad de biomasa en hojas y tallos.

1.7. LITERATURA CITADA

- Araya, M.M. y Boschini F.C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 16(1): 37-43.
- Azcon-Bieto, J. y Talón M. 2013. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Ed. McGraw-Hill, Barcelona, España. 651 p.
- Bernal-Eusse, J. 1994. *Pastos y Forrajes Tropicales*. Ed. Banco Ganadero, Santafé de Bogotá, Colombia. 545 p.
- Bogdan, A.V. 1997 *Pastos Tropicales y Plantas de Forraje (Pastos y Leguminosas)*. AGT Editor S.A. Distrito Federal, México. 461 p.
- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz J.F., Hernández-Garay A., Ortega-Jiménez E., Mendoza-Pedroza S.I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5(2):247-260.
- Cantú, B.E. 2011. *Manejo y mejoramiento de pastizales*. Ed. Doble hélice. Chihuahua México. 320 p.
- Capanema, E.A., Balakshin M.Y., Dadla J.F. 2005. A comprehensive approach for quantitative lignin characterization by NMR spectroscopy. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 52: 1850-1860.
- Castillo, G.E., y Rodríguez A.J. 2010. Estructura y fases de desarrollo de poáceas y fabáceas forrajeras. *In: Rodríguez A.J., Gutiérrez O.E., Rodríguez F.H. Dinámica de sistemas de pastoreo*. Ed. Trillas, México DF. México; pp 17-31.

- Da Silva, S.C. e Nascimento Jr. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36(suplemento especial): 121-138.
- Enríquez, Q.J.F., Meléndez N., y Bolaños A.E. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. Libro Técnico Núm. 7. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Veracruz, México. 262 p.
- Enríquez-Quiroz, J.F. y Romero-Mora J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria spp.* en Isla, Veracruz. *Agrociencia*. 33(2): 141-148.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 4ª ed. Ed. Instituto de Geografía, UNAM; México. 217 p.
- Lafarge, M. and Loiseau P. 2002. Tiller density and stand structure of tall fescue swards differing in age and nitrogen level. *European Journal of Agronomy*. 17: 209–219.
- Manyawu G.J., Chakoma C., Sibanda S., Mutisi C. and Chakoma I.C. 2003. The effect of harvesting interval on herbage yield and nutritive value of Napier grass and hybrid *Pennisetums*. *Asian Australasian Journal of Animal Science*. 16(7): 996-1002.

- Matthew, C., Van Loo E.N., Thom E.R., Dawson L.A. and Care D.A. 2001. Understanding shoot and root development. *In*: Proc. XIX Internatl. Grassland Congress. Brazilian Soc. Animal Husbandry. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. 19-27 pp.
- Murillo, S.J., Barros H.J.A., Roncallo F.B. y Arrieta P.G. 2014. Requerimientos hídricos de cuatro gramíneas de corte para uso eficiente de agua en el Caribe seco colombiano. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 15: 83-99.
- Nyambati, E.M., Muyekho F.N., Onginjo E. and Luswetii M. 2010. Production, characterization and nutritional quality of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivars in Western Kenya. *African Journal of Plant Science*. 4(2):496-502.
- Poli, C.E.E.C., Jacques A.V.A., Castilhos Z.M.S. e Freitas J.M.O. 1994. Caracterização morfológica de cinco cultivares de capim-elefante. *Revista de a Sociedade Brasileira da Zootecnia*. 23(2): 205-210.
- Ramírez, R.O., Hernández G.A., Silva S.C., Pérez P.J., Souza J.S.J., Castro R.R. y Enríquez J.F. 2010. Características morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto mombaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12: 303-311.
- Rodríguez, A.J., Gutiérrez O.E. y Rodríguez F.H. 2010. Desarrollo y crecimiento de las plantas forrajeras y su relación con el clima. *In*: Rodríguez A.J.,

Gutiérrez O.E., Rodríguez F.H. Dinámica de sistemas de pastoreo. Ed. Trillas, México. 2010: 61-87.

Rodríguez, Z.C. y Larqué-Saavedra A. 1988. Análisis de crecimiento y tasa de uso de agua en cuatro cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia*. 71:401-416.

SAS. 2002. SAS User's Guide: Statistics (version 9.0 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.

Singh, B.P., Singh H.P. and Obeng E. 2013. Elephantgrass. *In*: Singh B.P. Biofuel Crops: Production, Physiology and Genetics. Ed. CAB International; pp 271-291.

Skerman, P.J. and Riveros F. 1990. Tropical Grasses. Plant Production and Protection Series 23. Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma Italy. 832 p.

Tessema, Z.K., Mihret J. and Solomon M. 2010. Effect of defoliation frequency and cutting height on growth, dry-matter yield and nutritive value of Napier grass (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach). *Grass and Forage Science*. 65: 421-430.

CAPITULO 2. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO CHETUMAL (*Brachiaria humidicola* CIAT 679) DURANTE EL ESTABLECIMIENTO EN UN CLIMA CALIDO HUMEDO

2.1. RESUMEN

El objetivo de este experimento fue realizar un análisis de crecimiento del pasto Chetumal (*Brachiaria humidicola* CIAT 679) desde la siembra hasta los 184 días después de la siembra para determinar el momento óptimo de cosecha. Se evaluó la composición morfológica (CM), tasa de crecimiento (TC), altura, radiación interceptada (RI), relación hoja/tallo (H:T), hoja/no hoja (H:NH) y biomasa aérea, a intervalos de quince días, a excepción de los dos primeros muestreos que fueron mensuales. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS, bajo un diseño experimental de bloques al azar, con medidas repetidas en el tiempo, con tres repeticiones. La CM del pasto Chetumal fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) a las diferentes edades de crecimiento. La máxima acumulación de biomasa total ($13,324 \text{ kg MS ha}^{-1}$), biomasa de hojas ($2,569 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y TC ($99 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) se alcanzó a los 135 dds. A esta edad la pradera tenía una altura=68 cm y RI=100%. La relación H:T disminuyó de 1.62 a 0.31, y H:NH cambió de 1.62 a 0.22. Dado que la mayor acumulación de biomasa total, biomasa de hojas y TC coinciden, se sugiere realizar el primer corte en este momento.

PALABRAS CLAVE: Chetumal, crecimiento, hoja, tallo, altura, cosecha.

2.2. ABSTRACT

The objective of this research was realized a growth analysis of Chetumal grass (*Brachiaria humidicola* CIAT 679) from planting to 184 days after planting to determinate the optimum time for first harvesting. The morphological composition of plants (MCP), growth rate (GR), height, intercepted radiation (IR), leaf/stem (L:S) and leaf/no-leaf (L:NL) and the biomass accumulation were evaluated at intervals of 15 days, except for the first two samples that were at 30 days. The data were analyzed using GLM procedure of SAS, under an experimental design of randomized blocks, with measures repeated over time, with three repetitions. The MCP varied significantly ($P < 0.01$) across the different ages of the plant. The maximum accumulation of total biomass ($13,324 \text{ kg DM ha}^{-1}$), biomass of leaf ($2,569 \text{ kg DM ha}^{-1}$) and GR ($99 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) were reached at 135 days after planting, with $37,529 \text{ kg DM ha}^{-1}$ and $247 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectively. At this time, 100% of IR and height of 0.68 m were registered. The ratio L:S decreased from 1.62 to 0.31 and L:NL decreased from 1.62 to 0.22. Given that the greater accumulation of total biomass, biomass of leaves and TC coincide, it is suggested to make the first cut at this time.

Key words: Chetumal, growth, leaf, stem, height, harvest.

2.3. INTRODUCCIÓN

En las regiones tropicales de México, los forrajes son la base de la alimentación de la ganadería que se practica, esto se explica por su disponibilidad, facilidad de obtención y bajo costo, en contraste con otras fuentes de alimentación (Enríquez *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2006; Calderón *et al.*, 2007). Se estima que entre el 55 y 60% de la superficie cuenta con pastos nativos, los cuales se caracterizan por tener baja capacidad de carga y no cubren las necesidades de una ganadería productiva (Calderón *et al.*, 2007). Por tal razón, uno de los ejes estratégicos de la reconversión tecnológica de la ganadería es el mejoramiento del recurso forrajero, al sustituir especies poco productivas por otras de mayor rendimiento y mejores características agronómicas que permitan una producción sostenible de la pradera y el hato ganadero (Enríquez y Romero, 1999).

Las gramíneas del género *Brachiaria* son una alternativa para las regiones tropicales. En la década de los 80's el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias evaluó cuatro ecotipos y fueron liberados tres: *B. decumbens* var. Señal o Chontalpo, *B. brizantha* var. Insurgente y *B. humidicola* var. Chetumal (Enríquez y Romero, 1999). A pesar de que ha habido incrementos en la siembra de cultivares del género *Brachiaria* en México, se estima que hay 2.6 millones de ha establecidas con pastos mejorados, esto solo representa el 6.4% del área permanente con pastos. El efecto directo de la adopción de los pastos mejorados se observa en incremento en la productividad, 24% en leche y 5% en carne (Argel, 2006).

En Particular el pasto Chetumal (*Brachiaria humidicola* CIAT 679) es un cultivar que tolera suelos con excesos de humedad intermitente, por periodos de hasta dos semanas, tolerante a la mosca pinta (*Aeneolamia postica*), habito de crecimiento estolonífero y de fácil propagación, además de tener buena resistencia al pastoreo y tener mayor producción de biomasa que otros cultivares y especies del mismo género (Keller-Grein *et al.*, 1996; Enríquez *et al.*, 1999; Enríquez y Romero, 1999; Cruz *et al.*, 2011). Por lo anterior, este cultivar representa una alternativa viable para incrementar la producción de forraje en las regiones tropicales de México.

El establecimiento de praderas tiene la finalidad de renovar pasturas ya existentes o la introducción de nuevas especies o cultivares con mayor potencial de producción. El establecimiento comprende varias etapas, desde la preparación del terreno hasta que la pradera se encuentra lista para ser utilizada ya sea mediante corte o pastoreo. Este proceso tiene dos componentes, germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas (Enríquez *et al.*, 1999; Hampton *et al.*, 1999). El manejo inicial de la nueva pastura tiene la finalidad de mantener la población de plántulas que han emergido y están sean capaces de regenerarse es decir que se regenere la vegetación y favorecer la generación de nuevos tallos.

El tiempo al primer uso de la pradera va a depender de las condiciones ambientales y de la especie sembrada (Hampton *et al.*, 1999). Algunos investigadores, en trabajos en praderas establecidas del pasto Chetumal, sugieren realizar cortes en rebrotes de 28 a 35 días en la época de lluvias y cuando no son

favorables las condiciones para el crecimiento del pasto a edades de 42 a 56 días tomando como referencia la acumulación de biomasa y la tasa de crecimiento (Enríquez y Romero, 1999; Costa y Paulino, 1999; Quinquim *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2011). Al respecto Costa y Paulino mencionan que para hacer recomendaciones de cultivares hay que considerar otras características morfofisiológicas tales como altura de las plantas, relación hoja:tallo, tasa de expansión foliar y dinámica de ahijamiento, entre otras, presentan relación directa con la productividad y calidad del forraje (Costa y Paulino, 1999). Dada la escases de información que hay del pasto Chetumal para hacer un manejo adecuado en el establecimiento y las características morfofisiológicas que se requiere estudiar para realizar recomendaciones, se planteó esta investigación con el objetivo de realizar un análisis del crecimiento del pasto Chetumal (*Brachiaria humidicola* CIAT 679) desde la siembra hasta los 180 días después de la siembra para determinar el momento optimo para realizar la primer cosecha.

2.4. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se efectuó en el Sitio Experimental “Papaloapan” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Isla, Veracruz, localizado a los 18° 06' LN y los 95° 31' LO y altitud de 65 msnm. El clima, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (García, 1988), es Aw₀, el más seco de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano y una precipitación promedio de 1,000 mm, de la cual el 85% ocurre de junio a noviembre, la temperatura media anual es de 25.7

°C. El suelo es acrisol órtico, con textura franco arenosa, con pH de 4 a 4.7, pobre en materia orgánica, nitrógeno, calcio, potasio y contenidos medios a altos de fósforo y magnesio (Enríquez y Romero, 1999).

El experimento se sembró el 22 de julio del 2011 y las evaluaciones se hicieron del 24 de agosto del mismo año al 23 de enero del 2012. Se estableció en parcelas de 5 m de ancho por 16 m de largo, con tres repeticiones. La siembra se realizó con semilla botánica en líneas, con separación de 0.50 m, se utilizó una densidad de 14 kg ha⁻¹. Se aplicó una dosis de fertilizante de 120-80-00 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente; la cual se dividió en dos aplicaciones, a los 43 y 112 días después de la siembra (dds).

Se evaluaron diferentes estadíos de crecimiento (30, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 y 180 dds), mediante muestreos destructivos; en cada estadío se cosecharon, a ras del suelo y al azar, dos transectos de 1 m lineal por parcela. El material cosechado se pesó para obtener el peso fresco total del transecto y se tomó una submuestra del material cosechado, se pesó nuevamente en fresco y se secó en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante, para obtener la materia seca producida. Del material cosechado se tomó otra submuestra de 200 g, se separó en hojas, tallos, inflorescencias y material muerto; se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante y pesaron, para así obtener la proporción de cada componente. La relación hoja/tallo (H:T) y hoja/no hoja (H:NH), se estimó para cada edad de crecimiento, al dividir la biomasa total de hojas, entre la biomasa total de tallos. Para el caso de la relación hoja/no hoja, la materia seca

total de hojas, se dividió entre la sumatoria de la materia seca de tallos, inflorescencias y material muerto.

Con los datos de rendimiento de forraje por corte se calculó la tasa de crecimiento (TC) mediante la siguiente fórmula:

$$TC = \frac{FC}{t}$$

Dónde:

FC = Forraje cosechado (kg MS ha⁻¹) y

t = días transcurridos entre corte y fecha de siembra.

Se tomaron cinco lecturas al azar de la radiación interceptada (RI) para cada edad de desarrollo en cada parcela con una regla de 1 m, graduada en centímetros, colocándola a nivel de suelo y en posición perpendicular a los surcos. Las lecturas se realizaron aproximadamente a las 12:00 h, con la finalidad de estimar o captar la energía de los rayos solares en posición perpendicular al cultivo. Para ello se asume que la luz incidente sobre la regla es la que escapa a la intercepción por el cultivo y la sombra proyectada sobre la regla corresponde a la radiación interceptada por el dosel vegetal.

Para estimar la cobertura se utilizó un cuadro de 1 m², el cual representa el 100% de la superficie, la superficie ocupada por el forraje, dentro del cuadro, se expresó como la proporción que cubría en dicho cuadro. Se realizaron cinco mediciones por parcela en cada etapa de crecimiento. Al igual, para medir la altura de la pradera, se efectuaron cinco mediciones aleatorias en cada unidad

experimental colocando la regla en el suelo y se registró la altura cuando se tuvo el punto de contacto con la hoja más joven.

Los datos se analizaron por los procedimientos GLM de SAS (SAS, 2002), para un diseño experimental de bloques al azar con medidas repetidas, con 10 tratamientos (correspondientes a igual número de estadíos de crecimiento) con tres repeticiones y un análisis de regresión para cada variable, con el objetivo de describir la tendencia, a partir de seleccionar el mejor modelo, de acuerdo con el coeficiente de determinación y con el grado de significancia del modelo.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación pluvial acumulada durante el periodo de evaluación (julio de 2011 a enero de 2012) fue de 1,434 mm (Figura 2.1), lo cual indica que no hubo escases de humedad durante el establecimiento. La temperatura promedio durante el periodo de se realizó el experimento fue de 25.0°C, ligeramente por debajo de la media anual reportada; las temperaturas máximas estuvieron por arriba de los 30 °C, temperatura a la cual las gramíneas tropicales tienen altas tasas de crecimiento, y crecen menos a temperaturas de 15 a 17 °C (Da Silva *et al.*, 2008); esta última condición se ocurrió en los meses de diciembre y enero.

La edad del rebrote tuvo un efecto significativo ($P < 0.01$) en la acumulación de biomasa total (BT), biomasa de hojas (BH), biomasa de tallos (BTS), material muerto (MM), y el crecimiento neto (CN) del pasto Chetumal. Estas variables tienen una relación positiva con la edad del rebrote (Figura 2.2). La acumulación de biomasa de los diferentes componentes se ajustó a un polinomio de tercer grado y

el coeficiente de determinación fue alto ($r^2 > 0.90$). Modelos similares son reportados en pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido) y en pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) (Pérez-Amaro et al., 2004; Calzada-Marín et al., 2014).

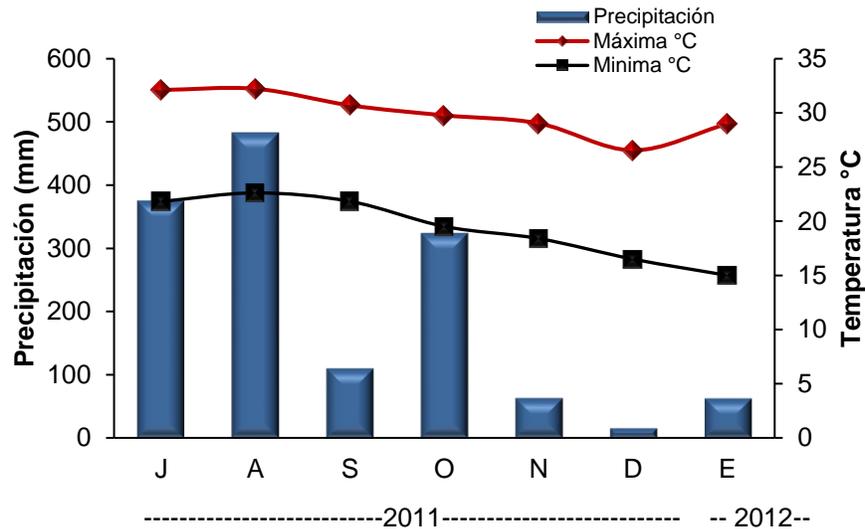


Figura 2.1. Comportamiento de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante la fase de muestreo en el Sitio Experimental Papaloapan, Isla, Veracruz.

La mayor acumulación de BT ($13,324 \text{ kg MS ha}^{-1}$) del pasto Chetumal ocurrió a los 135 días después de la siembra (dds), a esta edad también se alcanzó la mayor BH, BTS y CN con rendimientos de $2,569$, $7,969$ y $10,538 \text{ kg MS ha}^{-1}$ respectivamente. Después de esta edad la BT, BH, BTS y CN disminuyó debido al incremento en las pérdidas de biomasa por senescencia y descomposición, reflejándose en incremento del MM, esto ha sido observado en otros pastos de regiones tropicales, en *Pennisetum* spp. reportado por Calzada-Marín et al. (2014) y Araya y Boschini (2005) y en pasto Mulato por Pérez-Amaro et al. (2004); y también en especies de clima templado como en *Dactylis glomerata* L (Velasco-

Zabadúa *et al.*, 2001); esto sucede cuando las plantas alcanza el índice de área foliar óptimo, momento en el que se incrementa el sombreado en las capas inferiores del dosel, ocasionando que la senescencia sea mayor al crecimiento de las hojas (Chapman y Lemaire, 1993). Debido a esto es que uno de los criterios para interrumpir el crecimiento de las plantas, cuando están en fase vegetativa, es cuando se intercepta el 95% de la radiación incidente, debido a que es cuando el proceso de senescencia de las hojas se iguala al crecimiento de las hojas, así se obtendría un alta producción de forraje y baja acumulación de material muerto (Da Silva y Nascimento, 2007). En este estudio esta condición se presentó en pasto Chetumal, a los 135 dds con 100% de radiación interceptada y una altura de 68 cm.

La tasa de crecimiento (TC) del pasto Chetumal fue estadísticamente diferente ($p < 0.01$) por efecto de la edad del rebrote. El modelo al cual se ajustó la TC es un polinomio de tercer grado con un coeficiente de determinación alto ($r^2 > 0.90$). Esta se incrementó desde la emergencia de plantas hasta llegar a un máximo de 99 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ a los 135 dds y después fue disminuyendo (Figura 2.3). Este índice de crecimiento es considerado como el mejor estimador de la eficiencia en la producción vegetal y ha sido utilizado en la práticamente para evaluar la efectividad de diferentes prácticas de manejo (Enríquez y Romero, 1999). El aumento de la TC tiene relación directa con la biomasa vegetal, con el aumento del dosel de la pradera, la capacidad fotosintética, la cual se incrementa al acumular más área foliar hasta llegar a un crecimiento máximo (Enríquez y Romero, 1999; Pérez-Amaro *et al.*, 2004), el momento que se presentó la mayor TC concuerda

cuando se alcanzó la mayor acumulación de la biomasa de hojas (Figura 2.3), lo cual es congruente a lo mencionado por Enríquez y Romero (1999) además de Pérez-Amaro et al. (2004).

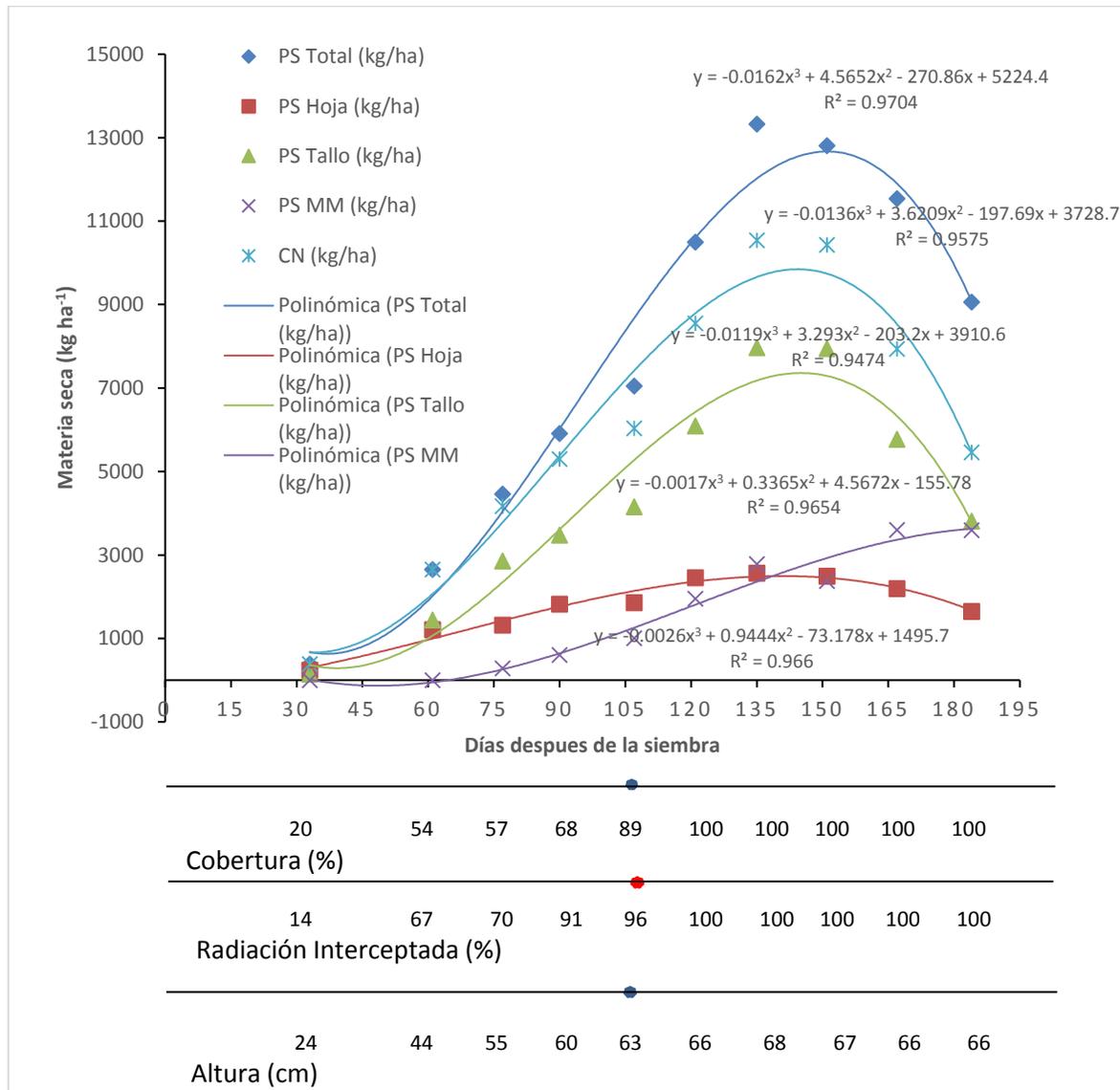


Figura 2.2. Dinámica de acumulación de forraje total, por componente morfológico, altura de la planta, radiación interceptada y porcentaje de cobertura del pasto Chetumal durante el establecimiento.

El valor máximo de TC para pasto Chetumal en este estudio es similar al reportado por otros investigadores, 100 y 106 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ en la época del año que mayor crecimiento tienen los pastos en la región de trópico húmedo en el estado de Veracruz, México (Enríquez y Romero, 1999; Cruz *et al.*, 2011). Al respecto Fagundes *et al.* (1999) mencionan que con valores de RI mayores al 95% resulta en actividad fotosintética máxima y por tanto máxima TC. Por lo antes mencionado, el momento de realizar la primera utilización de una pradera de pasto Chetumal sería cuando alcanza su máxima TC. Otro punto a favor es que cuando hay mayor cantidad de hojas en la planta, en esta hay más carbohidratos solubles en el tallo, lo que va a favorecer un vigorosa regeneración de la pradera (Lee *et al.*, 2009).

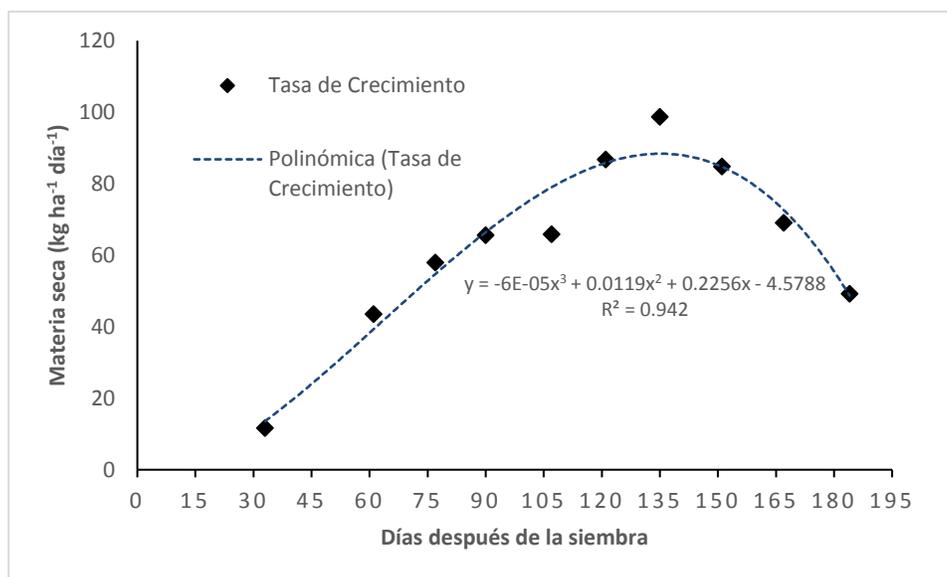


Figura 2.3. Cambios en la tasa de crecimiento, a través del tiempo, del pasto Chetumal durante el establecimiento.

En la producción de forraje además de la cantidad, calidad del forraje producido también es importante (Santana-Pérez *et al.*, 2010), estas dos

características están influenciadas directamente por la morfología de la planta y otras características como la altura de la planta, la relación H:T, H:NH, es por ello que el desarrollo morfológico de las plantas forrajeras perennes, constituye un factor a considerar en la adopción de prácticas adecuadas en el manejo del potrero (Moore y Hatfield, 1994; Costa y Paulino, 1999). De los componentes morfológicos las hojas son las que tienen mayor importancia en la calidad del forraje, al ser las que tienen mayor valor nutritivo por lo que la productividad animal está relacionada con la cantidad de hoja en la dieta (Hare et al., 2009; Nyambati et al., 2010).

Los cambios en la composición morfológica del pasto Chetumal, se muestran en la Figura 2.4. A los 33 dds había 62% de hoja y 38% de tallos, es cuando se tiene la mayor calidad del forraje, al incrementar la edad de las plantas la proporción de hoja disminuyó y la proporción de tallo aumento, para 77 dds hay presencia de MM, el cual se incrementa con la edad del rebrote, de tal manera que para los 135 dds hay 19, 60 y 21% de hoja, tallo y material muerto. Tendencia similar a lo observado en pasto Chetumal ha sido observado en Ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y Ovillo (*Dactylis glomerata* L.) (Velasco-Zebadua et al., 200; Velasco et al., 2002); además en Maralfalfa (*Pennisetum* sp) y Mulato (*Brachiaria híbrido*) (Pérez-Amaro et al., 2004; Calzada-Marín et al., 2014).

Los cambios en la relación H:T y H:NH, durante los diferentes estadios de crecimiento, se muestran en la Figura 2.5; ambas variables tienden a disminuir conforme se incrementa la madurez del pasto, a consecuencia de un aumento en la biomasa de tallo y material muerto (Figura 2.2). La relación H:T se ajustó a un

modelo de regresión de un polinomio de tercer grado ($r^2=0.97$) y H:NH a un modelo de regresión Potencial ($r^2=0.95$). La relación H:T varió de 1.62 a 0.31 mientras que H:NH sus valores fueron de 1.62 a 0.22, la diferencia entre H:T y H:NH es más notoria después de los 135 dds, esto es debido al incremento del MM, esto también fue observado en *Pennisetum* sp.(Calzada-Marín *et al.*, 2014) y *Dactylis glomerata* L.) (Velazco-Zebadua *et al.*, 2001), lo cual reduce la calidad nutricional del forraje.

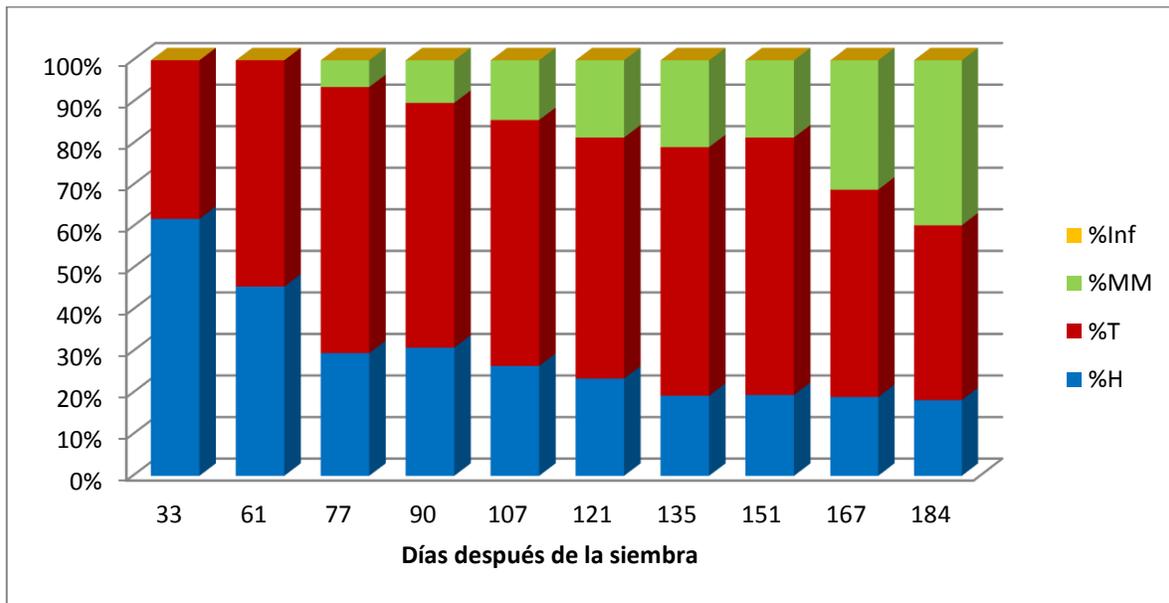


Figura 2.4. Cambios morfológicos en pasto Chetumal en diferentes estadios de crecimiento durante el establecimiento.

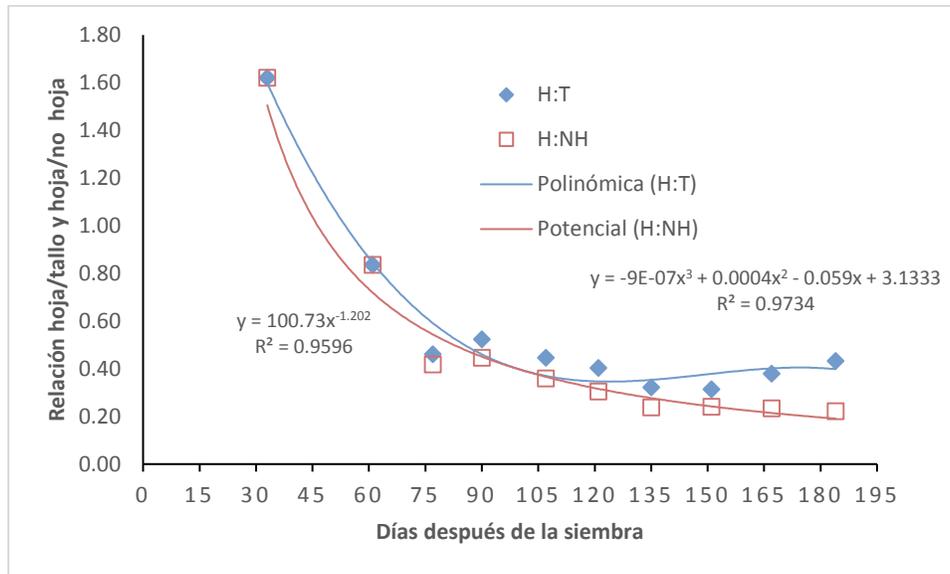


Figura 2.5. Cambios a través del tiempo en la relación hoja/tallo y hoja/no hoja del pasto Chetumal, durante el establecimiento.

2.6. CONCLUSIONES

En base a los resultados se recomienda, en Pasto Chetumal, realizar, el primer corte, a los entre los 120 y 135 día después de la siembra o cuando la pradera tenga una altura entre 66 y 68 cm y 100% de radiación Interceptada.

2.7. LITERATURA CITADA

- Araya, M.M. y Boschini F.C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 16(1): 37-43.
- Argel, P.J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14(2): 65-72.
- Calderón, R.R.C., Hernández V.J.O., Olazarán J.S., Ramírez G.J.J.M., Rosete F.J.V., Ríos U.A., Galavíz R.J.R., Vega M.V.E., Castañeda M.O.G., Aguilar B.U. y Lagunes L.J. 2007. Manual ilustrado para el manejo de la lechería tropical especializada con bovinos. Libro Técnico Núm. 18. Sitio Experimental las Margaritas. Campo Experimental la Posta. CIRGOC, INIFAP. Puebla, México. 133 p.
- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz J.F., Hernández-Garay A., Ortega-Jiménez E. y Mendoza-Pedroza S.I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5(2):247-260.
- Costa, N.L. e Paulino V.T. 1999. Desempenho agronómico de genótipos de *Brachiaria humidicola* em diferentes idades de corte. *Pasturas Tropicales*. 21(2): 68-71.
- Cruz, L.P.I., Hernández G.A., Enríquez Q.J.F., Mendoza P.S.I., Quero C.A.R. y Joaquín T.B.M. 2011. Desempeño agronómico de genotipos de

Brachiaria humidicola (Rendle) Schweickt en el trópico húmedo de México. Rev. Fitotec. Méx. 34(2): 123-131.

Chapman, D.F. and Lemaire G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In*: Proceedings of the XVII International Grassland Congress. Palmerston, New Zealand. SIR Publ., Wellington, New Zealand. 95-104 pp.

Da Silva, S.C. e Nascimento Jr. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia. 36(suplemento especial): 121-138.

Da Silva, S.C.; Nascimento Jr. D. e Batista E.V.P. 2008. Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo. Ed. Viçosa -MG. Viçosa, Brasil. 115 p.

Enríquez, Q.J.F., Meléndez N.F. y Bolaños A.E.D. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México, Libro Técnico Núm. 7, División Pecuaria. Campo Experimental Papaloapan, CIRGOC, INIFAP. Veracruz, México. 262 p.

Enríquez, Q.J.F. y Romero M.J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla, Veracruz. Agrociencia. 33: 141-148.

Fagundes, J.L., Da Silva S.C., Silveira P.C.G., Fischer S.A., Carnevalli R.A., Brandão de C.C.A. e De Moura P.L.F. 1999. Índice de área foliar,

interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob diferentes intensidades de pastejo. *Scientia Agricola*. 56(4): 1141-1150.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 4ª ed. Instituto de Geografía, UNAM; D. F., México. 217 p.

Hampton, J.G., Kemp P.D. & White J.G.H. 1999. Pasture Establishment. *In*: White J. and Hodgson J. [ed.]. *New Zealand Pasture and Crop Science*. Ed. Oxford University Press. Auckland, New Zealand; pp 101-115.

Hare, M.D.; Tatsapong P. and Phengphet S. 2009. Herbage yield and quality of *Brachiaria* cultivars, *Paspalum atratum* and *Panicum maximum* in north-east Thailand. *Tropical Grasslands*. 43: 65-72.

Hernández, G.A., Enríquez Q.J.F., Velasco Z.M.E. y Ortega J.E. 2006. Estrategias para reducir la estacionalidad de la producción animal en el trópico mexicano. *In*: Velasco Z.M.E., Hernández G.A., Pérez G.A. y Sánchez B.M. (ed.) *Producción y Manejo de los recursos forrajeros tropicales*. Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México; pp 5-21.

Keller-Grein, G., Maass B.L. and Hanson J. 1996. Natural variation in *Brachiaria* and existing germoplasm collections *In*: Miles J.W., Maass B.L. and Do Valle Cb. (eds). *Brachiaria: Biology, Agronomy and Improvement*. CIAT and Embrapa. CIAT publication 259. Cali, Colombia; pp 16-42.

- Lee, J.M., Donaghy D.J., Sathish P. and Roche J.R. 2009. Interaction between water-soluble carbohydrate reserves and defoliation severity on the regrowth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.)-dominant swards. *Grass and Forage Science*. 64:266-275.
- Moore, K.J. and Hatfield R.D. 1994. Carbohydrates and Forage Quality. *In*: Fahey G.C. (ed.) *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. Madison, Wisconsin, USA. 229-280 pp.
- Nyambati, E.M., Muyekho F.N., Onginjo E. and Lusweti M. 2010. Production, characterization and nutritional quality of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivars in Western Kenya. *African Journal of Plant Science*. 4(2): 496-502.
- Pérez-Amaro, J.A., García-Moya E., Enríquez-Quiroz J.F., Quero-Carrillo A.R., Pérez-Pérez J. y Hernández-Garay A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria* híbrido, cv.). *Técnica Pecuaria México*. 42(3): 447-458.
- Quinquim, M.J., Rossiello R., Rodrigues de A.J.B. e Rodrigues A.B.J. 2005. Adubação nitrogenada e potássica em pastagem de *Brachiaria humidicola* em um Planossolo da baixada fluminense, Rio de Janeiro. *Pasturas Tropicales*. 27(3): 59-65.
- Santana-Pérez, A.A.; Pérez-López A. y Figueredo-Acosta 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.

Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 1(3): 277-286.

SAS. SAS User's Guide: Statistics (version 9.0 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.

2002.

Velasco, Z.M.E., Hernández-Garay A., González-Hernández V.A., Pérez P.J. y

Vaquera H.H. Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne.

Revista Fitotecnia Mexicana 2002. 25(1):97-106.

Velasco-Zebadúa, M.E., Hernández-Garay A., González-Hernández V.A., Pérez-

Pérez J., Vaquera-Huerta H. y Galvis-Spinola A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (*Dactylis glomerata*

L.). Técnica Pecuaria en México. 39(1): 1-14.

CAPITULO 3. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO TOLEDO (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO

3.1. RESUMEN

El objetivo de este experimento fue realizar un análisis de crecimiento del pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) desde la siembra hasta los 184 días después de la siembra para determinar el momento óptimo de cosecha. Se evaluó la composición morfológica (CM), tasa de crecimiento (TC), altura, radiación interceptada (RI), relación hoja/tallo (H:T), hoja/no hoja (H:NH) y la acumulación de biomasa aérea, a intervalos de quince días, a excepción de los dos primeros muestreos que fueron mensuales. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS, bajo un diseño experimental de bloques al azar, con medidas repetidas en el tiempo, con tres repeticiones. La CM varió de manera significativa ($P<0.01$) a través de los diferentes estados fisiológicos. La máxima producción de biomasa aérea ($19,9 \text{ t MS ha}^{-1}$) y TC ($131.86 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) se alcanzó entre los 150 dds y la de hojas (3.9 t MS ha^{-1}) fue a los 135 dds. En este momento la RI fue del 100% y la altura de 106 cm. La proporción de hojas disminuyó con la edad del rebrote y la relación H:T y HNH también disminuyó con el incremento de edad de las plantas. La máxima TC coincidió con la mayor biomasa total acumulada. Por lo que se sugiere realizar el corte en este momento.

PALABRAS CLAVE: Toledo, crecimiento, hoja, tallo, radiación interceptada, altura.

3.2. ABSTRACT

The objective of this experiment was to conduct growth analysis on Toledo grass (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) from planting to 185 days after planting to determine the optimal time to harvest. The plant morphology (MP), growth rate (RG), height, intercepted radiation (IR), leaf/stem ratio (L:S), leaf/no leaf (L:NL) and the biomass accumulation, were evaluated at intervals of fifteen days during a 180 days period, except for the first two samples were monthly. The data were analyzed using the GLM procedure of SAS, under an experimental design of randomized blocks, with repeated measures over time, with three replicates. The MP varied significantly ($P < 0.01$) across the different ages of the plant. The maximum accumulation of total biomass ($19.9 \text{ t DM ha}^{-1}$) and RG ($131.86 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) were reached at 150 days after planting; and the biomass of leaf maximum (3.9 t DM ha^{-1}) was at 135 days after planting. At this time, 100% of IR and height of 106 cm were registered. The leaf proportion, the ration L:S and L:NL decreased with regrowth age. The maximum RG coincided with the highest total accumulated biomass. So it is suggested to make the cut at this time.

KEY WORDS: Toledo, growth, leaf, stem, intercepted radiation, height.

3.3. INTRODUCCIÓN

En México, la región tropical comprende aproximadamente 28% del territorio nacional, 56 millones de hectáreas (Hernández-Garay *et al.*, 2006; Calderon *et al.*, 2007); el 75% de dicha superficie se dedica a la ganadería, constituida en un 50% de agostaderos y praderas nativas, 25% de praderas inducidas y el resto son praderas introducidas; sin embargo, el índice de productividad de carne y leche del país es bajo con valores de 35% y 16% respectivamente (Hernández-Garay *et al.*, 2006). La adopción de diversos cultivares del género *Brachiaria*, en algunas regiones de México y en países de Centroamérica, han permitido aumentar la productividad animal de 26% en leche y 5% en carne, por el alto rendimiento y calidad del forraje (Argel, 2006). En México las especies del género *Brachiaria* más utilizados son: *B. brizantha* (A. Rich Stapf) CIAT 6780 cv. Insurgente, *B. decumbens* Stapf CIAT 606 cv. Chontalpo y *B. humidicola* (Rendle) Schweick CIAT 679 cv. Chetumal (Enríquez *et al.*, 1999; Argel, 2006).

El Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) es un cultivar con potencial para ser utilizado en las zonas tropicales de México. Este cultivar se derivó directamente de la Accesoión *B. brizantha* CIAT 26110, se adapta a condiciones de trópico subhúmedo con períodos de sequía de 5 a 6 meses. Se desarrolla bien en suelos ácidos de mediana a buena fertilidad. En la época seca mantiene mayor proporción de hojas verdes y mayor producción de materia seca que el cv. Insurgente Se establece por medio de semilla gámica y también se puede propagar con material vegetativo. Por su hábito de crecimiento formando macollos, se asocia

bien con leguminosas forrajeras de crecimiento estolonífero (Argel, 2000; Hare *et al.*, 2009).

El establecimiento de praderas tiene el objetivo de renovar las pasturas existentes o introducir nuevas especies o cultivares a los sistemas de producción. El establecimiento comprende varias etapas, desde la preparación del terreno hasta que la pradera se encuentra lista para ser utilizada, ya sea mediante corte o pastoreo (Enríquez *et al.*, 1999; Hampton *et al.*, 1999). El manejo inicial de la nueva pradera es importante para mantener la población de plantas que han emergido y que estas sean capaces de regenerarse (Hampton *et al.*, 1999). Por eso es de gran importancia describir su comportamiento fisiológico, la producción y la composición nutricional (Araya *et al.*, 2005).

El crecimiento de los pastos involucra cuatro procesos primarios: la aparición de hojas, la aparición de tallos, la formación de tallos verdaderos y la aparición de raíces (Matthew *et al.*, 2001). El ambiente caracterizado por el suelo y el clima, tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas y por lo tanto en su rendimiento; sin embargo, la disponibilidad de los recursos ambientales está supeditada a factores como tipo de suelo, altitud, vientos y decisiones de manejo agronómico (Valentine y Mathew, 1999). Siendo precisamente la temperatura y la humedad los dos factores del clima que más determinan el crecimiento de las plantas a través del año (Radulovich, 2000; Da Silva y Carvalho, 2005), se ha reportado que con poca disponibilidad de humedad y temperaturas bajas la tasa de crecimiento de los pastos es lento (Macedo *et al.*, 2012), retardando el momento de

la cosecha. Por tal motivo, el análisis de crecimiento vegetal, constituye una herramienta de gran valor para conocer la formación y acumulación de biomasa, determinada por los factores internos de la planta y por el ambiente en que se desarrolla (Rodríguez y Larqué-Saavedra, 1988). Además, se sabe que la edad del rebrote provoca cambios en la producción y en la composición nutricional de la planta, es decir que a aumentar la edad del forraje se incrementa la acumulación de materia seca y la calidad nutricional disminuye, no obstante la mayor concentración de nutrientes por hectárea se presenta cuando se alcanza la mayor acumulación de materia seca, después de este punto la concentración de nutrientes disminuye (Santana-Pérez *et al.*, 2010).

En el estudio de los patrones de crecimiento de los pastos, la composición morfológica, es decir, la proporción relativa de: hojas, tallos, material muerto y espigas presentes en el forraje que acumulan en el tiempo es de gran significado, en la calidad del forraje cosechado y en las implicaciones en la adquisición de recursos ambientales como luz, temperatura y precipitación (Velasco *et al.*, 2002). La presente investigación se planteó con el objetivo de realizar un análisis de crecimiento del pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) durante el establecimiento para determinar el momento fisiológico óptimo de cosecha.

3.4. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se efectuó en el Sitio Experimental “Papaloapan” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Isla, Veracruz, localizado a los 18° 06' LN y los 95° 31' LO y altitud

de 65 msnm. El clima, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), es Aw_0 , el más seco de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano y una precipitación promedio de 1,000 mm, de la cual el 85% ocurre de junio a noviembre, la temperatura media anual es de 25.7 °C. El suelo es acrisol órtico, con textura franco arenosa, con pH de 4 a 4.7, pobre en materia orgánica, nitrógeno, calcio, potasio y contenidos medios a altos de fósforo y magnesio (Enríquez-Quiroz y Romero-Mora, 1999).

El experimento se sembró el 22 de julio del 2011 y las evaluaciones se hicieron del 24 de agosto del mismo año al 23 de enero del 2012. Se estableció en parcelas de 5 m de ancho por 16 m de largo, con tres repeticiones. La siembra se realizó con semilla botánica en líneas, con separación de 0.50 m, se utilizó una densidad de 14 kg ha⁻¹. Se aplicó una dosis de fertilizante de 120-80-00 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente; la cual se dividió en dos aplicaciones, a los 43 y 112 días después de la siembra (dds).

Se evaluaron diferentes estadíos de crecimiento (30, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 y 180 dds), mediante muestreos destructivos; en cada estadío se cosecharon, a ras del suelo y al azar, dos transectos de 1m lineal por parcela. El material cosechado se pesó para obtener el peso fresco total del transecto y se tomó una submuestra del material cosechado, se pesó nuevamente en fresco y se secó en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante, para obtener la materia seca producida.

Del material cosechado se tomó otra submuestra de 200 g, se separó en hojas, tallos, inflorescencias y material muerto; se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante y pesaron, para así obtener la proporción de cada componente. La relación hoja/tallo (H:T) y hoja/no hoja (H:NH), se estimó para cada edad de crecimiento, al dividir la biomasa total de hojas, entre la biomasa total de tallos. Para el caso de la relación hoja/no hoja, la materia seca total de hojas, se dividió entre la sumatoria de la materia seca de tallos, inflorescencias y material muerto.

Con los datos de rendimiento de forraje por corte se calculó la tasa de crecimiento (TC) mediante la siguiente fórmula:

$$TC = \frac{FC}{t}$$

Dónde:

FC = Forraje cosechado (kg MS ha⁻¹) y

t = días transcurridos entre corte y fecha de siembra.

Se tomaron cinco lecturas al azar de la radiación interceptada (RI) para cada edad de desarrollo en cada parcela con una regla de 1 m, graduada en centímetros, colocándola a nivel de suelo y en posición perpendicular a los surcos. Las lecturas se realizaron aproximadamente a las 12:00 h, con la finalidad de estimar o captar la energía de los rayos solares en posición perpendicular al cultivo. Para ello se asume que la luz incidente sobre la regla es la que escapa a la intercepción por el cultivo y

la sombra proyectada sobre la regla corresponde a la radiación interceptada por el dosel vegetal.

Para estimar la cobertura se utilizó un cuadro de 1 m², el cual representa el 100% de la superficie, la superficie ocupada por el forraje, dentro del cuadro, se expresó como la proporción que cubría en dicho cuadro. Se realizaron cinco mediciones por parcela en cada etapa de crecimiento. Al igual, para medir la altura de la pradera, se efectuaron cinco mediciones aleatorias en cada unidad experimental colocando la regla en el suelo y se registró la altura cuando se tuvo el punto de contacto con la hoja más joven.

Los datos se analizaron por los procedimientos GLM de SAS (2002), para un diseño experimental de bloques al azar con medidas repetidas, con 10 tratamientos (correspondientes a igual número de estadíos de crecimiento) con tres repeticiones y un análisis de regresión para cada variable, con el objetivo de describir la tendencia, a partir de seleccionar el mejor modelo, de acuerdo con el coeficiente de determinación y con el grado de significancia del modelo.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación pluvial acumulada durante el periodo de evaluación (julio de 2011 a enero de 2012) fue de 1,434 mm (Figura 3.1); lo cual es similar al valor de precipitación pluvial del sitio de colecta del cv. Toledo, que es de 1,710 mm (Argel, 2000), lo cual indica que no hubo escases de humedad durante el establecimiento. La temperatura promedio durante el periodo de se realizó el experimento fue de 25.0 °C, ligeramente por debajo de la media anual reportada; las temperaturas

máximas estuvieron por arriba de los 30 °C, temperatura a la cual las gramíneas tropicales tienen altas tasas de crecimiento, y crecen menos a temperaturas de 15 a 17 °C (Da Silva et al., 2008); esta última condición se ocurrió en los meses de diciembre y enero (Figura 3.1).

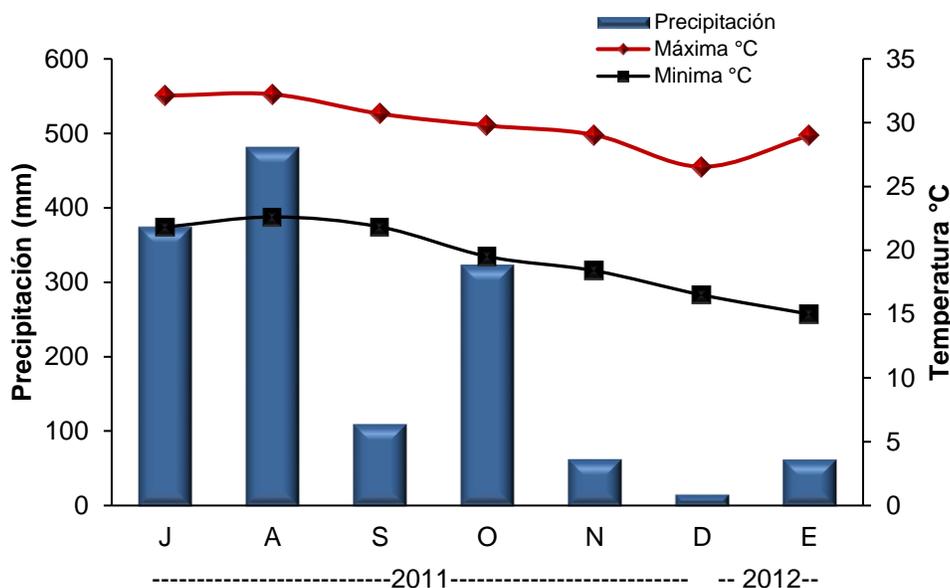


Figura 3.1. Comportamiento de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante la fase de muestreo en el Sitio Experimental Papaloapan, Isla, Veracruz.

La acumulación de biomasa total y por componente en el pasto Toledo varió significativamente ($P < 0.01$) debido a la edad de rebrote (Figura 3.2). Los modelos de regresión que mejor se ajustaron fueron polinomios de tercer grado y los coeficientes de determinación fueron con valores de $r^2 > 0.90$, para cada una de las variables estudiadas.

En la curva de crecimiento del pasto Toledo (Figura 3.2), durante el establecimiento de la pradera, se observa que la biomasa total se incrementó hasta llegar a 19.9 t de MS ha⁻¹ a los 150 dds, posteriormente hay una disminución de la biomasa, en esta edad del rebrote también ocurre la mayor biomasa de tallos, mientras que la mayor biomasa de hojas fue a los 135 dds. Esta tendencia también ha sido reportado por Calzada-Marín *et al.* (2014) y Araya y Boschini (2005) en pastos del género *Pennisetum*. La disminución de biomasa se debe a incremento en la senescencia de las hojas. Al respecto, varios investigadores mencionan que la disminución de la biomasa se presenta cuando la senescencia y la descomposición superan a la producción de hojas (Hodgson, 1990; Hernández et al., 1999). La disminución de la acumulación neta de forraje también ha sido observada en pastos de clima templado, esto sucede cuando las plantas alcanzan el índice de área foliar óptimo, momento en el que se incrementa el sombreado en las capas inferiores del dosel, ocasionando que la senescencia sea mayor al crecimiento de las hojas (Chapman y Lemaire, 1993). Al respecto, Azumí y Watanabe (1991), indicaron que la senescencia en hojas, se presenta debido a una pérdida gradual en la actividad fotosintética, que conduce a una degeneración y muerte de tejido, no sólo por efecto de la edad, sino también por efecto de las condiciones ambientales y de manejo.

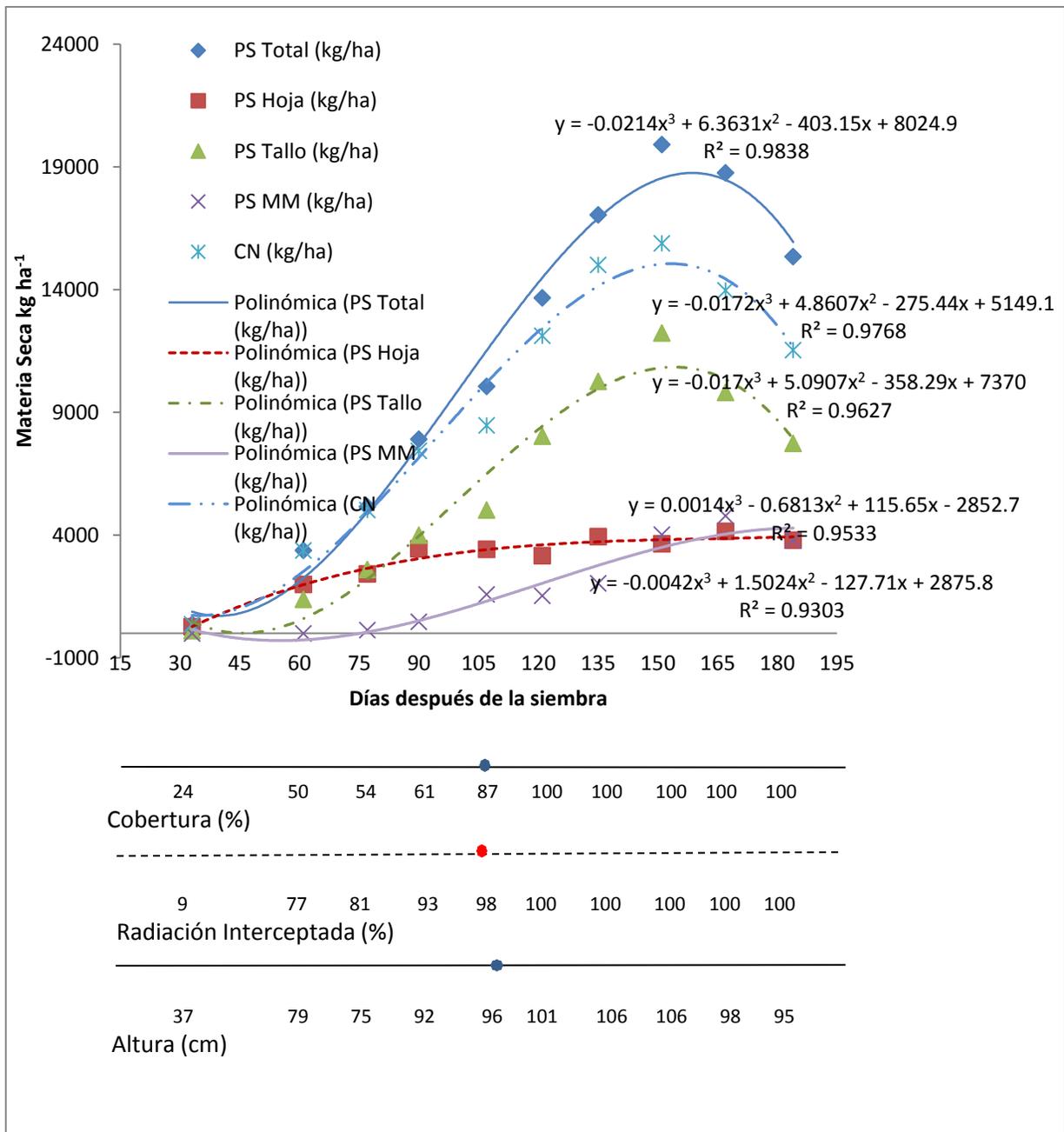


Figura 3.2. Dinámica de acumulación de forraje total, por componente morfológico, altura de la planta, radiación interceptada y porcentaje de cobertura del pasto Toledo durante el establecimiento.

La altura del dosel de la pradera y la intercepción luminosa son dos características de la pradera que se relacionan con la producción de forraje, las cuales son fáciles de medir (Da Silva y Nascimento, 2007); en el crecimiento de pasto Toledo, la pradera tiene la mayor producción de forraje cuando la pradera tiene una altura de 106 cm e intercepción luminosa del 100%.

La tasa de crecimiento del pasto Toledo fue estadísticamente diferente ($p < 0.01$) por efecto de la edad del rebrote. El modelo al cual se ajustó la tasa de crecimiento es un polinomio de tercer grado (Figura 3.3). La tasa de crecimiento se incrementó desde la emergencia de plantas hasta llegar a un máximo de 132 kg MS $\text{ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ a los 150 dds. El crecimiento de las plantas depende de la captación fotosintética de CO_2 y de la síntesis de fotoasimilados (Pérez *et al.*, 2004). Dado que las hojas son el principal órgano fotosintético, a medida que la planta acumula más área foliar, se incrementa la capacidad de capturar energía solar y CO_2 , de tal forma que se alcanza la tasa de crecimiento máxima (Ramírez *et al.*, 2010). Además hay que considerar que altas tasas de crecimientos están relacionadas con mayor cantidad de raíz (Beltran *et al.*, 2005), y plantas con raíces grandes son más vigorosas. La disminución del crecimiento es debido a la disminución de la tasa de fotosíntesis neta por unidad de superficie e incremento gradual de la senescencia (Beltran *et al.*, 2005).

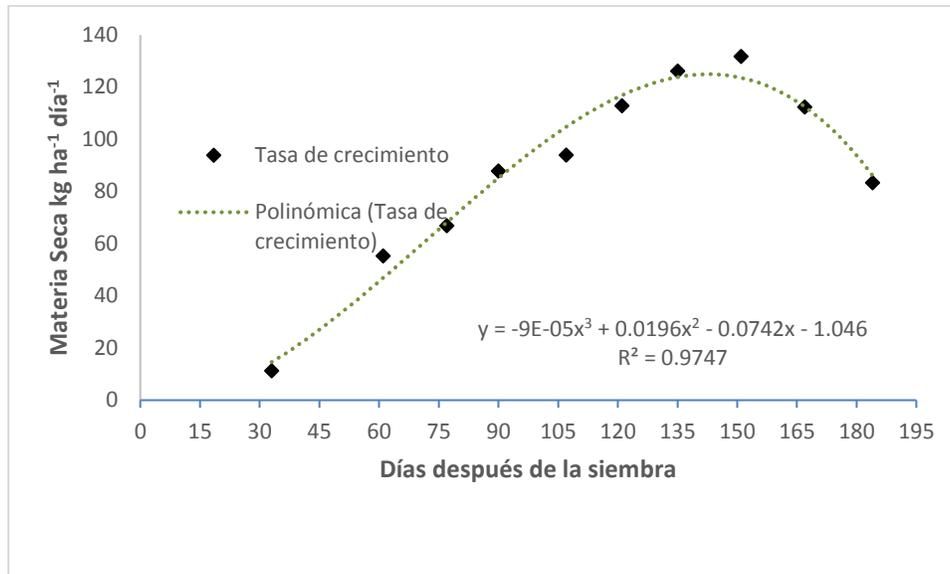


Figura 3.3. Cambios en la tasa de crecimiento, a través del tiempo, del pasto Toledo durante el establecimiento.

La cantidad y calidad del forraje producido por los pastos están, en gran medida, influenciadas por la morfología de la planta y es por ello que el desarrollo morfológico de las plantas forrajeras perennes, constituye un factor a considerar en la adopción de prácticas adecuadas en el manejo del potrero (Moore y Hatfield, 1994). Los cambios en la composición morfológica del pasto Toledo se muestran en la Figura 3.4. A los 30 dds había 71% de hoja y 29% de tallos, al aumentar la edad del rebrote la proporción de hoja disminuyó, aumentó la proporción de tallo y para 77 dds hay pérdidas por material muerto, el cual se incrementa con la edad del rebrote, de tal manera que para los 121 dds hay 23, 59, 11 y 7% de hoja, tallo, material muerto e inflorescencia. Esto es similar a lo observado por varios investigadores en especies de clima templado (Velasco-Zebadua *et al.*, 2001; Velasco *et al.*, 2002) y tropical (Pérez *et al.*, 2004; Calzada-Marín *et al.*, 2014).

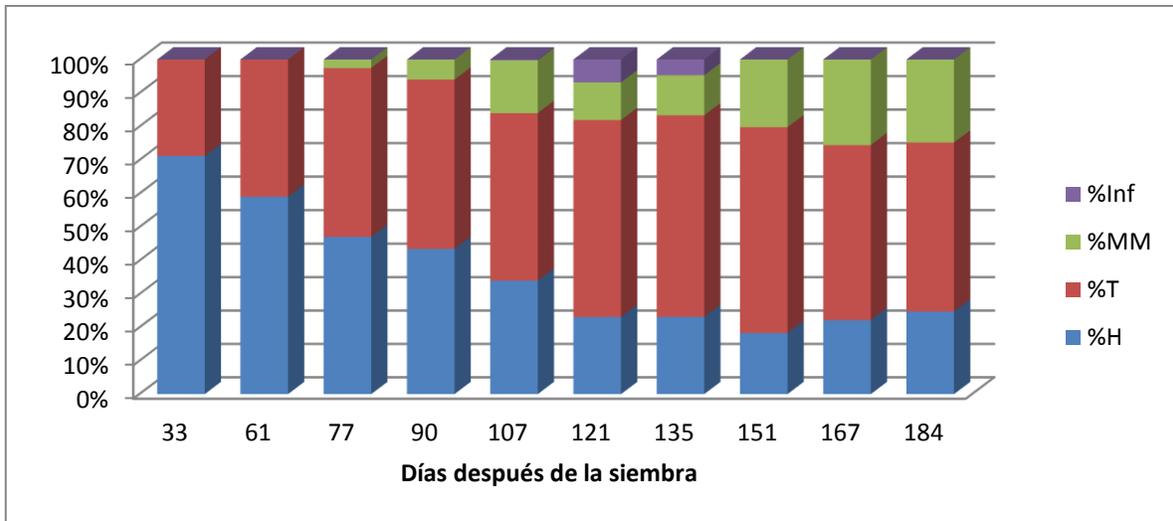


Figura 3.4. Cambios morfológicos en pasto Toledo en diferentes estadios de crecimiento durante el establecimiento.

La relación H:T y H:NH se ajustó a un modelo potencial. Ambas variables disminuyeron conforme se incrementó la madurez del pasto (Figura 3.5). Los valores de la relación H:T variaron de 2.57 a 0.32 y para H:NH fue de 2.57 a 0.23. La disminución del valor de estas variables se debe al incremento de la biomasa de tallos y material muerto (Figura 3.2), tal como han descrito varios investigadores (Velasco *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2004; Calzada-Marín *et al.*, 2014).

La etapa morfológica y fisiológica, en la que se encuentra la planta forrajera, al momento de la primera cosecha, es de suma importancia, debido a que de esto dependerá la persistencia y el vigor de rebrotes ulteriores (Pérez *et al.*, 2004). No obstante, el momento de la primera cosecha en el establecimiento de una pradera varía debido a que hay diferentes criterios. Un criterio es la edad del rebrote, Argel (2000) menciona que dadas las características del vigor de las plántulas del pasto Toledo y crecimiento inicial agresivo se puede hacer el primer pastoreo entre los 3

y 4 meses después de la siembra, es decir de 90 a 120 dds, y Hare *et al.* (2009) sugieren sea a 105 dds; como se ve, este varía mucho debido a que el crecimiento del pasto depende de las condiciones ambientales por lo que es difícil de homogeneizar, de acuerdo a los resultados de este estudio en ninguna de las tres fechas propuestas se alcanza la mayor producción de forraje, hojas (Figura 3.2) ni la tasa de crecimiento más alta (Figura 3.3) esto ocurre en este estudio entre los 135 y 150 dds. Otro criterio para realizar el corte es la radiación interceptada (Da Silva y Nascimento, 2007; Da Silva y Hernández, 2010), al respecto, Da Silva y Hernández (2010) argumentan que el punto óptimo para cosechar una gramínea tropical es cuando alcanza el 95% de Intercepción luminosa, ya que es cuando se obtiene la mayor aportación de hojas al rendimiento y es por lo tanto, el punto óptimo de crecimiento, es decir que el crecimiento de las hojas se iguala a la senescencia de las hojas, por lo que se evita la acumulación de material muerto al realizar el corte en este momento (Da Silva y Nascimento, 2007); sin embargo, esta premisa la han aplicado para praderas ya establecidas y/o sometidas a diferentes intervalos de cosecha; para el caso de este experimento, donde se evaluó el crecimiento desde el la siembra del pasto Toledo, se encontró que la mayor biomasa acumulada total, de hojas y la mayor tasa de crecimiento (Figura 3.2 y 3.3) se obtuvieron en la misma fecha, entre los 135 y 150 dds, cuando la RI fue de 100%, y el dosel de la pradera tenía una altura de 106 cm. Al respecto, Bullock *et al* (1988), indicaron que la hoja y sus rasgos característicos, son importantes en la asimilación del carbono, las relaciones hídricas y el equilibrio energético de la planta y, es por esto, que la

velocidad de crecimiento del cultivo, está en relación directa con la cantidad de radiación interceptada por el mismo.

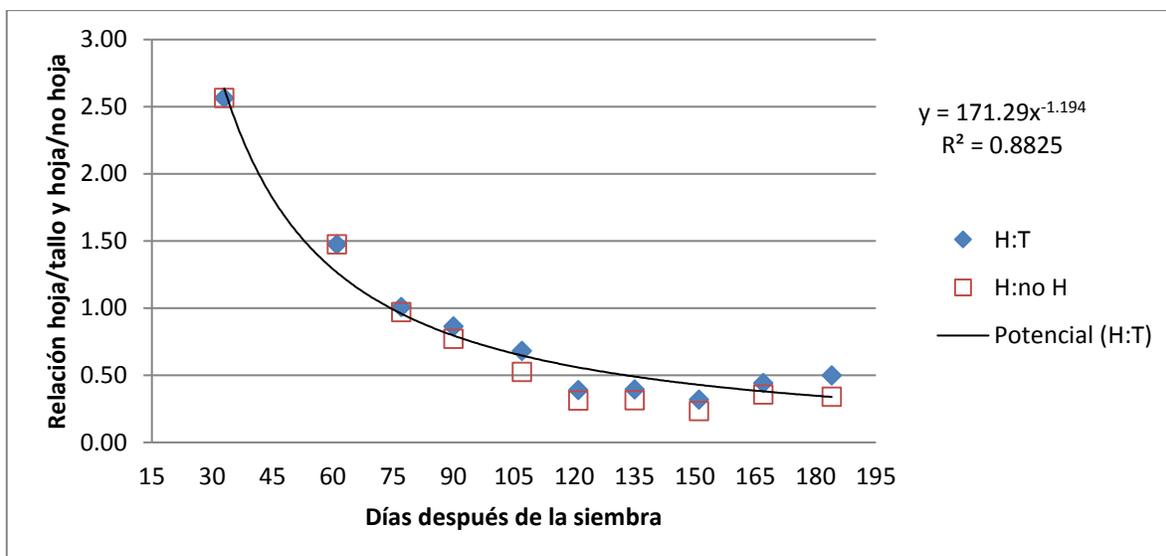


Figura 3.5. Cambios a través del tiempo en la relación hoja/tallo y hoja/no hoja del pasto Toledo, durante el establecimiento.

3.6. CONCLUSIONES

Respecto a la dinámica de crecimiento del Pasto Toledo se recomienda realizar el primer corte cuando el pasto tiene su mayor tasa de crecimiento y acumulación de biomasa de hojas y total, lo cual ocurre cuando la pradera tiene una altura de 106 cm y un índice de RI del 100%, a la edad de 135 dds. Aunque este último parámetro puede variar dependiendo de las condiciones ambientales.

3.7. LITERATURA CITADA

- Araya, M.M. y Boschini F.C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 16(1):37-43.
- Argel, P.J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. CIAT. San José Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14(2): 65-72.
- Argel, P.J. 2000. Pasto Toledo, nuevo cultivar para zonas tropicales de América. *Pasturas Tropicales*. 22(3): 38-39.
- Azumí, Y. and Watanabe A. 1991. Evidence for a senescence-associated gene induced by darkness. *Plant Physiology*. 95:577-583.
- Beltrán, L.S.; Hernández G.A.; García M.E.; Pérez P.J.; Kohashi S.J.; Herrera H.J.G.; Quero C.A.R. y González M.S.S. 2005. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en un invernadero. *Agrociencia*. 39(2):137-147.
- Bullock, D.G.; Nielsen R.L. and Nyquist W.E. 1988. A growth analysis of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Science*. 28: 254-258.
- Calderón, R.R.C., Hernández V.J.O., Olazarán J.S., Ramírez G.J.J.M., Rosete F.J.V., Ríos U.A., Galaviz R.J.R., Vega M.V.E., Castañeda M.O.G., Aguilar B.U. y Lagunes L.J. 2007. Manual ilustrado para el manejo de la lechería tropical especializada con bovinos. Libro Técnico Num.18. Sitio

Experimental Las Margaritas. Campo Experimental La Posta. INIFAP. CIRGOC. Puebla, México. 133 p.

Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz J.F., Hernández-Garay A., Ortega-Jiménez E. y Mendoza-Pedroza S.I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 5(2):247-260.

Chapman, D.F. and Lemaire G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In* Proceedings of the XVII International Grassland Congress. Palmerston, New Zealand. SIR Publ., Wellington, New Zealand; pp 95-104.

Da Silva, S.C. e Carvalho P.C. de F. 2005. Foraging behavior and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. XX International Grassland Congress- Grassland a Global Resource. University College. Dublin, Ireland; pp 81-95.

Da Silva, S.C. y Hernández G.A. 2010. Manejo Del pastoreo en praderas tropicales. *In*: Los Forrajes y su Impacto en el Trópico. Velasco M.E. (ed). UNACH, Chiapas, México; pp 63-95.

Da Silva, S.C. e Nascimento Jr. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia. 36(suplemento especial): 121-138.

- Da Silva, S.C., Nascimento Jr. D. e Batista E.V.P. 2008. Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo. Ed. Viçosa -MG. Viçosa, Brasil. 115 p.
- Enríquez, Q.J.F.; Meléndez N.F. y Bolaños A.E.D. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México, Libro Técnico Núm. 7, División Pecuaria. INIFAP, CIRGOC, Campo Experimental Papaloapan. Veracruz, México. 262 p.
- Enríquez-Quiroz, J.F. y Romero-Mora J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria spp.* en Isla, Veracruz. *Agrociencia*. 33(2):141-148.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Instituto de Geografía, UNAM; D. F., México. 217 p.
- Hampton, J.G.; Kemp P.D. & White J.G.H. 1999. Pasture Establishment. *In*: White J. and Hodgson J. [ed.]. *New Zealand Pasture and Crop Science*. Ed. Oxford University Press. Auckland, New Zealand; pp 101-115.
- Hare, M.D. Tatsapong P. and Phengphet S. 2009. Herbage yield and quality of *Brachiaria* cultivars, *Paspalum atratum* and *Panicum maximum* in north-east Thailand. *Tropical Grasslands*. 43: 65-72.
- Hernández, G.A., Matthew C. and Hodgson J. 1999. Tiller size/density compensation in perennial ryegrass miniature swards subject to differing

defoliation heights and a proposed productivity index. *Grass and Forage Science*. 54:347-356.

Hernández-Garay, A., Ramírez R.O. y Pérez P.J. 2006. Producción y manejo de praderas tropicales. III Simposio Internacional en Producción Animal. Acapulco, Guerrero, México; pp 54-63.

Hodgson, J. 1990. *Grazing Management. Science into Practice*. Longman Scientific & Technical. Harlow, London, England. 204 p.

Macedo, P.J.R., Menezes S.P.; Campos M.F.; Coelho de A.L. and Gomes da C.P. 2012. Dry matter production of Tanzania grass as a function of agrometeorological variables. *Pesq. Agropec. Bras.* 47(4): 471-477.

Matthew, C., Van Loo E.N., Thom E.R., Dawson L.A. and Care D.A. 2001. Understanding shoot and root development. *In: Proc. XIX Internatl. Grassland Congress*. Brazilian Soc. Animal Husbandry. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil; pp 19-27.

Moore, K.J. and Hatfield R.D. 1994. Carbohydrates and Forage Quality. *In: Fahey GC. (ed.) Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. Madison, Wisconsin, USA; pp 229-280.

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 cv.). *Tec. Pec. México*. 42(3): 447-458.

- Radulovich, R. 2000. Sequential cropping as a function of water in a seasonal tropical region. *Agronomy Journal*. (92):860-867.
- Ramírez, R.O., Hernández G.A., Da Silva S.C., Pérez P.J., 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. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*. 12: 303-311.
- Rodríguez, Z.C. y Larqué-Saavedra A. 1988. Análisis de crecimiento y tasa de uso de agua en cuatro cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia*. 71:401-416.
- Santana-Pérez, A.A., Pérez-López A. y Figueredo-Acosta 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. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(3): 277-286.
- SAS. 2002. SAS User's Guide: Statistics (version 9.0 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.
- Valentine, I. and Mathew C. 1999 Plant growth, development and yield. *In*: White J, Hodgson J. (ed.). *New Zealand Pasture and Crop Science*. Ed. Oxford University Press. Auckland, New Zealand; pp 11-27.

Velasco, Z.M.E., Hernández-Garay A., González-Hernández V.A., Pérez P.J. y Vaquera H.H. 2002. Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25(1):97-106.

Velasco-Zebadúa, M.E.; Hernández-Garay A.; González-Hernández V. A.; Pérez-Pérez J.; Vaquera-Huerta H. y Galvis-Espindola A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) *Técnica Pecuaria en México*. 39(1): 1-14.

CAPITULO 4. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL PASTO CAYMAN O YACARÉ (*Brachiaria híbrido* CIAT BR02/1752) DURANTE EL ESTABLECIMIENTO EN UN CLIMA CALIDO HUMEDO

4.1. RESUMEN

El objetivo de este experimento fue realizar un análisis de crecimiento del pasto Cayman (*Brachiaria* híbrido CIAT BR02/1752) desde la siembra hasta los 185 días después de la siembra para determinar el momento óptimo de cosecha. Se evaluó la composición morfológica (CM), tasa de crecimiento (TC), altura, radiación interceptada (RI), relación hoja/tallo (H:T), hoja/no hoja (H:NH) y biomasa aérea y cobertura, a intervalos de quince días, a excepción de los dos primeros muestreos que fueron mensuales. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS, bajo un diseño experimental de bloques al azar, con medidas repetidas en el tiempo, con tres repeticiones. La CM del pasto Cayman fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) a las diferentes edades de crecimiento. La máxima acumulación de biomasa total, hojas y tallo (15,614, 3,361 y 7,968 kg MS ha⁻¹, respectivamente) y la máxima TC (103 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) se alcanzó a los 150 dds. A esta edad la pradera tenía una altura=86 cm, cobertura y RI de 100%. La relación H:T disminuyó de 1.82 a 0.35, y H:NH cambió de 1.82 a 0.26. Dado que la mayor acumulación de biomasa total, biomasa de hojas y TC coinciden, se sugiere realizar el primer corte en este momento o una semana antes.

PALABRAS CLAVE: Pasto Cayman, Crecimiento, Materia Seca, hoja, tallo, radiación interceptada, altura.

4.2. ABSTRACT

The objective of this experiment was to conduct growth analysis on Cayman grass (*Brachiaria híbrida* CIAT BR02/1752) from planting to 180 days after planting to determine the optimal time to harvest. The plant morphology (MP), growth rate (RG), height, intercepted radiation (IR), leaf/stem ratio (L:S), leaf/no leaf (L:NL), the biomass accumulation and plant cover (PC) were evaluated at intervals of fifteen days to except for the first two samples were monthly. The data were analyzed using the GLM procedure of SAS, under an experimental design of randomized blocks, with repeated measures over time, with three replicates. The MP varied significantly ($P < 0.01$) across the different ages of the plant. The maximum accumulation of total biomass, leaf and stem (15,614, 3,361 and 7,968 kg DM ha⁻¹ d⁻¹), and maximum RG (103 kg DM ha⁻¹ d⁻¹) were reached at 150 days after planting; and the biomass of leaf maximum (3.9 t DM ha⁻¹) was at 135 days after planting. At this time, 100% of IR and 100% of PC and height of 86 cm were registered. The H:T ratio decreased from 1.82 to 0.35, and H:NH changed from 1.82 to 0.26. Since the highest accumulation of total biomass, leaf biomass and TC occur at the same time, it is suggested to make the first cut at this time or a week before.

KEY WORDS: Cayman grass, growth, Drya matter, leaf, stem, intercepted radiation, height.

4.3. INTRODUCCIÓN

Los forrajes son la base de la alimentación de la ganadería que se practica en las regiones tropicales de México, esto se explica, por su disponibilidad, facilidad de obtención y bajo costo, en contraste con otras fuentes de alimentación (Enríquez *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2006; Calderón *et al.*, 2007). Se estima que entre el 55 y 60% de la superficie usada para la producción de forrajes está cubierta con pastos nativos, los cuales se caracterizan por tener baja capacidad de carga y no cubren las necesidades de una ganadería productiva (Calderón *et al.*, 2007). Por tal razón, uno de los ejes estratégicos de la reconversión tecnológica de la ganadería es el mejoramiento del recurso forrajero, al sustituir especies poco productivas por otras de mayor rendimiento y mejores características agronómicas que permitan una producción sostenible de la pradera y el hato ganadero (Enríquez y Romero, 1999).

Las gramíneas del género *Brachiaria* han sido una alternativa para las regiones tropicales. En la década de los 80's el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) evaluó cuatro ecotipos y fueron liberados tres: *B. decumbens* var. Señal o Chontalpo, *B. brizantha* var. Insurgente y *B. humidicola* var. Chetumal (Enríquez y Romero, 1999). En el año 2000 se liberó el cultivar Mulato (*B.* híbrido CIAT 36061) y en el 2005 el Mulato II (*B.* híbrido CIAT 36087) (Argel *et al.*, 2007). Debido a la disponibilidad de semilla de estos cultivares, en México, se estima que se han establecido 2.6 millones de ha con pastos mejorados, esto solo representa el 6.4% de las áreas permanentes con pastos. El efecto directo de la adopción de los pastos mejorados ha sido un incremento en la

productividad del 24% en leche y 5% en carne (Argel, 2006). A principio de esta década se introdujo en México el cultivar Caiman (*Brachiaria* híbrido CIAT BR02/1752), también conocido como Yacaré, es un híbrido tri-varietal (*B. ruziziensis*, *B. brizantha*, y *B. decumbens*) desarrollado en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), tolera suelos con excesos de humedad por periodos cortos (Pizarro, 2013).

Las primeras etapas de desarrollo de los pastos son claves para el establecimiento exitoso de las praderas (Durán *et al.*, 2011). El crecimiento de un pasto incluye una serie de procesos entre los que se encuentran la aparición de hojas y tallos, la formación de tallos verdaderos y de raíces (Matthew *et al.*, 2001); mientras que los factores que pueden influir en estos procesos son la temperatura, precipitación, intensidad de luz y características del suelo (McKenzie *et al.*, 1999; Gómez *et al.*, 2012; Pezzopane *et al.*, 2012). Debido a esto es que el crecimiento de los pastos varía entre ecosistemas, por lo que el estudio de las curvas de crecimiento permite determinar el momento en el que han de ser cortado los pastos para un manejo sostenible del recurso forrajero, siendo la biomasa y la calidad del forraje el criterio que se considera para determinar el momento de cosecha (Ramírez *et al.*, 2010; Santana-Pérez *et al.*, 2010). Varios investigadores mencionan que para poder realizar recomendaciones de cultivares y de manejo hay que considerar otras variables morfofisiológicas tales como altura de las plantas, relación hoja:tallo, tasa de expansión foliar y dinámica de ahijamiento, entre otras, presentan relación directa con la productividad y calidad del forraje (Costa y Paulino,

1999; Ramírez *et al.*, 2010). Debido a que el pasto Caiman es de reciente introducción a México no se cuenta con información de su crecimiento, debido a esto se realizó este estudio con el objetivo realizar un análisis de crecimiento del pasto Caiman durante el establecimiento para determinar el momento óptimo de realizar el primer corte.

4.4. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se efectuó en el Sitio Experimental “Papaloapan” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Isla, Veracruz, localizado a los 18° 06' LN y los 95° 31' LO y altitud de 65 msnm. El clima, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), es Aw_0 , el más seco de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano y una precipitación promedio de 1,000 mm, de la cual el 85% ocurre de junio a noviembre, la temperatura media anual es de 25.7 °C. El suelo es acrisol órtico, de textura franco arenosa y pH de 4 a 4.7, pobre en materia orgánica, nitrógeno, calcio, potasio y contenidos medios a altos de fósforo y magnesio (Enríquez y Romero, 1999).

El experimento se sembró el 22 de julio del 2011 y las evaluaciones se hicieron del 24 de agosto del mismo año al 23 de enero del 2012. Se estableció en parcelas de 5 m de ancho por 16 m de largo, con tres repeticiones. La siembra se realizó con semilla botánica en líneas, con separación de 0.50 m, se utilizó una densidad de 14 kg ha⁻¹. Se aplicó una dosis de fertilizante de 120-80-00 kg ha⁻¹ de

N y P₂O₅, respectivamente; la cual se dividió en dos aplicaciones, a los 43 y 112 días después de la siembra (dds).

Se evaluaron diferentes estadíos de crecimiento (30, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 y 180 dds), mediante muestreos destructivos; en cada estadío se cosecharon, a ras del suelo y al azar, dos transectos de 1 m lineal por parcela. El material cosechado se pesó para obtener el peso fresco total del transecto y se tomó una submuestra del material cosechado, se pesó nuevamente en fresco y se secó en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante, para obtener la materia seca producida. Del material cosechado se tomó otra submuestra de 200 g, se separó en hojas, tallos, inflorescencias y material muerto; se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante y pesaron, para así obtener la proporción de cada componente. La relación hoja/tallo (H:T) y hoja/no hoja (H:NH), se estimó para cada edad de crecimiento, al dividir la biomasa total de hojas, entre la biomasa total de tallos. Para el caso de la relación hoja/no hoja, la materia seca total de hojas, se dividió entre la sumatoria de la materia seca de tallos y material muerto.

Con los datos de rendimiento de forraje por corte se calculó la tasa de crecimiento (TC) mediante la siguiente fórmula:

$$TC = \frac{FC}{t}$$

Dónde:

FC = Forraje cosechado (kg MS ha⁻¹)

t = días transcurridos entre corte y fecha de siembra.

Se tomaron cinco lecturas al azar de la radiación interceptada (RI) para cada edad de desarrollo en cada parcela con una regla de 1 m, graduada en centímetros, colocándola a nivel de suelo y en posición perpendicular a los surcos. Las lecturas se realizaron aproximadamente a las 12:00 h, con la finalidad de estimar o captar la energía de los rayos solares en posición perpendicular al cultivo. Para ello se asume que la luz incidente sobre la regla es la que escapa a la intercepción por el cultivo y la sombra proyectada sobre la regla corresponde a la radiación interceptada por el dosel vegetal.

Para estimar la cobertura se utilizó un cuadro de 1 m², el cual representa el 100% de la superficie, la superficie ocupada por el forraje, dentro del cuadro, se expresó como la proporción que cubría en dicho cuadro. Se realizaron cinco mediciones por parcela en cada etapa de crecimiento. Al igual, para medir la altura de la pradera, se efectuaron cinco mediciones aleatorias en cada unidad experimental colocando la regla en el suelo y se registró la altura cuando se tuvo el punto de contacto con la hoja más joven.

Los datos se analizaron por los procedimientos GLM de SAS (SAS, 2002), para un diseño experimental de bloques al azar con medidas repetidas, con 10 tratamientos (correspondientes a igual número de estadíos de crecimiento) con tres repeticiones y un análisis de regresión para cada variable, con el objetivo de describir la tendencia, a partir de seleccionar el mejor modelo, de acuerdo con el coeficiente de determinación y con el grado de significancia del modelo.

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación pluvial acumulada durante el periodo de evaluación (julio de 2011 a enero de 2012) fue de 1,434 mm (Figura 4.1), lo cual indica que no hubo escases de humedad durante el establecimiento. La temperatura promedio durante el periodo de se realizó el experimento fue de 25.0 °C, ligeramente por debajo de la media anual reportada; las temperaturas máximas estuvieron por arriba de los 30 °C, temperatura a la cual las gramíneas tropicales tienen altas tasas de crecimiento, y crecen menos a temperaturas de 15 a 17 °C (Da Silva et al., 2008); esta última condición se ocurrió en los meses de diciembre y enero.

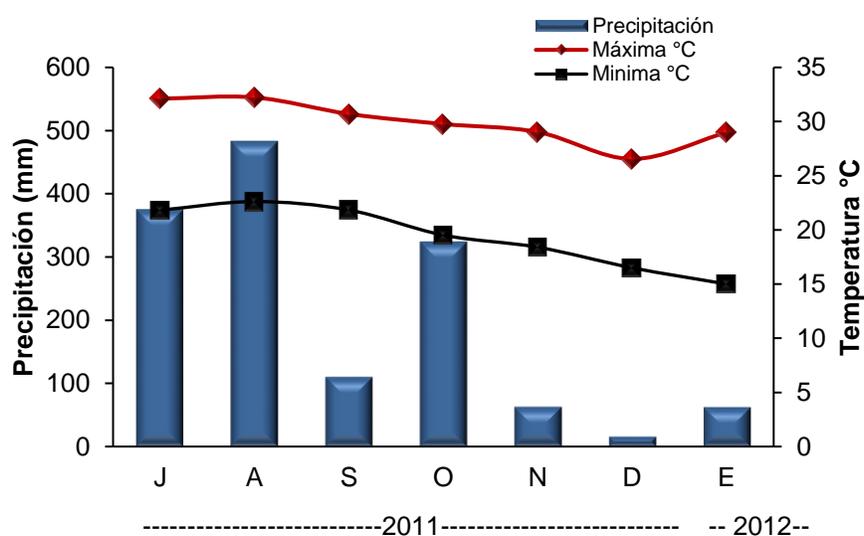


Figura 4.1. Comportamiento de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante la fase de muestreo en el Sitio Experimental Papaloapan, Isla, Veracruz.

La edad del rebrote tuvo un efecto significativo ($P < 0.01$) en la acumulación de biomasa total (BT), biomasa de hojas (BH), biomasa de tallos (BTS), material muerto (MM), y el crecimiento neto (CN) del pasto Cayman. La acumulación de

biomasa de los diferentes componentes se ajustó a un polinomio de tercer grado (Figura 4.2) y el coeficiente de determinación fue alto ($r^2 > 0.90$). Modelos similares son reportados en pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) (Calzada-Marín *et al.*, 2014), en pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido) (Pérez-Amaro *et al.*, 2004) y *Dactylis glomerata* L (Velasco-Zebadúz *et al.*, 2001).

El crecimiento del pasto Cayman presenta tres fases, la primera etapa, de la siembra a los 60 dds hay un crecimiento lento, seguida de un crecimiento lineal, de los 60 a 150 dds, en esta etapa hay acumulación constante de la biomasa hasta llegar a un máximo y por último una fase de senescencia, en la que hay un decremento en la producción e incremento en la senescencia, mayor acumulación de MM, lo cual ocurre de los 150 dds en adelante (Figura 4.2). La máxima acumulación de BT fue de 15,614 kg MS ha⁻¹, la BTS, BH y CN fue de 7,968 y 3,361, 11,330 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Cuando se presenta la mayor acumulación de biomasa la pradera tiene una altura de 86 cm, 100% de cobertura y 100% de RI. Uno de los criterios para interrumpir el crecimiento de las plantas, es cuando están en fase vegetativa, cuando se intercepta el 95% de la radiación incidente, debido a que se considera que es cuando el proceso de senescencia de las hojas se iguala al crecimiento de las hojas, así se obtendría un alta producción de forraje y baja acumulación de material muerto (Velasco-Zebadúa *et al.*, 2001); en pasto Cayman cuando se intercepta el 95% de la radiación es cuando se encuentra a la mitad del crecimiento lineal por lo que no se aprovecharía el mayor crecimiento del pasto. Otro criterio es que la cosecha del forraje se realice al final del crecimiento lineal

(Enríquez *et al.*, 1999), en pasto Cayman esto ocurre entre los 135 y 150 dds y la pradera tiene una altura de 86 cm y cobertura y RI del 100%, que es cuando se alcanza un balance entre producción y calidad en el forraje producido.

La tasa de crecimiento (TC) del pasto Cayman fue estadísticamente diferente ($p < 0.01$) por efecto de la edad del rebrote. El modelo al cual se ajustó la TC es un polinomio de tercer grado con un coeficiente de determinación alto ($r^2 = 0.71$). Esta se incrementó desde la emergencia de plantas hasta llegar a un máximo de 103 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ a los 150 dds y después disminuyó (Figura 4.3). La TC es considerada como el mejor estimador de la eficiencia en la producción vegetal y ha sido utilizado en la pradería para evaluar la efectividad de diferentes prácticas de manejo (Enríquez y Romero, 1999), este índice ayuda a determinar el momento de corte de la pradera. El aumento de la TC tiene relación directa con la biomasa vegetal, con el aumento del dosel de la pradera, y la capacidad fotosintética, la cual se incrementa al acumular más área foliar hasta llegar a un crecimiento máximo (Enríquez y Romero, 1999; Pérez-Amaro *et al.*, 2004), en pasto Cayman la máxima TC ocurrió a los 150 dds y coincidió con la mayor acumulación de BT, BH, BTS y CN (Figura 4.3), lo cual es congruente a lo mencionado por Enríquez y Romero (1999) además de Pérez-Amaro *et al.* (2004).

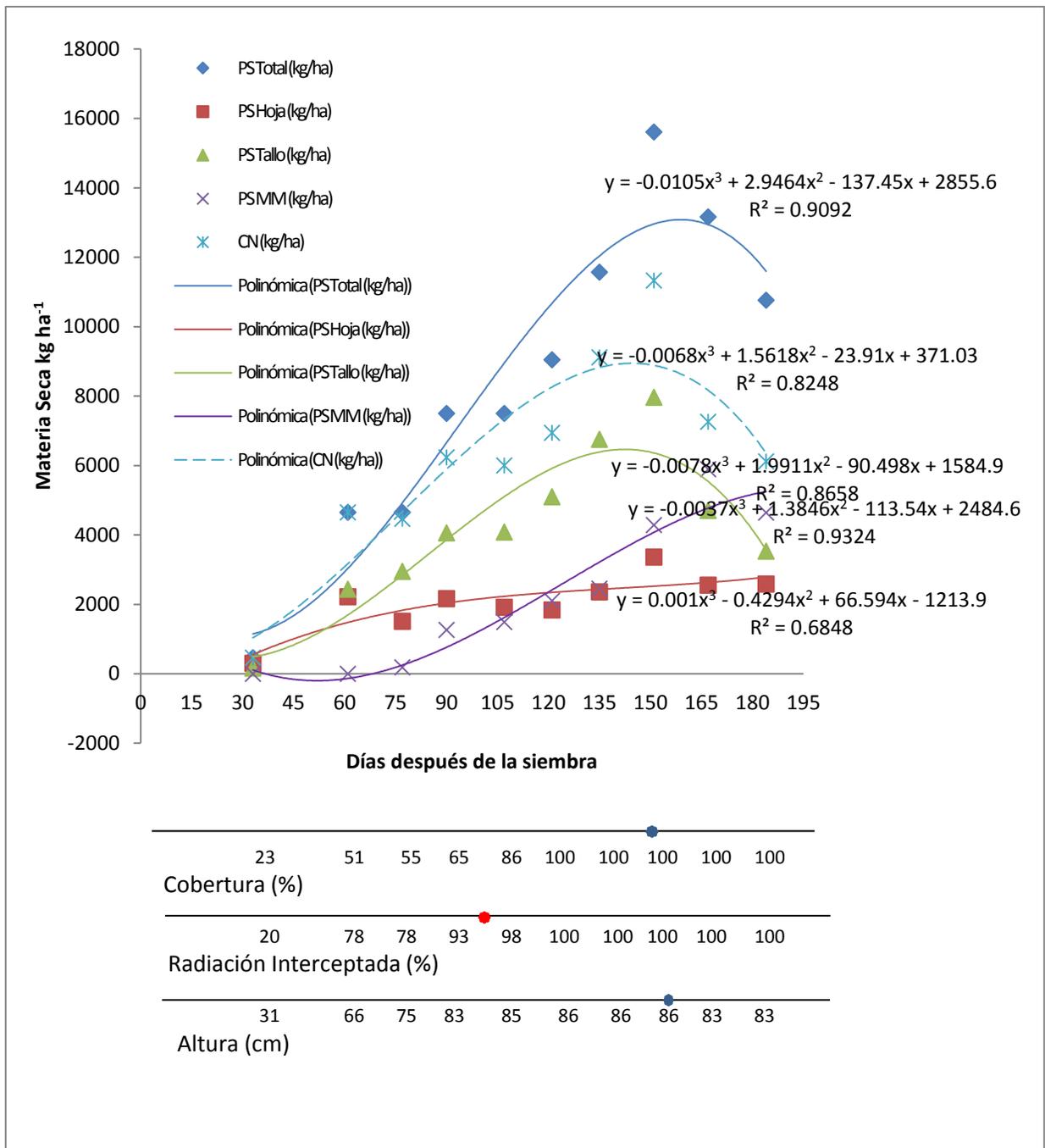


Figura 4.2. Dinámica de acumulación de forraje total, por componente morfológico, altura de la planta, radiación interceptada y porcentaje de cobertura del pasto Cayman durante el establecimiento.

El valor máximo de TC para pasto Cayman en este estudio es similar al reportado por otros investigadores en cultivares más sobresalientes del género *Brachiaria*, ($100 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en la época de lluvias en la región de trópico húmedo en el estado de Veracruz, México (Enríquez y Romero, 1999; Cruz *et al.*, 2011). Se ha observado que la máxima actividad fotosintética y por consiguiente la máxima TC, esto ocurre cuando la RI es mayor al 95% (Fagunes *et al.*, 1999). Por lo antes mencionado, el momento de realizar la primera utilización de una pradera de pasto Chetumal sería cuando alcanza su máxima TC. Otro punto a favor es que cuando hay alta cantidad de hojas en la planta, hay más carbohidratos solubles en el tallo, lo que va a favorecer un rebrote vigoroso (Lee *et al.*, 2009).

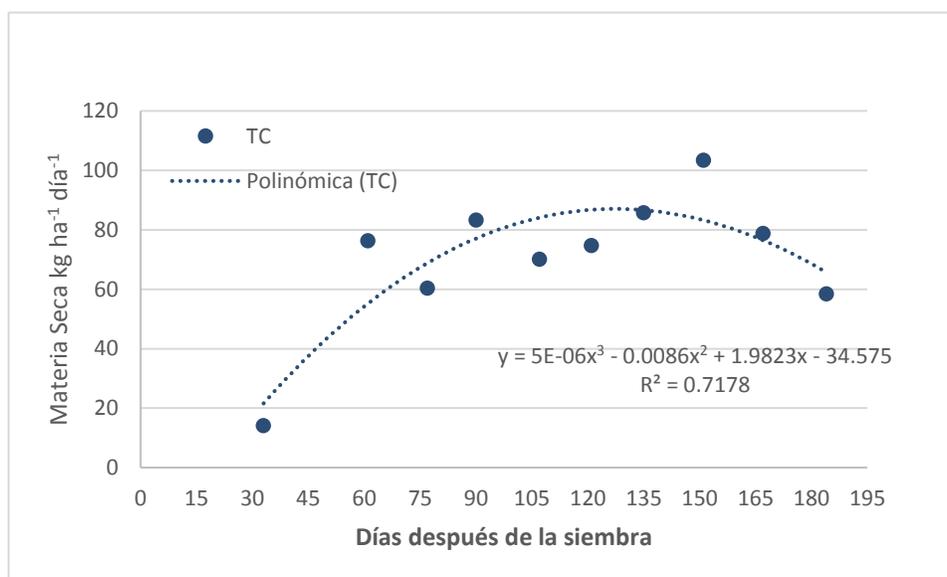


Figura 4.3. Cambios en la tasa de crecimiento, a través del tiempo, del pasto Cayman durante el establecimiento.

En la producción de forraje tanto la cantidad como calidad del forraje producido son importantes (Santana-Pérez *et al.*, 2010), estas dos características están influenciadas directamente por la morfología de la planta, la altura de la planta, la relación H:T y H:NH; es por ello que el desarrollo morfológico de las plantas forrajeras perennes, constituye un factor a considerar en la adopción de prácticas de manejo de la pradera (Moore y Hatfiel, 1994; Costa y Paulino, 1999). Las hojas son el componente morfológico que tienen mayor valor nutritivo, de aquí su importancia en la calidad del forraje, por lo que la productividad animal está relacionada con la cantidad de hoja en la dieta (Hare *et al.*, 2009; Nyambati *et al.*, 2010).

La composición morfológica del pasto Cayman fue diferente ($P < 0.01$) entre las edades de las plantas (Figura 4.4). En la primera fase de crecimiento el principal componente morfológico fue hoja, 65% hoja y 35% tallo a los 33 dds, al aumentar la edad de las plantas la proporción de hoja disminuyó, el tallo aumentó y hay presencia de MM, para los 150 días la composición de la pradera fue 22, 51 y 27% de hoja, tallo y MM, respectivamente. La presencia del material muerto es debido a la senescencia de las hojas maduras que están en los estratos inferiores. Tendencia similar ha sido observado en pastos de clima templado, Ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y Ovillo (*Dactylis glomerata* L.) (Velasco-Zebadúa *et al.* 2001; Velasco *et al.*, 2002), y en pastos de trópico como Maralfalfa (*Pennisetum* sp) (Calzada-Marín *et al.*, 2014) y Mulato (*Brachiaria* híbrido) (Pérez-Amaro *et al.*, 2004).

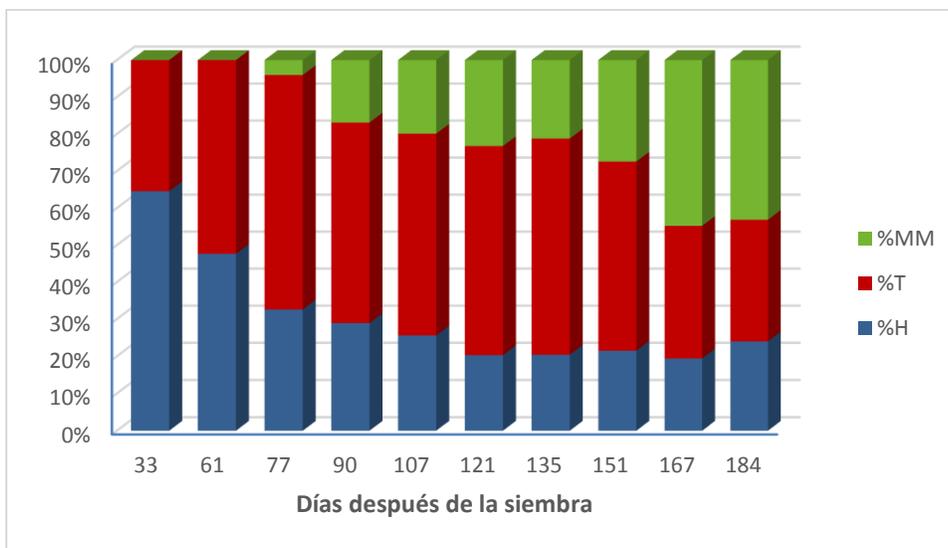


Figura 4.4. Cambios morfológicos en pasto Cayman en diferentes estadios de crecimiento durante el establecimiento.

La relación H:T y H:NH fue estadísticamente diferente ($P < 0.01$) entre las edades de crecimiento del pasto Cayman. La relación H:T se ajustó a un polinomio de tercer grado y la relación H:NH a un modelo potencial (Figura 4.5). Ambas variables tienden a disminuir conforme se incrementa la madurez del pasto, a consecuencia de un mayor aumento en la BTS y MM en relación a la BH (Figura 4.2). La relación H:T varió de 1.8 a 0.35 para 30 y 135 dds, después de esta edad se incrementó su valor y para el 185 dds esta fue de 0.73; mientras que la relación H:NH para 30 y 135 dds varió de 1.8 a 0.26, posteriormente se mantuvo con poca variación. Esta diferencia entre H:T y H:NH después de 135 dds es debido al incremento en el MM; resultados similares han sido reportados en *Pennisetum* sp. (Calzada-Marín *et al.*, 2014) y *Dactylis glomerata* L. (Pérez-Amaro *et al.*, 2004). La acumulación de MM reduce la calidad nutricional del forraje, por lo que este punto puede considerarse para determinar el momento de cosecha.

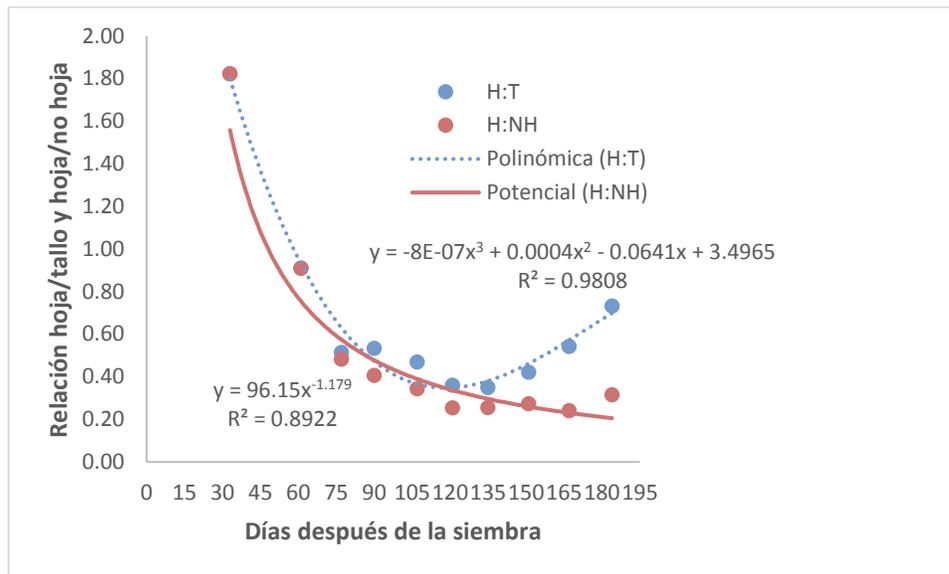


Figura 4.5. Cambios a través del tiempo en la relación hoja/tallo y hoja/no hoja del pasto Cayman, durante el establecimiento.

4.6. CONCLUSIONES

En base a los resultados se recomienda, en Pasto Cayman, realizar, el primer corte, entre los 135 y 150 dds o cuando la pradera tenga una altura entre 86 cm y 100% cobertura y 100% de RI. Con lo cual se logra obtener un equilibrio entre producción y calidad del forraje.

4.7. LITERATURA CITADA

- Argel, P.J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 14(2): 65-72.
- Argel, P.J., Miles J.W., Guiot J.D., Cuadrado H. y Lascano C.E. 2007. Cultivar Mulato II (*Brachiaria* híbrido CIAT 36087). Gramínea de alta calidad y producción forrajera resistente al salivazo y adaptada a los suelos tropicales ácidos bien drenados. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 22 p.
- Calderón, R.R.C., Hernández V.J.O., Olazarán J.S., Ramírez G.J.J.M., Rosete F.J.V., Ríos U.A., Galavíz R.J.R., Vega M.V.E., Castañeda M.O.G., Aguilar B.U. y Lagunes L.J. 2007. Manual ilustrado para el manejo de la lechería tropical especializada con bovinos. Libro Técnico Núm. 18. Sitio Experimental las Margaritas. Campo Experimental la Posta. CIRGOC, INIFAP. Puebla, México. 133 p.
- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz J.F., Hernández-Garay A., Ortega-Jiménez E., Mendoza-Pedroza S.I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 5(2):247-260.
- Costa, N.L. e Paulino V.T. 1999. Desempenho agronómico de genótipos de *Brachiaria humidicola* em diferentes idades de corte. Pasturas Tropicales. 21(2): 68-71.

- Cruz, L.P.I., Hernández G.A., Enríquez Q.J.F., Mendoza P.S.I., Quero C.A.R. y Joaquín T.B.M. 2011. Desempeño agronómico de genotipos de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt en el trópico húmedo de México. Rev. Fitotec. Méx. 34(2): 123-131.
- Da Silva, S.C. e Nascimento Jr. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia. 36(suplemento especial): 121-138.
- Da Silva, S.C.; Nascimento Jr. D. e Batista E.V.P. 2008. Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo. Ed. Viçosa -MG. Viçosa, Brasil. 115 p.
- Durán, P.N., Ruiz C.J.A., González E.D.R., Núñez H.G., Padilla R.J.F. y Contreras R.S.H. 2011. Temperaturas cardinales de desarrollo en la etapa de emergencia de 11 pastos forrajeros. Rev. Méx. Cienc. Pecu. 2(3): 347-357.
- Enríquez, Q.J.F., Meléndez N.F. y Bolaños A.E.D. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México, Libro Técnico Núm. 7, División Pecuaria. Campo Experimental Papaloapan, CIRGOC, INIFAP. Veracruz, México. 262 p.
- Enríquez, Q.J.F. y Romero M.J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla, Veracruz. Agrociencia. 33: 141-148.

- Fagundes, J.L., Da Silva S.C., Silveira P.C.G., Fischer S.A., Carnevalli R.A., Brandão de C.C.A. e De Moura P.L.F. 1999. Índice de área foliar, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob diferentes intensidades de pastejo. *Scientia Agricola*. 56(4): 1141-1150.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 4ª ed. Instituto de Geografía, UNAM; D. F., México. 217 p.
- Gómez, S., Guenni O. and Bravo de Guenni L. 2012. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass and Forage Science*. 68:395-407.
- Hare, M.D., Tatsapong P. and Phengphet S. 2009. Herbage yield and quality of *Brachiaria* cultivars, *Paspalum atratum* and *Panicum maximum* in north-east Thailand. *Tropical Grasslands*. 43: 65-72.
- Hernández, G.A., Enríquez Q.J.F., Velasco Z.M.E. y Ortega J.E. 2006. Estrategias para reducir la estacionalidad de la producción animal en el trópico mexicano. *In*: Velazco Z.M.E., Hernández G.A., Pérez G.A. y Sánchez B.M. (ed.) Producción y Manejo de los recursos forrajeros tropicales. Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. 5-21 pp.

- Lee, J.M., Donaghy D.J., Sathish P. and Roche J.R. 2009. Interaction between water-soluble carbohydrate reserves and defoliation severity on the regrowth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.)-dominant swars. *Grass and Forage Science*. 64:266-275.
- Matthew, C., Van Loo E.N., Thom E.R., Dawson L.A., Care D.A. 2001. Understanding shoot and root development. *In: Proc. XIX Internatl. Grassland Congress. Brazilian Soc. Animal Husbandry. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil; pp 19-27.*
- McKenzie, B.A., Kemp P.D., Moot D.J., Matthew C. & Lucas R.J. 1999. Environmental effects on plant growth and development. *In: White J. and Hodgson J. [ed.]. New Zealand Pasture and Crop Science. Ed. Oxford University Press. Auckland, New Zealand; pp 29-44.*
- Moore, K.J. and Hatfield R.D. 1994. Carbohydrates and Forage Quality. *In: Fahey GC. (ed.) Forage Quality, Evaluation, and Utilization. Madison, Wisconsin, USA; pp 229-280.*
- Nyambati, E.M., Muyekho F.N., Onginjo E. y Lusweti M. 2010. Production, characterization and nutritional quality of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivars in Western Kenya. *African Journal of Plant Science*. 4(2): 496-502.
- Pizarro, E.A. 2013. Un nuevo híbrido para el mundo tropical *Brachiaria* híbrido cv CIAT BR02/1752 "Cayman". *Pasturas de América*. Disponible en:

<http://www.pasturasdeamerica.com/articulos-interes/notas-tecnicas/brachiaria-hibrida-cayman/>. Consultado el 25 de Junio del 2018.

Pérez-Amaro, J.A., García-Moya E., Enríquez-Quiroz J.F., Quero-Carrillo A.R., Pérez-Pérez J. y Hernández-Garay A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria* híbrido, cv.). Técnica Pecuaria México. 42(3): 447-458.

Pezzopane, J.R.M., Santos P.M., Mendonça F.C., De Araujo L.C. and Da Cruz P.G. 2012. Dry matter production of Tanzania grass as a function of agrometeorological variables. Pesq. Agropec. Bras. 47(4): 471-477.

Ramírez, R.O., Hernández G.A., Da Silva S.C., Pérez P.J., De Souza J.S.J., Castro R.R., Enríquez Q.J.F. 2010. Características morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto mombaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 12: 303-311.

Santana-Pérez, A.A.; Pérez-López A. y Figueredo-Acosta 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. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 1(3): 277-286.

SAS. 2002. SAS User's Guide: Statistics (version 9.0 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.

Velasco, ZME, Hernández-Garay A, González-Hernández VA, Pérez PJ y Vaquera-Huerta H. 2002. Curvas estacionales de crecimiento del ballico perenne. Revista Fitotecnia Mexicana. 25(1):97-106.

Velasco-Zebadúa, M.E., Hernández-Garay A., González-Hernández V.A., Pérez-Pérez J., Vaquera-Huerta H. y Galvis-Spinola A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.). Técnica Pecuaria en México. 39(1): 1-14.