

Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria* híbrido, cv.)

A growth analysis, specific leaf area and leaf nitrogen concentration in “mulato” grass (*Brachiaria* híbrido, cv.)

José Alberto Pérez Amaro^a, Edmundo García Moya^b, Javier Francisco Enríquez Quiroz^c, Adrián Raymundo Quero Carrillo^d, Jorge Pérez Pérez^a, Alfonso Hernández Garay^a

RESUMEN

El objetivo de este experimento fue estudiar la tasa de crecimiento (TC), la área foliar específica (AFE) y el porcentaje de nitrógeno en hojas (NTH), del pasto “mulato” (*Brachiaria ruziziensis* x *B. brizantha*), durante el establecimiento. Los componentes morfológicos, TC, la altura, el AFE y el NTH se evaluaron a intervalos de siete días, durante 21 semanas. Los datos se analizaron con el procedimiento GLM de SAS; un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones y un análisis de regresión para cada variable. Los componentes morfológicos variaron de manera significativa ($P < 0.05$) en las diferentes edades de crecimiento: la máxima biomasa foliar se logró a los 102 días después de la germinación (5.7 ± 1.059 g MS planta⁻¹). La máxima TC se registró alrededor de las 16 semanas (2.44 ± 0.474 g MS planta⁻¹día⁻¹). El NTH presentó su máximo a las cuatro semanas (6.9 %) y decreció hasta la semana 21 (0.68 %). El NTH está correlacionado, de forma positiva, con AFE ($R^2 = 0.86971$, $P < 0.001$) y negativa con la altura de la planta ($R^2 = 0.90231$, $P < 0.001$). Los resultados de este experimento, sugieren que en la medida que se incrementa la área foliar específica, aumenta el porcentaje de nitrógeno en hojas y éste disminuye conforme la planta madura; mientras que la altura de la planta presentó una correlación negativa con el porcentaje de nitrógeno en hojas.

PALABRAS CLAVE: Pasto mulato, Crecimiento, Hoja, Tallo, Área foliar específica, Nitrógeno.

ABSTRACT

A study was done of the morphological behavior, specific leaf area (SLA) and leaf nitrogen concentration (LNC) of “mulato” grass (*Brachiaria ruziziensis* x *B. brizantha*) at different phenological stages (PS). Plant morphology (PM), growth rate (GR), height (H), SLA, and LNC were measured at seven-day intervals during a 21-week experimental period. Data were analyzed using the SAS GLM procedure in a completely randomized experimental design, with four replications and a regression analysis for each variable. PM varied significantly ($P < 0.05$) in the different PS's. The highest leaf biomass was reached on d 102 after germination (5.7 ± 1.059 g DM plant⁻¹). The highest GR was recorded at about wk 16 (2.44 ± 0.474 g DM plant⁻¹ day⁻¹). LNC attained the highest level at wk 4 (6.98%) and then declined until wk 21 (0.683%). LNC was positively correlated to SLA ($R^2=0.86971$, $P < 0.001$), and negatively correlated to plant height ($R^2=0.90231$, $P < 0.001$). Results suggest that as SLA increases, so does LNC, though it decreases as the plant matures. Plant height is negatively correlated to LNC.

KEY WORDS: Mulato grass, Grass growth, Height, Stem, Specific leaf area, Leaf nitrogen content.

El entender la naturaleza del proceso de crecimiento, es pieza clave para conocer el potencial y las

Understanding the growth process is the key to recognize the potential and limitations of forage

Recibido el 30 de Julio de 2003 y aceptado para su publicación el 11 de febrero de 2004.

^a Programa de Ganadería. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados (CP).

^b Programa de Botánica. Instituto de Recursos Naturales. CP. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel-Fax: (595) 952-02-00 ext. 1308. edmundo@colpos.mx.

Correspondencia al segundo autor.

^c Campo Experimental Papaloapan, CIR-Golfo Centro. INIFAP.

^d CP, Campus San Luis Potosí.

limitaciones de plantas forrajeras en cualquier situación de manejo. En este proceso existen parámetros vegetales como la biomasa foliar y la área foliar específica (AFE m²/g), los cuales, son fáciles de medir y muy correlacionados con la tasa de crecimiento del cultivo^(1,2,3,4). Este tipo de parámetros a menudo han sido pasados por alto⁽²⁾, tal es el caso de la AFE, definida como la razón entre la área foliar y el peso de la hoja; es un índice del espesor y densidad de la hoja⁽⁵⁾, o bien, es la medida de la foliosidad de la planta con base en el peso seco⁽⁶⁾.

La AFE es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón de la área foliar y en la eficiencia fotosintética en el uso de nitrógeno (N)⁽⁷⁾. En este sentido, el contenido de N en las plantas, disminuye durante el crecimiento, y presenta una alta correlación con la acumulación de materia seca (MS), más que otros parámetros, y para cualquier estadio de crecimiento o edad de rebrote⁽⁸⁾.

La AFE varía con la intensidad lumínica o época del año⁽⁹⁾; las especies más demandantes de luz, presentan una elevada área foliar específica, además de elevadas concentraciones de N en hojas. Una elevada AFE incrementa la apetencia y fragilidad de las hojas, al tiempo que se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido⁽¹⁰⁾, mientras que las hojas más densas y con menor AFE, tienen correlaciones altas con una mayor lignificación, menor tamaño celular, bajo contenido de humedad y baja concentración de N⁽¹¹⁾.

La reducción en AFE se atribuye a una alteración en la estructura de la hoja, o bien al incremento en la concentración de nutrimentos o carbohidratos no estructurales en la misma⁽¹²⁾; tal reducción, es el resultado de una incapacidad de la planta, para asignar estos compuestos en crecimiento estructural^(13,14). El estudio de la AFE y de los factores que la afectan es importante, ya que a menudo se utiliza, mediante modelos, para estimar la área foliar por planta durante los diferentes estadios de crecimiento del cultivo, a partir de la producción de biomasa o viceversa⁽¹⁵⁾. La presente investigación se planteó con el objetivo de estudiar

plants in different management situations. This process includes parameters such as leaf biomass and Specific Leaf Area (SLA m²/g), both of which easily measurable and highly correlated to crop growth rate^(1,2,3,4). These parameters have frequently been ignored⁽²⁾, SLA being an example of this situation. Defined as the ratio between leaf area and weight, SLA serves as a leaf thickness and density index⁽⁵⁾, that is, it is the measure of a plant's leafiness in dry weight⁽⁶⁾. It is one of the main factors affecting plant growth as it favors changes in the leaf area ratio and nitrogen use efficiency (NUE)⁽⁷⁾ Plant nitrogen content decreases during growth and is more highly correlated to dry matter (DM) accumulation than other parameters, in any growth stage or sprout age⁽⁸⁾.

Light intensity or season can affect SLA⁽⁹⁾ meaning that light demanding species have a high SLA, as well as high leaf nitrogen concentrations. A high SLA raises leaf palatability and fragility consequently increasing the risk of premature tissue loss⁽¹⁰⁾. Denser leaves with lower SLA have high correlations with greater lignification, small cell size and low moisture content and N concentration⁽¹¹⁾.

Reductions in SLA are attributed to a change in leaf structure or an increase in nutrients or non-structural carbohydrates⁽¹²⁾. These reductions result from the plant's inability to assign these compounds during structural growth^(13,14). Study of SLA and the factors that affect it are important as they are frequently used in models to estimate plant leaf area during different crop phenological stages based on biomass production, or vice versa⁽¹⁵⁾. The present study is aimed at determining growth, specific leaf area and nitrogen percentage of a *Brachiaria* hybrid, cv. "mulato", for the first 21 wk after germination.

The study was done in the Papaloapan Experimental Field Station of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias - INIFAP) located in the Isla Municipality, of the state of Veracruz, Mexico (Carretera Cd. Aleman-Sayula km. 66) (18° 06' North; 95° 31'

el crecimiento, la área foliar específica y el porcentaje de nitrógeno de *Brachiaria* híbrido, cv. "mulato", durante las primeras 21 semanas después de la germinación.

El experimento se llevó al cabo en el Campo Experimental Papaloapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Isla, Veracruz, km 66 de la carretera Cd. Aleman-Sayula, en los 18° 06' Norte y los 95° 31' Oeste, con altitud de 65 msnm. El clima es Aw₀⁽¹⁶⁾, el más seco de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano y precipitación media de 1,000 mm, de la cual el 85 % ocurre de junio a noviembre y temperatura media anual de 25.7 °C. El suelo es acrisol órtico, con textura franco arenosa, pH de 4 a 4.7, pobre en materia orgánica, N, calcio, potasio, y con contenidos medios a altos de fósforo y magnesio⁽¹⁷⁾.

El experimento se inició el día 30 de mayo del 2001 y las evaluaciones se hicieron del 13 de junio al 31 de octubre del mismo año, en condiciones controladas de humedad y sin fertilización. Se evaluaron diferentes estadios de crecimiento cada siete días, mediante muestreos destructivos; se cosecharon al azar, cuatro plantas completas por estadio de crecimiento; se utilizaron 84 macetas de plástico con un volumen de cuatro litros, una área expuesta de 95 cm² y suelo del lugar, las cuales tuvieron igual número de plantas completas, provenientes de semilla.

Las plantas se separaron en sus componentes: biomasa aérea (hojas, tallos, inflorescencias), material muerto aéreo y biomasa subterránea (raíz); se secaron en una estufa de aire forzado (marca Felisa, Mod. FE-243A), a 65 °C por 48 h y se pesaron en una balanza analítica estándar (marca Ohaus, Mod. AS-120), con aproximación a milésima de gramo. La biomasa colectada se adicionó a la de los siguientes muestreos para obtener la acumulación de biomasa total, biomasa aérea y radical. El número de tallos presentes por planta, se registró en cada fecha de muestreo destructivo, y se determinó el número de hojas presentes con relación al número de tallos por planta.

West) (65 m, above sea level). Regional climate is classified as Aw₀⁽¹⁶⁾, the driest of the hot subhumid climates. The area experiences summer rains, has a mean precipitation of 1,000 mm, 85 % of which occurs between June and November, and a 25.7 °C mean annual temperature. Soils are orphic acrisol with sandy loam texture, pH between 4 and 4.7, low organic matter, N, calcium and potassium contents and medium to high phosphorous and magnesium contents⁽¹⁷⁾.

The experiment was begun on May 30, 2001 and evaluations were done between June 13 and October 31, 2001. Moisture conditions were controlled and no fertilizer was used. A total of 84 complete plants from seed were planted in as many four-liter pots, each containing soil from the area and placed in a 95 cm² exposed area.

Random, destructive samples were taken of four complete plants every seven days in order to evaluate different phenological stages. Each plant was separated into its components: leaves, stems, inflorescences; dead canopy material; and belowground biomass (roots). Samples were dried in a forced air oven (Felisa, Mod. FE-243A) at 65 °C for 48 h, and then weighed with a standard analytical balance (Ohaus, Mod. AS-120) to one thousandth of a gram. Biomass from each sampling was added to that of previous samples to determine total biomass accumulation, as well as canopy and root biomass. The number of stems per plant on each destructive sampling date and the number of leaves per the number of stems was determined for each plant.

Leaf area for each leaf on a plant was estimated using a leaf area integrator (Area meter, Delta-T-Devices), and these data used to estimate plant leaf area⁻¹. Specific leaf area was calculated by dividing leaf area by leaf biomass per plant. Total nitrogen content was determined for each leaf sample using the Kjeldahl standard digestion method⁽¹⁸⁾.

Growth rate was estimated every 7 d with the following formula:

$$GR = (HF) / T$$

La área foliar de cada hoja presente en la planta se estimó con un integrador de área foliar (Área meter, Delta-T-Devices), y con estos datos se estimó la área foliar planta⁻¹. Al dividir la área foliar entre la biomasa de las hojas por planta, se obtuvo el área foliar específica. A cada muestra de área foliar, se le determinó el porcentaje de nitrógeno total mediante el método de digestión estándar de Kjeldahl⁽¹⁸⁾.

La tasa de crecimiento del cultivo se estimó cada siete días, con la siguiente fórmula:

$$TC = (FC) / T$$

Donde: TC= tasa de crecimiento (g MS m⁻² día⁻¹); FC= forraje cosechado; T= tiempo transcurrido entre un corte y el siguiente (días).

Los datos se analizaron con los procedimientos GLM de SAS⁽¹⁹⁾, para un diseño experimental completamente al azar con 21 tratamientos (correspondientes a igual número de estadios de crecimiento) cuatro repeticiones y un análisis de regresión para cada variable, con el objeto 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.

La producción de biomasa foliar y la tasa de crecimiento se ajustaron con un modelo polinomial de segundo orden, de la forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_1^2 + \xi_i;$$

para obtener el momento en el cual se alcanza el máximo rendimiento; se derivó la ecuación anterior y se obtuvo: $x = -b_1 / 2b_2$, es decir, el punto en el que se obtiene el máximo valor; además, se realizó un análisis de regresión múltiple, con la técnica de regresión en pasos (Stepwise), para determinar el efecto de las variables independientes (biomasa foliar, biomasa de tallo, biomasa de inflorescencia, material muerto, biomasa radical) en la producción de biomasa total, como variable dependiente, según lo describen Herrera y Barreras⁽²⁰⁾.

Los componentes morfológicos variaron de manera significativa ($P < 0.05$) en las diferentes edades de

Where: GR= growth rate (g DM m⁻² day⁻¹); HF= harvested forage; T= time between one harvest and the next (days).

Data were analyzed with the GLM procedures in the SAS program⁽¹⁹⁾ using a completely randomized design with 21 treatments (corresponding to an equal number of growth stages), four replicates and a regression analysis for each variable. This was done to describe the tendency, beginning by choosing the best model according to the determination coefficient and the model's degree of significance.

Leaf biomass and growth rate were adjusted with a second order polynomial model:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_1^2 + \xi_i;$$

To determine the moment of maximum yield the previous equation was derived to $x = -b_1 / 2b_2$, that is, the point of maximum value. A multiple regression analysis with a stepwise regression technique was applied to determine the effect of the independent variables (leaf biomass, stem biomass, inflorescence biomass, dead matter and root biomass) on total biomass production, as a dependent variable⁽²⁰⁾.

Morphological components were significant ($P < 0.05$) between phenological stages, as shown in the relationships between production of leaf biomass (LB), stem biomass (SB), inflorescence biomass (IB), root biomass (RB) and dead matter (DM) (Figure 1). Positive ($P < 0.05$) correlations existed between TB, RB and DM with plant age (Figure 2). Also, the regression models and determination coefficients were generally high ($r^2 > 0.9$) for each of the variables (Table 1). Maximum LB production was reached just before wk 15, 102 d after germination, and it was after this point that the leaf ratio decreased as leaves on lower levels aged and died.

Biomass losses from senescence and decomposition increased significantly ($P < 0.05$) as the plants matured (Figure 2), and biomass production consequently began to decline at wk 16. The first flower stems were emitted at this time and continued

Figura 1. Composición morfológica del pasto mulato cosechado a diferentes edades de corte

Figure 1. Morphological composition of mulato grass harvested at different ages

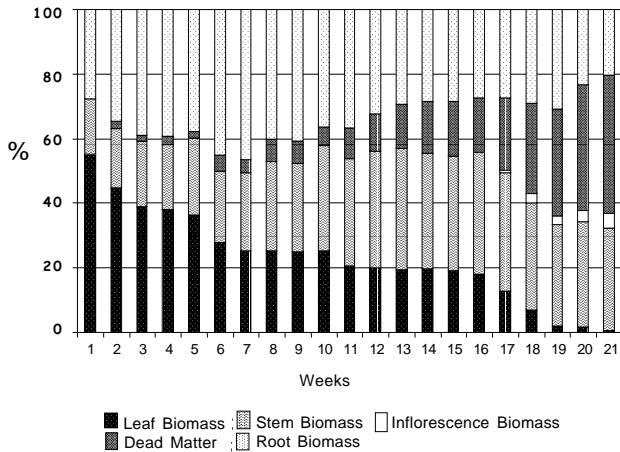
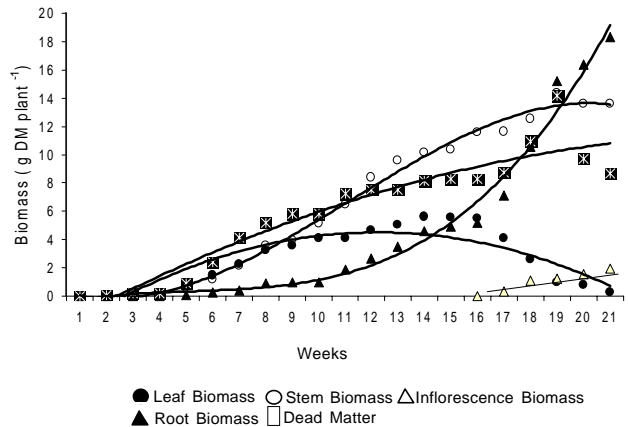


Figura 2. Dinámica de crecimiento por componente morfológico del pasto mulato cosechado a diferentes edades de corte

Figure 2. Growth dynamic by morphological component of mulato grass harvested at different ages



Cuadro 1. Modelos que explican el comportamiento de los principales componentes morfológicos e indicadores productivos del pasto mulato, a diferentes estadios de crecimiento

Table 1. Behavior models for the main morphological components and productive indicators of mulato grass at different phenological stages

Component	Model	Significance	r ²
Leaf	$y = -0.0000134x^3 + 0.00173x^2 + 0.01264x - 0.26716$	*	0.9388
Stem	$y = -0.00475x^3 + 0.15945x^2 - 0.63153x + 0.49980$	*	0.9932
Dead matter	$y = 0.07845x^2 - 0.90940x + 0.83784$	*	0.9642
Root	$y = -0.0018x^3 + 0.0324x^2 + 0.6031x - 1.4947$	*	0.9718
Inflorescence	$y = 0.39276x - 6.24574$	*	0.9691

* P<0.05

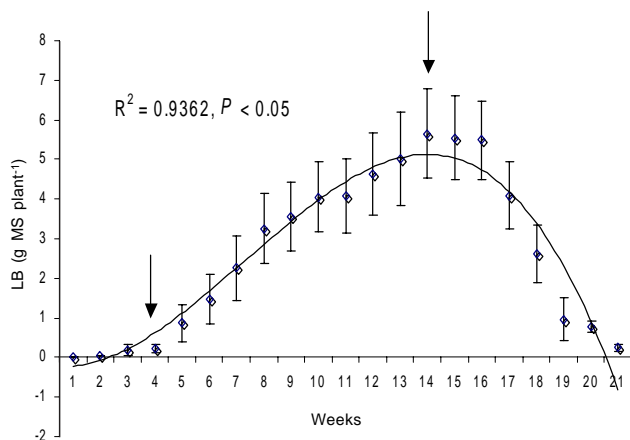
crecimiento. La relación existente entre la producción de biomasa foliar (BF), de tallos (BT), de las inflorescencias (BINF), radical (BR) y material muerto (MM), se muestran en la Figura 1. La BT, BR y MM, están correlacionados de manera positiva ($P < 0.05$), con el incremento en la edad de la planta (Figura 2). Los modelos de regresión y los coeficientes de determinación fueron, en general, altos ($r^2 > 0.9$), para cada una de las variables estudiadas (Cuadro 1). La máxima producción de la BF se alcanzó poco antes de la semana 15, a los 102 días después de la germinación; a partir de ese

to wk 21. Flowering was uniform (Figure 1) with a large proportion of vain seed.

Mulato grass leaf growth, as shown by the LB growth curve (Figure 3), had a logarithmic phase characterized by low initial growth between wk 1 and 4. A linear growth phase followed with a constant growth rate beginning in week 4 and peaking in wk 14. Finally, the senescent stage had a decrease in growth as the plant matured and began the senescence process from wk 14 onward.

Figura 3. Incremento de biomasa de hojas del pasto mulato, durante un ciclo de crecimiento de 21 semanas

Figure 3. Leaf biomass (LB) increase in mulato grass during a 21-week growth cycle



momento, la proporción de hojas disminuyó, conforme las hojas de estratos inferiores envejecieron y murieron.

Las pérdidas de biomasa por senescencia y descomposición aumentaron de manera significativa ($P < 0.05$), conforme se incrementó la madurez de la planta (Figura 2); en consecuencia, la producción de biomasa aérea comenzó a declinar a las 16 semanas, momento a partir del cual, se inició la emisión de los primeros tallos florales y continuó dicho proceso, hasta la semana 21; dicha floración se caracterizó por ser uniforme (Figura 1) con una gran proporción de semilla vana.

El crecimiento foliar del pasto mulato se muestra en la Figura 3. La curva de crecimiento de BF, presentó una fase logarítmica, la cual se caracteriza por un bajo crecimiento inicial, de la semana uno a la cuatro, seguida de una fase lineal: esta fase se caracterizó por un incremento a una tasa constante, en el crecimiento de la semana cuatro hasta alcanzar un punto máximo a las 14 semanas; por último, la fase senescente, la cual se caracterizó por un decremento en el crecimiento, en la medida que la planta maduró y comenzó el proceso de senescencia de las 14 semanas en adelante.

Figura 4. Tasa de crecimiento del pasto mulato, durante un ciclo de crecimiento de 21 semanas

Figure 4. Mulato grass growth rate (GR) during a 21-week growth cycle

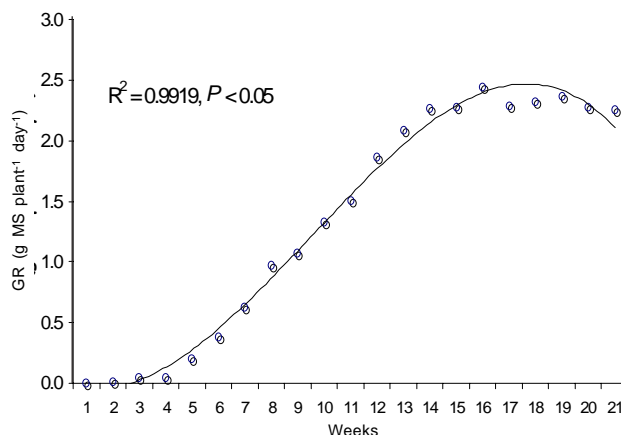
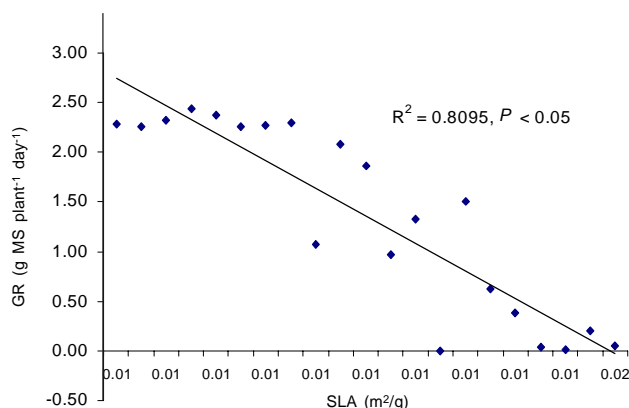


Figura 5. Relación entre la tasa de crecimiento y la área foliar específica del pasto mulato

Figure 5. Ratio between growth rate (GR) and specific leaf area (SLA)



Changes in growth rate during the life cycle, shown in an adjusted growth rate curve (Figure 4), demonstrated a sigmoidal behavior. They increased gradually beginning in wk 4, reaching a maximum at wk 16, when they began to decline. This process coincided with the decrease in leaf biomass. The growth rate showed a negative correlation ($P < 0.05$) to SLA (Figure 5).

Los cambios en la tasa de crecimiento, durante el ciclo vital del pasto se presentan en la Figura 4. La curva ajustada de la tasa de crecimiento, presenta un comportamiento de tipo sigmoideal, y se caracterizó por presentar un incremento gradual en sus valores, a partir de la semana cuatro, hasta llegar al máximo alrededor de las 16 semanas, momento a partir del cual, comenzó a descender; este proceso coincide con la disminución en la cantidad de biomasa foliar. La tasa de crecimiento, mostró una correlación negativa ($P < 0.05$), con AFE (Figura 5).

La máxima AFE se presentó a las cuatro semanas y coincidió con la mayor concentración de N en hoja (6.98 %) (Cuadro 2); después comenzó a disminuir en la medida que se incrementó el peso seco de las hojas y la madurez de la planta. La altura de la planta, presentó una correlación negativa con AFE y con el contenido de N en hoja, mientras que, el porcentaje de N en hoja, mostró una correlación positiva ($P < 0.05$), con AFE y viceversa (Figura 6). Por tanto, a mayor porcentaje de N foliar, mayor será la AFE.

Los resultados de la regresión múltiple, indican que en la producción de materia seca total, el valor del coeficiente de correlación múltiple (r^2) para la producción de materia seca total planta⁻¹, es 0.999; es decir, el 97 % de la variación en la producción de materia seca total, se explica por el modelo que incluye las variables independientes: BF, BT, BINF, MM y BR, lo que da una gran certidumbre en el modelo de predicción ($P < 0.05$). La ecuación de predicción para cada una de las variables evaluadas fue: $Y = 0.00786014 + 0.943357121 (BH) + 1.048418026 (BT) + 1.2206 (BINFL) + 0.9387 (MM) + 1.0027 (BR)$. El rendimiento de MST presentó una correlación positiva con la biomasa de tallos ($r = 0.4065$) y biomasa radical ($r = 0.4653$) y negativa moderada con la biomasa de inflorescencias y material muerto (Cuadro 2).

La disminución en la producción de biomasa aérea, en la medida que se alcanzó la madurez de la planta, es producto de un incremento significativo ($P < 0.05$), en las pérdidas de biomasa por senescencia y descomposición; tal como advierten

Cuadro 2. Cambios en la área foliar específica, porcentaje de nitrógeno y altura de la planta, a diferentes estadios de crecimiento del pasto mulato

Table 2. Changes in mulato grass specific leaf area (SLA), nitrogen percentage and plant height at different phenological stages

Week	SLA (m ² /kg)	Total leaf nitrogen (%)	Plant height (cm)
1	0.012	5.50	5.30
2	0.014	6.42	9.17
3	0.014	6.67	15.30
4	0.016	6.98	24.70
5	0.015	5.13	26.12
6	0.013	4.42	36.50
7	0.013	3.29	38.37
8	0.012	3.13	48.12
9	0.011	2.01	43.17
10	0.012	1.67	54.52
11	0.013	1.23	58.82
12	0.012	1.21	61.25
13	0.011	0.96	66.07
14	0.011	1.01	64.57
15	0.011	0.98	73.62
16	0.010	0.90	78.25
17	0.011	0.88	72.52
18	0.010	0.78	85.70
19	0.010	0.80	86.75
20	0.009	0.69	98.62
21	0.009	0.68	102.67
SE	7.05x10 ⁻⁰⁶	0.0054	29.8347

SE = standard error of mean.

Maximum SLA occurred at wk 4 and coincided with the highest LNC (6.98 %) (Table 2). It then began to decrease as leaf dry weight and plant maturity increased. Plant height had a negative correlation to SLA and LNC. In contrast, leaf N percentage had a positive ($P < 0.05$) correlation to SLA and vice versa (Figure 6), meaning that the higher the leaf N percentage, the greater the SLA.

Multiple regression results indicated a multiple correlation coefficient value (r^2) for total plant dry matter production⁻¹ of 0.999. In other words, 97 % of the variation in total dry matter production was explained by the model including the independent variables LB, SB, IB, RB and DM, giving the

algunos investigadores^(21,22,23), este fenómeno ocurre, cuando la tasa de senescencia y descomposición, superan a la tasa de producción de hojas.

La producción de hojas en el pasto mulato, presentó una curva clásica de crecimiento, tipo sigmoidal bien definida. Esta tendencia en el crecimiento, es semejante a la consignada por varios investigadores^(24,25), quienes al estudiar la dinámica de crecimiento en pastos templados, observaron que la acumulación neta de forraje se reduce, una vez que la planta alcanza el IAF óptimo, momento a partir del cual, el sombreo en capas inferiores se incrementa. La senescencia en hojas, implica una pérdida gradual en la actividad fotosintética, que conduce a una degeneración y muerte de tejido⁽²⁶⁾, cuando las hojas se encuentran por debajo del punto de compensación por luz⁽²⁵⁾.

La producción de biomasa aérea de tallos, de material muerto aéreo y de biomasa radical del pasto mulato, están correlacionadas de manera positiva, con el incremento en la edad de la planta, lo cual favorece una disminución en la relación hoja/tallo y hoja/no hoja, durante los diferentes estadios de crecimiento, conforme se incrementa la madurez del pasto; tal como lo mencionan algunos investigadores^(24,27,28), esto ocurre, como consecuencia de un incremento en la biomasa de tallos y material muerto.

La emisión de tallos florales, se caracterizó por ser uniforme y con una gran proporción de semilla vana, lo cual concuerda con lo consignado por Gómez *et al.*⁽²⁹⁾, quienes indicaron que la mayor o menor frecuencia de tallos florales, puede ser un indicador de la capacidad de persistencia de las especies de *Brachiaria*, aunque este hecho, por sí solo, no significa que sean viables, debido a que pueden florear sin presentar semilla viable.

El incremento de la biomasa aérea y el de sus componentes, se caracterizó por una rápida acumulación de materia seca, a partir de la semana cuatro de crecimiento. En este sentido, Lemaire⁽³⁰⁾, indica que el tamaño relativo de los diferentes órganos, para la captura, asimilación de recursos o para el almacenamiento de reservas (hoja, tallo,

Cuadro 3. Coeficientes de correlación simple entre los componentes morfológicos evaluados y la materia seca total, del pasto mulato

Table 3. Simple correlation coefficients for mulato grass between evaluated morphological components and total dry matter

	X1	X2	X3	X4	X5	Y
X1	1.0000	0.4065	-0.3719	-0.1147	0.4653	0.3359
X2	1.0000	0.6555	0.8506	0.9476	0.9916	
X3		1.0000	0.9449	0.5700	0.7204	
X4			1.0000	0.7646	0.8908	
X5				1.0000	0.9593	
Y					1.0000	

X1 = leaf biomass; X2 = stem biomass; X3 = inflorescence biomass; X4 = dead matter; X5 = root biomass; Y = total dry matter.

prediction model high certainty ($P < 0.05$). The prediction equation for the variables was: $Y = 0.00786014 + 0.943357121 (LB) + 1.048418026 (SB) + 1.2206 (IB) + 0.9387 (DM) + 1.0027 (RB)$. Total dry matter yield (Y) had a positive correlation to SB ($r = 0.4065$) and RB ($r = 0.4653$), and a moderately negative one to IB and DM (Table 2).

The observed reduction in aboveground production as the plant reached maturity is a product of a significant ($P < 0.05$) increase in biomass loss due to senescence and decomposition. As mentioned by other researchers, this occurs when the senescence and decomposition rates surpass the leaf production rate^(21,22,23).

Leaf production in mulato grass was found to have a well-defined, classic, sigmoidal growth curve similar to that reported by other researchers^(24,25). In their studies of temperate grasses these researchers observed that net forage accumulation diminishes once the plant reaches optimum SLA, when shading of lower levels increases. Leaf senescence implies gradual loss of photosynthetic activity, leading to degeneration and tissue death⁽²⁶⁾ when the leaves are below the light compensation point⁽²⁵⁾.

vaina y raíz), son los principales factores que determinan el intercambio del sistema en la medida que la planta se desarrolla.

La tasa de crecimiento, durante la etapa de establecimiento, se caracterizó por presentar un incremento gradual en sus valores, a partir de la semana cuatro, hasta llegar al máximo alrededor de la semana 16; esto confirma lo consignado en otros trabajos⁽³¹⁾, donde se indica que la tasa de crecimiento del forraje en un punto dado, puede estar limitada por el suministro de fotoasimilados y por las reservas de la planta o por el número, tamaño y actividad de los meristemas. La tasa de crecimiento, mostró una correlación negativa ($P < 0.05$), con AFE. Al respecto, se menciona⁽³²⁾, que la hoja y los rasgos de ésta, juegan un papel particular y muy importante, en la asimilación del carbono, las relaciones hídricas y el equilibrio energético de la planta; es por esto, que la velocidad de crecimiento del cultivo está en relación directa con la cantidad de radiación interceptada por el mismo.

El porcentaje de N en hoja, está correlacionado ($P < 0.05$), con el AFE y viceversa, congruente con lo señalado por Lusk⁽¹⁰⁾. El porcentaje de N en hoja, disminuyó al incrementarse la altura de la planta; al respecto se ha indicado⁽³³⁾ que durante el desarrollo del dosel, se establece un gradiente en el contenido de N en las hojas; lo normal es que las hojas sombreadas presenten una menor concentración de N que las expuestas al sol y, mientras mayor es la altura de la planta, mayor es la proporción de hojas sombreadas.

La AFE disminuyó al incrementarse la altura de la planta; resultados semejantes, que muestran una correlación negativa entre la altura del tallo y AFE por efecto de competencia por luz⁽³⁴⁾. La disminución de la AFE, conforme se incrementa la altura de la planta, podría interpretarse en términos de las ventajas que presentan las hojas pequeñas por mantener una temperatura adecuada en ambientes cálidos⁽³⁵⁾, ya que un menor tamaño de hoja, reduce la resistencia de la capa de frontera, y ayuda a mantener favorable la temperatura de la misma; además, permite mantener una elevada

Production of stem canopy biomass, canopy dead matter and root biomass in Mulato grass were positively correlated to plant age. This favors a decrease in the leaf/stem and leaf/non-leaf ratios during the different phenological stages as the plant matures. This results from an increase in stem and dead matter biomass^(24,27,28).

Floral stem emission was uniform in this species with a large proportion of vain seed. This coincides with Gómez *et al.*⁽²⁹⁾ who report that a greater or lesser reproductive stem frequency can indicate the persistence capacity of *Brachiaria* species, though this fact alone does not mean they are viable because they can flower without producing viable seed.

The increase in biomass and its components was characterized by a rapid accumulation of dry matter beginning in wk 4. Lemaire⁽³⁰⁾ mentions that the relative size of the organs used in resource capture, assimilation and storage (i.e. leaves, stems, pods and roots) are the main factors determining the gas exchange capacity as the plant grows.

During the phenological stages the growth rate was characterized by a gradual increase in values beginning in wk 4, reaching a maximum in week 16. This confirms other reports⁽³¹⁾ which indicate that growth rate in a given location may be limited by photoassimilate supply, plant reserves or meristem number, size, and activity.

Growth rate had a negative ($P < 0.05$) correlation to SLA. Other reports mention that the leaf and its features play a specific and very important role in carbon assimilation, water relations and plant energy balance. Thus, the speed of crop growth is in direct relation to the quantity of radiation intercepted.

Leaf N percentage was correlated ($P < 0.05$) to SLA and vice versa, as indicated by Lusk⁽¹⁰⁾. It diminishes as plant height increases, in fact, during canopy development a N content gradient is established in the leaves⁽³³⁾. Normally, shaded leaves have a lower N concentration than exposed leaves, thus, as plant height increases so does the proportion of shaded leaves.

eficacia en el uso del agua en condiciones de elevada radiación solar, poca disponibilidad de agua o baja conductancia estomática.

La máxima AFE, coincide con la mayor concentración de N en hoja (6.9%). Cuando la AFE es alta, se incrementa la apetencia por el animal y la fragilidad de las hojas; por lo tanto, también se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido, por lo que cosechar el potrero en este estadio fisiológico, podría traer consecuencias negativas en la planta⁽¹⁰⁾.

La AFE después de la cuarta semana de crecimiento, comienza a disminuir en la medida que se incrementa el peso seco de las hojas y la madurez de la planta. Un decremento en AFE puede ser producto de un aumento en el espesor de la hoja o una disminución en la densidad de la misma⁽³⁶⁾. Un aumento en el espesor de la hoja, puede ser provocado por un aumento en la cantidad de tejido de soporte o de tejido conductor en el mosófilo⁽³⁷⁾. En este sentido, se ha mencionado que la reducción en la AFE, es el resultado de una incapacidad de la planta para asignar estos compuestos en crecimiento estructural⁽¹⁴⁾.

Se concluye que la producción de biomasa aérea de tallos, de material muerto aéreo y de biomasa radical del pasto mulato, están correlacionadas de manera positiva, con el incremento en la edad de la planta, mientras que la máxima tasa de crecimiento coincide con la máxima producción de hojas. La área foliar específica disminuye conforme la planta madura, como resultado de un mayor peso individual de la hoja, y en la medida que se incrementa esta área foliar, se incrementa el contenido de nitrógeno en hoja, y éste, se diluye conforme la planta madura a lo largo del proceso de crecimiento, producto de la acumulación de materia seca.

As plant height increased SLA diminished, which is similar to other studies reporting a negative correlation between stem height and SLA due to the light competition effect⁽³⁴⁾. According to Parkhurst and Loucks⁽³⁵⁾, this decrease in SLA with plant height can be interpreted as an advantage for smaller leaves as it aids them in maintaining a proper temperature in hot environments, a vital function as their small size reduces the resistance of their border layer. It also allows them to maintain an efficient use of water under high solar radiation, low water availability or low stomatic conductance conditions.

Maximum SLA coincided with the highest LNC (6.9 %). When SLA is high, plant palatability to animals and leaf fragility increases. As a result, the risk of premature tissue loss also increases, meaning that harvesting a field in this physiological state could lead to negative results for the plant⁽¹⁰⁾.

After wk 4 of growth, SLA began to diminish as leaf dry weight and plant maturity increased. This may result from a thickening of the leaves or a decrease in their density⁽³⁶⁾. Greater leaf thickness can increase the amount of support or conductive tissue in the mesophyll⁽³⁷⁾. Reductions in SLA are likely a reflection of the plant's inability to assign these compounds during the structural growth process⁽¹⁴⁾.

In conclusion, mulato grass canopy stem biomass, canopy dead matter and root biomass were positively correlated to the phenological stages while maximum growth rate coincided with maximum leaf production. Specific leaf area decreased with plant maturity, as a result of greater individual leaf weight, and as leaf area increased so did leaf nitrogen content. As the plants matured during the growth process, both these factors diminished as dry matter accumulation increased.

LITERATURA CITADA

1. Evans GC. *The quantitative analysis of plant growth*, Oxford: Blackwell Science; 1972.

End of english version

CRECIMIENTO, ÁREA FOLIAR Y NITRÓGENO EN PASTO MULATO

2. Poorter H, Remkes C. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecol* 1990;(83):553-559.
3. Körner C. Some often overlooked plant characteristics as determinants of plant growth: a reconsideration. *Funct Ecol* 1991;(5):162-173.
4. Cornelissen JHC, Castro-Díez P, Hunt R. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. *J Ecol* 1996;(84):755-765.
5. Hunt R. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. London England: Unwin Hyman; 1990.
6. Beadle CL. Análisis del crecimiento vegetal. In: Coombs J, Hall DO, Long SP, Scurlock JMO editors. Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Traducción al español de la 2ª edición en inglés. México: Editorial Futura, S. A.; 1988:17-21.
7. Bultynck L, Fiorani F, Lambers H. Control of leaf growth and its role in determining variation in plant growth rate from an ecological perspective. *Plant Biol* 1999;(1):13-18.
8. Lemaire G, O'Neill B, Grosse G, Chartier M, Allirand JM. Nitrogen distribution within a lucerne canopy during regrowth: relation with light distribution. *Ann Bot* 1991;(68):483-488.
9. Lee JH, Heuvelink E. Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning and specific leaf area for cut *Crysanthemum*. *Ann Bot* 2003;(91):319-327.
10. Lusk CH. Leaf area accumulation helps juvenile evergreen trees tolerate shade in a temperate rain forest. *Oecol* 2002;(132):188-196.
11. Castro DP, Puyravaud JP, Cornelissen JHC. Leaf structure and anatomy as related to leaf mass per area variation in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecol* 2000;(124):476-486.
12. Newton PCD. Direct effects of increasing carbon dioxide on pasture plants and communities. *N.Z. J Agric Res* 1991;(34):1-24.
13. Bazzaz FA, Chiariello NR, Coley PD, Pitelka LF. Allocating resources to reproduction and defense. New assessments of the costs and benefits of allocation patterns in plants are relating ecological roles to resource use. *BioScience* 1987;(37):58-67.
14. Baxter R, Ashenden TW, Sparks TH, Farrar JF. Effects of elevated carbon dioxide on three montane grass species. I. Growth and dry matter partitioning. *J Exp Bot* 1994;(45):305-315.
15. Reddy VR, Acock B, Baker DN, Acock M. Seasonal leaf area-leaf weight relationships in the cotton canopy. *Agron J* 1989;(81):1-4.
16. García, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (para adaptarlo a las condiciones de la república Mexicana). 4ª ed. México, D.F. Universidad Autónoma de México, 1981.
17. Enríquez QJF, Romero MJ. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla, Veracruz. *Agrociencia* 1999;(33):141-148.
18. Coombs J, Hind G, Leegood RC, Tieszen LL, Vonshak A. Técnicas analíticas. En: Coombs J, Hall DO, Long SP, Scurlock JMO editores. Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Traducción al español de la 2ª edición en inglés. México: Editorial Futura, S.A.; 1988:181-188.
19. SAS Institute Inc. User's guide. Statistics. Version 8. Sixth edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA. 1999.
20. Herrera HJG, Barreras SA. Análisis estadístico de experimentos pecuarios (Utilizando el programa SAS). Manual de procedimientos. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad de Ganadería, Colegio de Postgraduados. 2000.
21. Sheath GW, Bircham JS. Grazing management in hill country: pasture production. *Proceed Ruakura Farmer's Conf* 1983;(35):41-45.
22. Hodgson, J. Grazing management. Science into practice. Harlow, England. Longman Scientific & Technical; 1990.
23. Hernández GA, Matthew C, Hodgson J. Tiller size/density compensation in perennial ryegrass miniature swards subject to differing defoliation heights and a proposed productivity index. *Grass Forage Sci* 1999;(54):347-356.
24. Bircham JD, Hodgson J. The influence of sward conditions on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous grazing management. *Grass Forage Sci* 1983;(38):323-331.
25. Chapman DF, Lemaire G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: *Proceed of the XVII International grassland congress*. Palmerston, New Zealand. 1993. SIR Publ., Wellington, New Zealand. 1993:95-104.
26. Azumí Y, Watanabe A. Evidence for a senescence-associated gene induced by darkness. *Plant Physiol* 1991;(95):577-583.
27. Hernández GA, Hodgson J, Matthew C. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures. 1. Tissue turnover and herbage accumulation. *N.Z. J Agric Res* 1997;(40):25-35.
28. Velasco ZME, Hernández GA, González HVA, Pérez PJ, Vaquera HH. Curvas estacionales de crecimiento del Ballico perenne. *Fitotecnia Mexicana* 2002;(25):97-106.
29. Gómez MM, Velásquez JE, Miles JW, Rayo FT. Adaptación de *Brachiaria* en el Pie de monte amazónico colombiano. *Past Trop* 2000;22(1):19-25.
30. Lemaire G. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. Teme I. Ecophysiology of Grasslands (Invited conferences) In: *Proceed of the XIX International grassland congress*. São Paulo, Brazil. Brazilian Society of Animal Husbandry. 2001.
31. Hodgson J, Bircham JS, Grant SA, King J. The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilization. In: Wright CE editor. *Plant physiology and herbage production*. The British Grassland Society. Occasional Symposium 1981;(13):51-62.
32. Bullock DG, Nielsen RL, Nyquist WE. A growth analysis of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Sci* 1988;(28):254-258.
33. Field C. Allocating leaf nitrogen for the maximization of carbon gain: leaf age as a control on the allocation program. *Oecol* 1983;(6):341-347.
34. Anten NPR, Hirose T. Interspecific differences in above-ground growth patterns result in spatial and temporal partitioning of light among species in a tall-grass meadow. *J Ecol* 1999;(87):583-597.

35. Parkhurst D, Loucks O. Optimal leaf size in relation to environment. *J Ecol* 1972;(60):505-537.
36. Witkowski ETF, Lamont BB. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecol* 1991;(88):486-493.
37. Pammenter NW, Drennan PM, Smith VR. Physiological and anatomical aspects of photosynthesis of two *Agrostis* species at sub Antarctic island. *New Phytol* 1986;(102):143-160.