

Patrón de crecimiento de pasto buffel [*Pennisetum ciliare* L. (Link.) Sin. *Cenchrus ciliaris* L.] en Tamaulipas, México

Growth rate pattern of buffelgrass [*Pennisetum ciliare* L. (Link.) Syn. *Cenchrus ciliaris* L.] in Tamaulipas, Mexico

Eduardo Gómez de la Fuente^a, Heriberto Díaz Solís^b, Abelardo Saldivar Fitzmaurice^c,
Florencio Briones Encinia^c, Virginia Vargas Tristán^c, William E. Grant^d.

RESUMEN

El objetivo fue conocer el patrón de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), índice de área foliar (IAF), razón hoja:tallo (HT) y razón tejido muerto:tejido vivo del pasto Buffel [*Pennisetum ciliare* L. (Link.) Sin. *Cenchrus ciliaris* L.] en función de precipitación (PREC), humedad del suelo a 20 (HS20) y 40 cm (HS40), grados día de desarrollo (GDD), radiación solar, unidades heliotérmicas y evapotranspiración. De julio de 1999 a diciembre del 2000 se diseñaron cinco programas de corte traslapados en el tiempo, para realizar cosechas de forraje cada semana, con un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se utilizaron los análisis multivariados de componentes principales y de conglomerado; además de la regresión para su análisis. El 85 % de la variabilidad se explicó con tres componentes principales. Se integraron tres grupos ($P < 0.01$). Grupo 1: cosechas de primavera y final del otoño, presentaron TCC moderadas ($16.36 \pm 14.38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) limitadas por HS20 y GDD. Grupo 2: cosechas de verano con $28.56 \pm 23.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (TCC), 1.49 ± 0.7 (HT) y 0.64 ± 0.4 (IAF) restringidas por PREC. Grupo 3: cosechas de invierno, con $5.1 \pm 7.8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (TCC), limitadas por GDD y HS20. La HS20 explicó el 87 % y PREC el 92 % de la variación en la TCC para los grupos 1 y 2, respectivamente. No fue posible predecir crecimientos en primavera al no registrarse eventos de precipitación en ese lapso, durante el período estudiado. En las condiciones de este estudio es posible predecir la tasa de crecimiento de Buffel en las estaciones de verano y otoño.

PALABRAS CLAVE: *Cenchrus ciliaris*, Plantas forrajeras, Zacates de temporal, Elementos ambientales, Tasa de crecimiento, Humedad del suelo.

ABSTRACT

The purpose of this research was to learn on the crop growth rate (CGR), leaf area index (LAI), leaf:stem (LS) ratio, and the dead tissue:live tissue (DL) ratio of buffelgrass [*Pennisetum ciliare* L. (Link.) Syn. *Cenchrus ciliaris* L.], as functions of rainfall (precipitation, i.e.: PREC), soil moisture at 20 (SM20) and 40 (SM40) cm, growing degree days (GDD), solar radiation, heliothermal units, and evapotranspiration. From July 1999 to December 2000, five time-overlapped cut programs were designed in order to perform weekly pasture harvests, under a 3-replicate, randomized block design. Multivariate analysis as principal components and conglomerate analyses together with regression analysis were performed. Eighty five (85) percent variability could be explained by three principal components. Three treatment groups were formed ($P < 0.01$). Group 1: spring/late-fall harvests showing moderate CGR ($16.36 \pm 14.38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) limited by SM20 and GDD. Group 2: summer harvests with $28.56 \pm 23.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (CGR), 1.49 ± 0.7 (LS) and 0.64 ± 0.4 (LAI) restricted by PREC. Group 3: winter harvests with $5.1 \pm 7.8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (CGR), limited by GDD and SM20. SM20 explained 87 %, and PREC explained 92 % of CGR variation for Groups 1 and 2, respectively. Spring growth rates could not be predicted since no rainfall events were recorded in that time, during the studied period. Under the conditions of this study, it is possible to predict buffelgrass growth rates during summer and fall.

KEYWORDS: *Cenchrus ciliaris*, Forage plants, Seasonal grasses, Environmental elements, Growth rate, Soil humidity.

Recibido el 6 de junio del 2006 y aceptado para su publicación el 24 de julio del 2006

^a Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 55 (DGETA) Teopan No. 2149, Frac. Teocaltiche, 87029 Cd. Victoria, Tamaulipas. Tel 01 834 31 6 55 46. e.gomezdelaf@hotmail.com. Correspondencia al primer autor.

^b Departamento de Recursos Naturales, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,

^c Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

^d Department of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas A&M University.

INTRODUCCIÓN

En el noreste de México más de la mitad de la superficie (21,083,877 ha) se dedica a actividades pecuarias; específicamente, el estado de Coahuila cuenta con 10,738,505 ha (72 %), Nuevo León 5,535,938 ha (86 %) y Tamaulipas 4,809,434 ha (60 %)^(1,2,3). En esta región predominan los sistemas de producción extensivos, y la fuente de alimentación más importante del ganado bovino es el forraje que consume de la vegetación nativa, de gramíneas forrajeras introducidas y de esquilmos agrícolas. Se estima que Coahuila cuenta con 104,783 ha de praderas principalmente de pasto Buffel; Nuevo León registra 527,167 ha, la mayoría de pasto buffel, y Tamaulipas cuenta con alrededor de 600,000 ha también de buffel, por lo cual la importancia de esta gramínea en el noreste de México es indiscutible. Asimismo, el inventario del hato bovino en esta región asciende a 2,060,023 cabezas de ganado^(1,2,3).

El buffel produce entre 2 a 10 veces más forraje que la vegetación nativa, tanto en el sur de Texas como en el noreste y noroeste de México^(4,5,6). Debido a ese mayor potencial productivo, entre 1960 y 1980, se desmontaron y sembraron 3,000,000 ha en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas; sin embargo, el que actualmente sólo existan 1,000,000 ha⁽⁷⁾, señala que hay problemas para asegurar su establecimiento y persistencia.

Lo anterior coincide con planteamientos pronunciados por productores pecuarios (Fundación PRODUCE, Nuevo León, 1999), quienes señalaron que dentro de los problemas prioritarios de su actividad se tienen entre otros, el mal manejo de pastos y praderas, debido a métodos de pastoreo ineficientes; consideran además a su ganadería como un negocio de alto riesgo, debido a las escasas y erráticas lluvias que hacen impredecible la cantidad y calidad del forraje producido. Lo anterior pone en evidencia el desconocimiento de la respuesta productiva del pasto buffel a diferentes condiciones de ambiente y manejo, aún y cuando éste fue introducido al noreste de México hace aproximadamente 52 años^(8,9).

INTRODUCTION

In northeast Mexico, more than half of the territory (21,083,877 ha) is dedicated to animal agriculture, particularly the States of Coahuila (10,738,505 ha, 72 %), Nuevo León (5,535,938 ha, 86 %), and Tamaulipas (4,809,434 ha, 60 %)^(1,2,3). In this region, extensive livestock production systems prevail. The most important feed source for cattle is the forage obtained from native vegetation, including introduced forage gramineous plants and crop by-products. Coahuila is estimated to include 104,783 ha grassland, covered mainly with buffelgrass; Nuevo León includes 527,167 ha, mainly with buffelgrass; and Tamaulipas has 600,000 ha covered also with buffelgrass. The importance of buffelgrass in northeast Mexico is therefore unquestionable. Likewise, region's cattle herd includes 2,060,023 heads^(1,2,3).

Buffelgrass yields 2 to 10 times more forage than native vegetation in both southern Texas and northwest/northeast Mexico^(4,5,6). Due to this higher productive potential, 3 million hectares have been cleared and seeded with buffelgrass in the States of Coahuila, Nuevo León and Tamaulipas between 1960 and 1980. Nevertheless, the current presence of only 1,000,000 ha⁽⁷⁾ means that problems are being faced to assure the establishment/persistence of this type of grasslands.

The above-mentioned situation matches the statements of livestock producers (PRODUCE Foundation, Nuevo León, 1999), who pointed out that –among others– priority problems of animal agriculture include poor grass/grassland management, due to inefficient grazing methods. In addition, livestock producers consider their business as a high risk one, due to scarce, erratic rainfall, making forage quantity/quality impossible to predict. This reflects lack of knowledge about buffel grass productive potential as a response to different environmental/management conditions, despite of the fact that buffel grass was introduced to northeast Mexico 52 years ago^(8,9).

Specific information should therefore be generated about buffel grass seasonal distribution, growth rates and year round variations, in order to improve

Por ello, se requiere generar información específica acerca de la distribución estacional del forraje, de su tasa de crecimiento y de la variación durante el año, con el fin de realizar una mejor planeación de la utilización de este recurso forrajero en el noreste de México, de manera específica, en el estado de Tamaulipas. Los elementos que más afectan el crecimiento de los forrajes son: temperatura⁽¹⁰⁾, precipitación y tipo de suelo⁽¹¹⁾.

Se han utilizado algunos métodos para desarrollar curvas de crecimiento estacional para los forrajes. Uno de ellos es realizar tres programas de corte, cada uno con el mismo intervalo entre ellos (21 o 28 días, dependiendo de la temporada), pero con fechas traslapadas. De esta manera se determina la tasa de crecimiento (TCC) para cada semana, basados en la tasa promedio para los tres intervalos de corte que se traslapan⁽¹²⁾. Otra forma es comparar cortes semanales y mensuales para desarrollar curvas de crecimiento⁽¹³⁾, o utilizar intervalos de corte fijos de 14 y 28 días⁽¹⁴⁾.

El pasto buffel en condiciones controladas y diferentes sistemas de manejo, ha mostrado producciones de hasta 80 kg ha⁻¹ d⁻¹ con cortes semanales a 8 cm de altura⁽¹⁵⁾. En el estado de Yucatán, en condiciones de temporal, la tasa de crecimiento reportada para las épocas de lluvia y seca fue de 81 y 20 kg ha⁻¹ d⁻¹, respectivamente⁽¹⁶⁾. Por lo anterior, y dada la poca información disponible sobre crecimiento en condiciones de temporal en el noreste de México, el objetivo del presente estudio fue determinar para pasto buffel común, el patrón de su tasa de crecimiento (TCC), índice de área foliar (IAF), razón hoja:tallo (HT) y razón tejido muerto:tejido vivo (MV) a través del año, y relacionar estas variables con precipitación (PREC), humedad en el suelo a 20 (HS20) y 40 cm (HS40), días grado para el desarrollo (GDD), radiación solar (RS), unidades heliotérmicas (UHT) y evapotranspiración (ET).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó por 18 meses (julio de 1999 a diciembre del 2000) en el ejido Miguel Hidalgo, municipio de Victoria, Tamaulipas a 23°

usage plans of this pasture as a resource in northeast Mexico, specifically in the State of Tamaulipas. Major elements impacting forage growth include temperature⁽¹⁰⁾, rainfall, and soil type⁽¹¹⁾.

Several methods to develop seasonal forage growth curves have been used. One of them includes three cut programs at iso intervals (21 or 28 d, depending on the season), but with overlapped dates. This way, weekly crop growth rates (CGR) are determined, based on average rates for all three overlapping cut intervals⁽¹²⁾. Other methods compare weekly and monthly cuts as to develop growth curves⁽¹³⁾, or use fixed cut intervals of 14 and 28 d⁽¹⁴⁾.

Under controlled conditions and different management systems, buffel grass has shown yields of up to 80 kg ha⁻¹ d⁻¹ with weekly cuts at 8 cm height⁽¹⁵⁾. In the State of Yucatán, under seasonal conditions, reported growth rates for both raining and dry seasons were 81 and 20 kg ha⁻¹ d⁻¹, respectively⁽¹⁶⁾. Due to the statements above, and given the limited information available about seasonal growth conditions in northeast Mexico, the objective of this study was to determine crop growth rate (CGR) patterns, leaf area index (LAI), leaf:stem ratio (LS), and the dead tissue:live tissue ratio (DL) throughout the year for regular buffel grass, as well as to correlate these variables with rainfall (PREC), soil moisture contents at 20 (SM20) and 40 (SM40) cm, growing degree days (GDD), solar radiation (SR), heliothermal units (HTUs), and evapotranspiration (ET).

MATERIALS AND METHODS

The experiment lasted 18 mo (July 1999 to December 2000) in Ejido (common land) Miguel Hidalgo, Victoria municipality, State of Tamaulipas, Mexico, 23° 25' N and 99° 09' W; altitude: 323 m asl; yearly average temperature: 24 °C; yearly average rainfall: 855 mm. The soil is fine grained calcarean fluvisol (argillaceous shale) with neutral (6.9) pH, salinity/sodicity problem-free (0.53 % mmhos/cm electrical conductivity; and RAS= 0.09, respectively), rich in both organic matter (2.94 %) and total nitrogen (0.17 %), but phosphorus-

25' N y 99° 09' O, una altitud de 323 msnm, temperatura y precipitación promedio anual de 24 °C y 855 mm, respectivamente. El suelo es fluvisol calcárico de textura fina (migajón arcilloso), pH neutro (6.9), sin problemas de salinidad (0.53% mmhos/cm de conductividad eléctrica) y sodicidad (RAS= 0.09), rico en materia orgánica (2.94 %) y nitrógeno total (0.17 %), pero deficiente en fósforo (4.32 ppm). La pradera utilizada fue establecida cuatro años antes, con densidad de población de 8 ± 2 plantas m^{-2} .

Al inicio del experimento (7 de julio de 1999) se dio un corte para uniformizar el área experimental, se delimitaron las unidades experimentales y se cercó el experimento. Los muestreos se iniciaron cinco semanas después (11/08/99). Se estableció un programa de cortes con cinco semanas de duración, cada semana se cosechó uno de los cortes hasta terminar el programa y se repitió un nuevo ciclo, así se continuó hasta la conclusión del experimento^(12,17). De esta forma, el intervalo entre cortes de una misma parcela fue de cinco semanas. Cada uno de los cortes se efectuó en parcelas de 5 m x 2 m (10 m^2) con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Para el análisis de la información sólo se consideraron los datos a partir del segundo ciclo de cortes, con edad cronológica de cinco semanas de rebrote. Las variables de respuesta fueron: tasa de crecimiento del cultivo (TCC), índice de área foliar (IAF), razón hoja:tallo (HT) y razón tejido muerto:tejido vivo (MV); estas razones se estimaron con los componentes morfológicos hoja, tallo y material senescente. Para determinar la TCC, en una área de 0.5 por 1.0 m (0.5 m^2) elegida al azar dentro de cada unidad experimental, el forraje fue cortado por arriba de 15 cm sobre el nivel del suelo, se depositó en una bolsa de papel, y fue secado en estufa de ventilación forzada a 65 °C por 72 h y se determinó el peso de la materia seca (MS), la cual fue convertida a $kg\ ha^{-1}$ para luego determinar la TCC con la ecuación:

$$TCC = \frac{(MS_n - MS_{(n-1)})}{(F_n - F_{(n-1)})}$$

deficiente (4.32 ppm). The grassland used had been established four years earlier, with a population density 8 ± 2 plants m^{-2} .

At experiment start, (July 7 1999) one cut was practiced to yield an even experimental surface area. Experimental units were delimited, and the experimental field was fenced. Sampling started 5 wk later (August 11 1999). A 5-wk cutting program was established. Each week one of the cuts was harvested until the end of the program, then a new cycle was repeated. This program continued until experiment completion^(12,17). This way, the cutting interval in one same parcel was 5 wk. Each cut was performed in 5 x 2 m (10 m^2) parcels, following a fully-randomized block design with three replicates.

Statistical analysis only included data from the second cutting cycle on, with a 5-wk resprout chronologic age. Response variables included crop growth rate (CGR), leaf area index (LAI), leaf:stem (LS) ratio, and the dead tissue:live tissue (DL) ratio. These ratios were estimated using the following morphological components: leaf, stem, and senescent material. In order to determine CGR in an area of 0.5 x 1.0 m (0.5 m^2) selected at random within each experimental unit, pasture was cut 15 cm above soil level, placed in a paper bag and dried in a forced ventilation stove at 65 °C for 72 h. Dry matter (DM) weight was then determined and transformed into $kg\ ha^{-1}$ in order to finally determine CGR using the following equation:

$$CGR = \frac{[DM_n - DM_{n(1)}]}{[F_n - F_{n(1)}]}$$

Where CGR was expressed as $kg\ ha^{-1}\ d^{-1}$; DM = dry matter ($kg\ ha^{-1}$); F = cut date taking January the 1st 1999 as day 1; Underscript n is the harvest number. For n=0, any growth < 15 cm was considered as null.

In order to measure leaf, stem, and senescent material yields, the biomass area was delimited using a 0.25 m^2 frame then cutting above 15 cm. Morphological components (leaf, stem and senescent

Donde TCC se expresó en $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$, y MS es materia seca (kg ha^{-1}), F es la fecha de corte tomando el 1° de enero de 1999 como el día 1. El subíndice n es el número de cosecha. Para $n=0$, cualquier crecimiento menor a 15 cm se consideró como nulo.

Para medir el rendimiento de hoja, tallo y material senescente, se delimitó la biomasa aérea con un marco de 0.25 m^2 , y cortándose por arriba de 15 cm; los componentes morfológicos (hoja, tallo y material senescente) fueron separados en forma manual, secados en estufa de ventilación forzada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h y se determinó el peso de la MS. Con los valores de la submuestra se determinó su porcentaje de MS y su aportación a la MS total. También fueron estimadas HT y MV, como tejido vivo se consideró hoja+tallo. Posterior a cada muestreo, las parcelas donde se efectuó el muestreo fueron cortadas a 15 cm de altura.

Para determinar el IAF fue utilizada una submuestra de 50 hojas elegidas al azar del componente hoja de cada muestra, y se acomodaron en bolsas de plástico transparente para medir su área foliar con un medidor portátil (Li-Cor mod. LI-3100A, Lincoln, Nebraska, USA). También se determinó el peso de su MS después de secar en estufa de ventilación forzada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h y por proporción de la razón área foliar:materia seca de la submuestra respecto a la MS de la muestra fue determinada el área foliar de ésta, y conociendo la superficie cosechada (0.25 m^2) el IAF fue estimado por el cociente del área foliar dividido entre la superficie de cosecha. La MS de la submuestra de hojas utilizada para medir el área foliar fue añadida al componente hoja de la muestra.

Con los datos meteorológicos de temperatura mínima, promedio y máxima diaria, PREC, evaporación y horas brillo solar, obtenidos a nivel diario del observatorio de superficie de Ciudad Victoria, Tamaulipas, ubicado a 3 km del sitio experimental, fueron calculados GDD, UHT, RS y ET. El cálculo de GDD y UHT fue de acuerdo a las fórmulas(18):

$$GDD = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} - T_{\text{base}} \right]$$

material) were manually separated, dried in a forced-air stove ($65 \text{ }^\circ\text{C}$ for 72 h), and DM weight was determined. Using sub-sample values, % DM and total DM were determined. Both leaf:stem ratio (LS) and dead:live (DL) ratio were also estimated. For this purpose, live tissue = leaf + stem. After every sampling, sampled parcels were cut at a 15 cm height.

In order to determine LAI, a 50 leaf sub-sample taken at random from the leaf component of every sample was used. Leaves were then arranged in transparent plastic bags in order to measure the leaf area using a portable measuring device (Li-Cor mod. LI-3100A, Lincoln, Nebraska, USA). DM weight was also determined after forced-ventilation stove drying at $65 \text{ }^\circ\text{C}$ for 72 h. Sample leaf area was determined using the leaf area:DM ratio of the sub-sample as a proportion of sample, and knowing the harvested surface area (0.25 m^2), LAI was estimated by the quotient of leaf area divided by the surface area harvested. DM of the leaf sub-sample used to measure leaf area was added to sample leaf component.

With the meteorological data on daily minimum, average, and maximum temperatures, PREC, evaporation and sunshine hours obtained every day from the Surface Observatory, Ciudad Victoria, Tamaulipas, located 3 km away from the experimental site, GDD, HTUs, SR, and ET were calculated. Both, GDD and HTUs were calculated using the following equations (18):

$$GDD = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} - T_{\text{base}} \right]$$

Where: T_{\max} = maximum temperature for the day; T_{\min} = minimum temperature for the day; T_{base} = base temperature for buffelgrass ($15 \text{ }^\circ\text{C}$)(19,20).

In order to determine HTUs, the following equation was used:

$$\text{HTUs} = \Sigma[\text{GDD} \times (\text{sunshine hours})].$$

General radiation was estimated as insolation by sunshine hours(21):

Donde: T_{\max} = temperatura máxima para el día;
 T_{\min} = temperatura mínima para el día; T_{base} =
 temperatura base para pasto buffel (15 °C)^(19,20).

Para determinar UHT se usó la ecuación $UHT = \Sigma [GDD \times (\text{horas brillo solar})]$.

La estimación de la radiación global fue por insolación con horas brillo solar⁽²¹⁾:

$$\frac{R_g}{R_A} = 0.29 \cos(\Psi) + 0.52 \left(\frac{n}{N} \right)$$

Donde: R_g = radiación global ($\text{Cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$);
 R_A = radiación teórica extraterrestre, en ausencia
 de atmósfera ($\text{Cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$); n = horas brillo solar;
 N = duración astronómica de la insolación; (Ψ) =
 latitud (en grados).

El cálculo de la evapotranspiración (ET) fue por medio del producto del valor de la evaporación (Ev) y el coeficiente 0.75: $ET = Ev \times 0.75$.

La humedad del suelo a 20 (HS20) y 40 cm (HS40) de profundidad fue determinada en cada fecha de muestreo por el método gravimétrico; para ello, se extrajeron al azar en cada parcela muestras de suelo con barrena tipo Veihmeyer, el suelo fue depositado en botes de vidrio cerrados, se midió su masa en fresco, luego se secaron a 105 °C por 24 h y fue medida su masa seca. El porcentaje de humedad del suelo referido a masa de suelo seco se obtuvo con la fórmula:

$$\text{Humedad del suelo (\%)} = \frac{(M_{sh} - M_{ss})}{M_{ss}} \times 100$$

Donde: M_{sh} = masa del suelo húmedo y M_{ss} = masa del suelo seco.

Para el análisis estadístico se hizo uso del análisis multivariado por componentes principales y análisis por conglomerados del programa SAS⁽²²⁾, utilizando las variables del cultivo, meteorológicas, índices agroclimáticos y humedad del suelo. Además, fueron estimadas relaciones funcionales uno a uno entre variables del ambiente (variables predictoras) y variables de respuesta.

$$\frac{R_g}{R_A} = 0.29 \cos(\Psi) + 0.52 \left(\frac{n}{N} \right)$$

Where: R_g = general radiation ($\text{Cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$);
 R_A = extraterrestrial theoretical variation in the
 absence of atmosphere ($\text{Cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$); n = sunshine
 hours; N = astronomic duration of insolation;
 (Ψ) = Latitude (degrees).

Evapotranspiration (ET) was calculated multiplying evaporation value (Ev) by the 0.75 coefficient, i.e.:
 $ET = Ev \times 0.75$.

Soil moisture at 20 (SM20) and 40 (SM40) cm depth was determined in each sampling day, using the gravimetric method. For this purpose, per parcel soil samples were taken at random using a Veihmeyer-type drill. Soil samples were placed in closed glass jars. Fresh sample mass was measured, then dried at 105 °C for 24 h, and the dry mass was measured. The percent soil moisture referred to dry soil mass was obtained by the equation:

$$\% \text{ Soil moisture} = \frac{(M_{sh} - M_{ss})}{M_{ss}} \times 100$$

Where: M_{sh} = wet soil mass; and M_{ss} = dry soil mass.

For the statistical analysis, a per-principal component multivariate analysis and conglomerate analysis (SAS)⁽²²⁾, was used, using crop, meteorological, agri-climatic index, and soil moisture variables. In addition, functional one-to-one relations among environmental variables (predicting variables) and response variables were estimated.

RESULTS AND DISCUSSION

Yearly average rainfall in the study site is 855 mm. Monthly average PREC values in excess of 50 mm from May to October occur (Table 1), with high variability (60 to 80 %) from year to year, with the exception of July and August (CV = 136 and 116 %, respectively), typical of the PREC

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación promedio anual del sitio de estudio es de 855 mm; se presentan valores de PREC promedio mensual por encima de los 50 mm en los meses de mayo a octubre (Cuadro 1), con alta variabilidad entre años (60 a 80 %), excepto en los meses de julio y agosto (CV= 136 y 116 %, respectivamente), propios de la incertidumbre de los eventos de PREC en la región y como consecuencia, un acarreo en la imprecisión para predecir los posibles periodos de crecimiento del pasto buffel en el año. La temperatura promedio mensual, de marzo a octubre, en teoría, favorece el crecimiento de buffel.

En 1999, la PREC fue de 619.3 mm anuales, 28% menor al promedio, con PREC mensual por debajo del promedio excepto en los meses de marzo, junio y julio. La temperatura desde abril hasta junio y en agosto registró + 1°C superior al promedio mensual. Para el resto del año sólo se registraron algunos eventos de precipitación ocasionales; de agosto a diciembre, se acumuló un déficit de 205 mm

event uncertainty in the region, resulting in an imprecision carry over to predict the possible buffel grass growth rate in the year. Theoretically, monthly average temperatures from March to October promote buffel grass growth.

In 1999, yearly PREC was 619.3 mm, 28 % underneath the average, with a monthly PREC underneath the average with the exception of March, June, and July. Recorded temperatures from April to June, as well as those in August were + 1°C above monthly average. In the remainder of the year, only a few occasional rainfall events were recorded. From August to December, a cumulative 205 mm shortfall was recorded as compared to the cumulative average for that time period. In 2000, PREC was 13.8 % underneath the yearly average. No important rainfall (> 50 mm) events were recorded from January to May, and in that period the temperature exceeded the monthly average. June cumulative rainfall exceeded 164.8 mm over the typical average for this month. On the contrary, in the July-September period, a 282.9 mm deficit was observed underneath the historical average for this

Cuadro 1. Precipitación y temperatura promedio de los años 1999, 2000 y promedio de largo plazo (28 años), registradas en el observatorio de Ciudad Victoria, Tamaulipas

Table 1. Average rainfall and temperature in 1999 and 2000, and long range average (28 yr), recorded by the Ciudad Victoria, Tamaulipas Observatory

Month	Rainfall			Temperature		
	1999	2000	28 years($\bar{x} \pm s$)	1999	2000	28 years($\bar{x} \pm s$)
January	0.3	34.9	22.4 ± 37.7	19.1	17.8	16.2 ± 2.0
February	0.0	3.6	11.4 ± 10.6	21.0	20.7	18.7 ± 1.8
March	40.5	1.2	24.3 ± 23.8	20.1	23.9	21.8 ± 2.2
April	2.7	13.7	49.5 ± 49.2	26.7	25.4	25.1 ± 1.6
May	18.8	43.5	98.3 ± 77.2	28.0	28.1	27.3 ± 1.9
June	125.7	274.8	110.9 ± 75.9	29.1	27.0	28.4 ± 1.6
July	186.1	0.0	87.4 ± 118.8	27.5	29.1	28.5 ± 1.7
August	56.6	101.3	129.0 ± 149.1	29.4	27.0	28.4 ± 1.2
September	145.0	18.0	185.8 ± 118.5	25.1	26.5	25.9 ± 1.0
October	28.2	209.1	92.0 ± 60.2	22.0	21.7	23.0 ± 1.0
November	0.5	20.6	20.7 ± 22.4	19.5	19.0	19.2 ± 2.3
December	14.9	17.1	23.3 ± 32.4	16.0	13.9	16.4 ± 1.6
	619.3	737.8	855.0 ± 198.9	23.6	23.3	23.2 ± 0.8

respecto a la acumulada promedio para ese mismo período. En el año 2000, la PREC fue 13.8 % menor al promedio anual. No se registraron eventos importantes de precipitación (> 50 mm) desde enero a mayo, y en ese período la temperatura sobrepasó el promedio mensual. En junio se registró un acumulado superior en 164.8 mm al promedio para ese mes, pero durante el período de julio a septiembre se registró un déficit de 282.9 mm respecto al promedio histórico para ese lapso de tiempo y la temperatura se mantuvo por arriba del promedio en julio (+ 0.6 °C) y septiembre (+ 0.6 °C). En octubre se registraron precipitaciones por arriba del promedio mensual (+ 117 mm); sin embargo, la temperatura de octubre a diciembre del 2000 estuvo por debajo del promedio (-1.3, -0.2 y -2.5 °C, respectivamente). Estas condiciones fueron similares a las reportadas para aquellos lugares donde el buffel predomina y se propaga a zonas aledañas, con PREC en verano entre 150 y 550 mm, y menor a 400 mm en el invierno, además, la temperatura mínima raramente está por debajo de los 5 °C⁽¹⁹⁾.

La mayor TCC se registró cuando coincidieron una gran acumulación de GDD (alta temperatura) e importantes eventos de PREC o suficiente humedad en el suelo, lo que ocurrió esencialmente al final de la primavera y principios del verano, tanto de 1999 (acumulado de 311.8 mm durante junio y julio) como en el 2000 (275 mm en junio y 101 mm en agosto), con condiciones de temperatura elevada. La tasa de aparición de hojas en los vástagos de gramíneas se incrementa con altas temperaturas⁽¹⁹⁾.

En octubre del 2000 se registraron 209 mm de PREC, que sin embargo, no convergieron con altas temperaturas, por lo que no se obtuvo el crecimiento deseado para ese acumulado de PREC. Esto puede atribuirse a la incapacidad de las gramíneas tropicales de producir nuevas hojas a bajas temperaturas⁽²⁴⁾. Así mismo, las condiciones desfavorables en el medio ambiente al momento de la defoliación pueden limitar el crecimiento y retrasar o disminuir la recuperación de las plantas⁽²⁵⁾.

El análisis por componentes principales (Cuadro 2) mostró que los primeros tres componentes

period, and the temperatures remained above the average for both July (+ 0.6 °C) and September (+ 0.6 °C). In October, rainfall above the monthly average (+ 117 mm) was recorded. Nevertheless, the October-December 2000 temperature remained underneath the average (-1.3, -0.2 and -2.5 °C, respectively). These conditions –in which buffel grass grew– were similar to those reported in those places where buffelgrass prevails, and swarms to surrounding areas, with summer PREC between 150 and 550 mm, and winter PREC < 400 mm. In addition, minimum temperature is seldom < 5 °C⁽¹⁹⁾.

CGR peaked at the time both a high cumulative GDD (high temperature) and important PREC events or sufficient soil moisture coexisted, which occurred basically during the late spring and early summer, both in 1999 (cumulative 311.8 mm during June and July) and in 2000 (275 mm in June and 101 mm in August) with high temperature conditions. The rate of leaf appearance in the stems of gramineous plants increases with high temperatures⁽¹⁹⁾.

In October 2000, 209 mm PREC were recorded but this did not match high temperatures, hence growth rates were not consistent with the cumulative PREC. This can be attributed to the inability of tropical gramineous crops to produce new leaves at low temperatures⁽²⁴⁾. Likewise, unfavorable environmental conditions at the time of defoliation can limit growth rates thus decreasing/retarding plant recovery⁽²⁵⁾.

Principal component analysis (Table 2) showed that the first three components explained 85.8 % of total variation. The first principal component (PC1) was defined by the following variables: PREC, SM20 and SM40, GDD, ET, SR, HTUs, CGR, LAI and LS, all of which showed a positive relationship among them, and with PC1. PC1 explained 54.6 % of total variance. GDD showed the highest level of relationship with PC1.

Generally, PC1 confirms the response of buffel grass to meteorological events. Buffel grass growth (CGR, LAI and LS) was higher with increased humidity levels (PREC, SM20 and SM40), and

PATRÓN DE CRECIMIENTO DE PASTO BUFFEL

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de las variables estudiadas con cada uno de los componentes principales
Table 2. Correlation coefficients of variables studied including each principal component

Variable	Principal components				
	PC 1		PC 2		PC 3
Cumulative rainfall, mm	0.704008	**	-0.576881	*	-0.075101
Soil moisture at 20 cm, %	0.776944	**	-0.544379	*	-0.056396
Soil moisture at 40 cm, %	0.765879	**	-0.514252	*	-0.061221
Growing degree days	0.871574	**	0.444798		0.079836
Evapotranspiration, mm	0.783914	**	0.546289	*	0.067041
Radiation, Cal cm ⁻² d ⁻¹	0.722421	**	0.597110	*	-0.071801
Heliothermal units	0.850654	**	0.496490		0.081759
Crop growth rate	0.843544	**	-0.384655		-0.136746
Leaf area index	0.822462	**	-0.371402		-0.095915
Leaf:stem ratio	0.545119	*	0.207295		0.530514
Dead tissue:live tissue ratio	0.130955		0.536430	*	-0.696378
Eigenvalue	6.007822		2.609541		0.932689
Eigenvalue explained variance	54.62		23.72		7.54
Cumulative variance (%)	54.62		78.34		85.88

*correlation coefficient, 0.5<=r<0.7

**correlation coefficient, r>=0.7

explicaron el 85.8 % de la variación total. El primer componente principal (CP1) estuvo definido por las variables PREC, HS20 y HS40, GDD, ET, RS, UHT, TCC, IAF Y HT; todas estas variables presentaron una relación positiva entre sí y con el CP1. De la varianza total, CP1 explicó el 54.6 %. GDD registró la mayor relación con CP1.

El CP1 confirma en general la respuesta del pasto buffel a eventos meteorológicos. El crecimiento del buffel (TCC, IAF y HT) fue mayor al incrementarse la humedad (PREC, HS20 y HS40), así como la temperatura (GDD, RS ET y UHT). Al coincidir condiciones de precipitación, humedad en el suelo, o ambas, así como condiciones de ambiente caluroso, resultaron en incrementos en la TCC, IAF y HT; por el contrario, cuando se contó con insuficiente acumulación de GDD y limitada humedad en el suelo o reducida PREC, así como poca RS, la respuesta en TCC, IAF y HT fue escasa. En condiciones de riego y óptima fertilización, existe una estrecha relación entre la temperatura y la producción de MS⁽¹⁷⁾. Además, el pasto buffel comienza su crecimiento al final del invierno o inicio de la primavera y continúa hasta mediados del otoño cuando el clima fresco lo afecta

increased temperature (GDD, SR, ET and HTUs). When high rainfall and/or high soil moisture matched hot weather, increased CGR, LAI, and LS were obtained. On the other hand, when insufficient cumulative GDD coincided with limited soil humidity and decreased PREC and low SR, scarce responses in CGR, LAI and LS were obtained. Under irrigation + optimum fertilization conditions, a close relationship exists between temperature and DM production⁽¹⁷⁾. In addition, buffel grass starts to grow from late winter/early spring and until mid fall, when cool weather exerts a negative impact on growth. Likewise, high summer temperatures can limit buffel grass growth, but high soil moisture levels can promote the development of green forage, available for grazing cattle⁽²⁶⁾. Low winter temperatures and those with values ≤0 °C (frosting) are the main factors marking the growing season limits for tropical gramineous plants.⁽²⁷⁾

The second component (PC2) moderately associated the DL ratio (r= 0.53) with environmental conditions. DL showed a positive relationship with variables ET, SR, and HTUs, all of which were

en forma negativa al reducir su crecimiento. Así mismo, las altas temperaturas del verano pueden limitar su crecimiento, aunque con adecuada humedad en el suelo, se puede tener forraje verde para el pastoreo de los animales⁽²⁶⁾. Las bajas temperaturas del invierno y aquéllas cuyo valor es menor o igual a 0 °C (heladas), son los principales factores que fijan los límites de la estación de crecimiento de las gramíneas tropicales⁽²⁷⁾.

El segundo componente (CP2) asoció la relación MV moderadamente ($r=0.53$) con las condiciones del ambiente, MV se asoció en forma positiva con las variables ET, RS y UHT y todas ellas en forma positiva con CP2, pero además, MV se asoció en forma negativa con PREC, HS20 y HS40 y éstas también en forma negativa con el CP2. Lo anterior indica que condiciones de alta temperatura y baja humedad produjeron una alta proporción de material muerto. Estas condiciones son propias de la sequía intraestival o de medio verano.

Al conjugar condiciones de mucha RS, y UHT, propiciaron una alta ET, que también fue afectada por el viento seco que predomina durante la primavera y parte del verano en esta zona, y cuya dirección dominante es este-sureste (ESE), con velocidad media de 4.8 km h⁻¹ y velocidad máxima de hasta 24.1 km h⁻¹.

Aunado a lo anterior, si existe poca humedad en el suelo y no ocurren eventos de PREC, habrá poco o ningún crecimiento del Buffel (dormancia), el suelo se seca rápidamente y origina estrés en la planta, lo que se puede constatar por los bajos valores en la tensión hídrica que se produce en el xilema para succionar el agua del suelo, que en algunas ocasiones fue de -30 a -35 atmósferas (Gómez E., datos sin publicar) lo que condujo a una mayor MV. En otras condiciones, sucesos de mayor PREC, favorecerían por lo general el crecimiento del pasto buffel, siempre y cuando no se presentaran valores muy bajos de RS, UHT y ET. El CP2 explicó el 23.7 % de la variabilidad total.

Esta relación de MV soporta la evidencia de que el buffel como otras gramíneas tropicales con ruta de fotosíntesis C4, tienen una ventaja de selección

posiblemente relacionada con PC2. In addition DL showed negative relationships with PREC, SM20, and SM40, and all these three variables also showed a negative relationship with PC2. This means that high temperature/low humidity conditions resulted in a high proportion of dead material. These conditions are typical of intra-estival (mid summer) drought.

The high SR/high UHT combination resulted in high ET, but this was also affected by the dry winds prevailing during spring and early summer in this area, that blow in the east-southeast (E-SE) direction, with mean and maximum wind speeds of 4.8 and 34.1 km h⁻¹, respectively

In addition to the statements above, buffel grass will enter a dormancy stage (little or no growth) under low soil humidity/no rainfall conditions. The soil dries off quickly hence stressing the plant. This is expressed by low water tension values in the xylem to suck water from the soil, which sometimes was -30 to -35 atmospheres (Gómez E., unpublished data) resulting in increased DL. Under different conditions, higher PREC events would typically promote the growth of buffel grass, as far as SR, HTUs, and ET values are not extremely low. PC2 explained 23.7 % of total variability.

This DL ratio supports the evidence that –like other tropical gramineous plants with C4 photosynthetic paths– buffel grass has a selection advantage in environments with high radiation, high temperature, and limited water supply during active growth periods⁽²⁸⁾.

Principal component 3 (PC3) combined the variability of both LS and DL. The leaf: stem ratio showed a positive relationship with PC3, but PC3 showed a negative relationship with DL. Higher LS might be associated with early phenologic stages (vegetative growth) or stem elongation. This means a lower amount of senescent material. On the other hand, a lower LS can possibly mean that the plant is in more advanced stages of growth (flowering or grain maturity), with a higher amount of senescent or dead material. Conglomerate analysis determined that three groups were sufficient to cover the variation of the observations (Table 3).

Cuadro 3. Promedio y desviación estándar de las variables estudiadas para cada uno de los grupos formados

Table 3. Per-group mean and standard deviation of variables studied

Number of observations	Groups					
	1		2		3	
	81		57		66	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Rainfall, mm	54.63	± 71.9	101.62	± 105.3	43.245	± 56.4
Moisture 20 cm, %	11.65	± 5.1	13.56	± 4.5	9.486	± 2.8
Moisture 40 cm, %	11.62	± 4.6	13.89	± 4.9	9.525	± 2.8
Growing degree days	353.01	± 90.9	501.83	± 42.4	167.325	± 76.5
Evapotranspiration, mm	106.69	± 34.0	174.34	± 25.7	47.902	± 9.8
Radiation, Cal cm ⁻² d ⁻¹	10887.70	± 666.7	13154.64	± 1032.1	7590.890	± 1054.6
Heliothermal units	2685.61	± 602.8	4333.64	± 579.4	1178.391	± 511.5
Crop growth rate, kg ha ⁻¹ d ⁻¹	16.36	± 14.4	28.56	± 23.3	5.106	± 7.8
Leaf area index	0.40	± 0.4	0.64	± 0.4	0.192	± 0.2
Leaf:stem ratio	0.84	± 0.5	1.49	± 0.7	0.651	± 1.0
Dead tissue:live tissue ratio	0.11	± 0.1	0.12	± 0.1	0.050	± 0.1

SD= Standard deviation.

en ambientes que experimentan alta irradiación, altas temperaturas y limitación en el aporte de agua durante los períodos de crecimiento activo⁽²⁸⁾.

El componente principal 3 (CP3) conjuntó la variabilidad de HT y MV. La razón hoja:tallo se asoció en forma positiva con el CP3 pero negativa respecto a MV. Una mayor HT probablemente tiene que ver con etapas fenológicas tempranas (crecimiento vegetativo) o de elongación de tallos, que implican menor cantidad de material senescente, por el contrario, baja HT puede indicar posiblemente que la planta se encuentre en etapas más avanzadas de desarrollo (floración o madurez de grano) con mayor cantidad de tejido senescente o muerto. El análisis de conglomerados determinó que tres grupos fueron suficientes para cubrir la variación de las observaciones (Cuadro 3).

El grupo 1 (G1), consistió de 81 observaciones, cuyo crecimiento sucedió al principio de la primavera o al final del otoño, paralelo a eventos de PREC entre 0 y 100 mm, con la mayor variabilidad de HS20 y HS40 de los grupos conformados, la acumulación de GDD, RS y UHT

Group 1 (G1), consisted of 81 observations with growth occurring during early spring or late fall, parallel to PREC events (0 - 100 mm), with the highest variability in SM20 and SM40 of the groups conformed. Cumulative GDD, SR, and HTUs were generally favorable for plant growth, so that when these factors coincided with good PREC events, CGR reached an average of 30 kg ha⁻¹ d⁻¹.

Group 2 (G2) included 57 observations. In general, plant growth occurred under better cumulative GDD, SR, ET, and HTU conditions, as well as better PREC, SM20 and SM40, when compared with G1 and G3 (Table 3). Therefore, average CGR, LAI, and LS were higher than those reported for G1 and G3. These observations revealed improved nutrient values, since they showed 1.5 LS as an average.

Group 3 (G3) with 66 observations, most of them in winter, experienced scarce/insignificant PREC events and low HS when compared with G1 and G2, with scarce cumulative GDD, SR, and HTUs, thus an exiguous CGR. Both LS and DL ratios in G3 were similarly low, meaning null or extremely

fueron por lo general favorables para el crecimiento, por ello, cuando coincidieron con buenos eventos de PREC, la TCC llegó a ser en promedio de 30 kg ha⁻¹ d⁻¹.

El grupo 2 (G2) estuvo conformado por 57 observaciones, que en general crecieron en mejores condiciones de acumulación de GDD, RS, ET y UHT, así como de PREC, HS20 y HS40, en relación a G1 y G3 (Cuadro 3), por ello, la TCC, IAF y HT resultaron en promedio superiores a los valores reportados para G1 y G3. Estas observaciones revelaron un mejor valor nutritivo al presentar 1.5 de HT como promedio.

El grupo 3 (G3) con 66 observaciones, en su mayoría registradas durante el invierno coincidieron con escasos e insignificantes eventos de PREC y baja HS respecto a G1 y G2, tuvieron escasa acumulación de GDD, RS y UHT, y por consecuencia su TCC fue exigua, también su razón HT así como MV resultaron igualmente bajas, lo que indica un nulo o muy bajo crecimiento del buffel. Sin embargo, este grupo contiene algunas observaciones que presentaron buenas condiciones de humedad en el suelo durante la segunda quincena de octubre del 2000, ubicadas a la derecha y abajo en G3 (Figura 1), pero con insuficiente acumulación de GDD, RS y UHT que influyeron para que el crecimiento del pasto Buffel fuera de 25 kg ha⁻¹ d⁻¹.

La prueba T² de Hotelling determinó diferencias altamente significativas [T²= 509.45, F(11,126) = 42.9, P< 0.01] entre G1 y G2. G2 superó (P< 0.05) a G1, excepto en MV. Las observaciones correspondieron a crecimientos de primavera y otoño (G1) contra aquéllas de verano (G2).

También se encontró diferencia [T²= 716.58, F(11,135)= 60.65, P< 0.01] entre G1 y G3, que corresponden a observaciones de primavera u otoño contra aquéllas de invierno. Las variables PREC y HT no resultaron diferentes entre ambos grupos, G1 resultó superior (P< 0.05) a G3.

Se encontró diferencia [T²= 2425.63, F(11,111)= 202, P< 0.01] entre G2 y G3, que corresponden a observaciones de crecimiento ocurridos durante el verano contra aquéllos ocurridos en el invierno.

low growth of buffel grass. Nevertheless, this group also included some observations with good soil moisture conditions during the second half of October 2000, located in G3 lower right (Figure 1), but with insufficient accumulation of GDD, SR, and HTUs, accounting for buffelgrass growth of 25 kg ha⁻¹ d⁻¹.

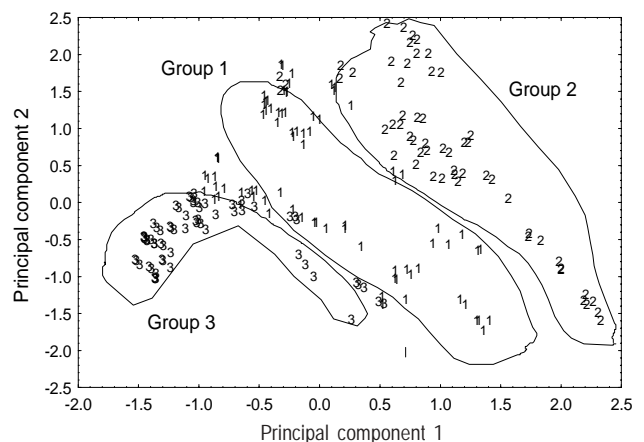
Hotelling's T² test determined highly significant differences [T²= 509.45, F(11,126)= 42.9, P< 0.01] between G1 and G2. G2 was better (P< 0.05) than G1, except in DL. Observations corresponded to plant growth in spring and fall (G1) vs. summer growth (G2).

A difference was also found [T²= 716.58, F(11,135)= 60.65, P< 0.01] between G1 and G3, that corresponded to spring or fall observations vs winter observations. The variables PREC and LS were not different between both groups: G1 was higher (P< 0.05) than G3.

A difference [T²= 2425.63, F(11,111)= 202, P< 0.01] was found between G2 and G3, corresponding to buffel grass summer vs. winter growth observations. All variables were different (P< 0.05). G2 was higher (P< 0.01) than G3.

Figura 1. Crecimiento del buffel en cada conglomerado dentro de los componentes principales 1 y 2

Figure 1. Buffelgrass growth observations in each cluster across the two principal components



Todas las variables fueron diferentes ($P < 0.05$), G2 fue superior ($P < 0.01$) a G3.

La TCC de G1 varió desde 10 kg ha⁻¹ d⁻¹ obtenido al inicio de la primavera con poca PREC y escasa acumulación de GDD, hasta 63 kg ha⁻¹ d⁻¹ registrados al inicio del otoño, y caracterizado por regular acumulación de GDD y eventos de PREC.

Por otra parte, la TCC de G2 varió desde 6 kg ha⁻¹ d⁻¹, con gran acumulación de GDD, RS y UHT y escasos eventos de PREC (sequía de medio verano o intraestival), con presencia de viento seco procedente del este-sureste, hasta aquéllas TCC de 83 kg ha⁻¹ d⁻¹ que contaron con acumulación de GDD, RS, UHT y alta ET, pero también con eventos de PREC que aumentaron la disponibilidad de humedad en el suelo que favoreció el crecimiento del pasto buffel. Para G3 la TCC se le consideró de baja a nula.

Al observar la TCC a través del tiempo (Figura 2) se aprecian dos cúspides, correspondientes a los meses de septiembre de 1999 y julio del 2000, respectivamente. Aunque, al final de la curva existe una tercera protuberancia de menor tamaño, correspondiente al mes de noviembre, ésta se moldeó por observaciones cuyo crecimiento tuvo disponibilidad de humedad pero insuficiente acumulación de GDD. Se observan dos valles que reflejan las condiciones del invierno y principio de la primavera de ambos años, 1999 y 2000, caracterizadas por escasa PREC y baja a regular acumulación de GDD, que implicó nulo o escaso crecimiento del buffel.

Dada la variabilidad existente en los elementos atmosféricos y humedad del suelo a través del año y el efecto que tuvieron en el crecimiento del pasto, se procedió a determinar las mejores relaciones con las variables de respuesta TCC, IAF, HT y MV para G1 y G2 (Cuadro 4), grupos que aglutinaron las observaciones con crecimiento en buffel.

Los resultados para G1 mostraron que HS20 explicó el 77 % de la variabilidad de TCC con un modelo logístico; así, la TCC se incrementó conforme aumentó HS20 hasta alcanzar un punto de inflexión alrededor del 20 % en HS20, donde se aproxima a un valor asintótico final de 50 kg ha⁻¹ d⁻¹.

CGR in G1 varied from 10 kg ha⁻¹ d⁻¹ in early spring with limited PREC and scarce cumulative GDD, up to 63 kg ha⁻¹ d⁻¹ in early fall, characterized by medium cumulative GDD, and medium PREC events.

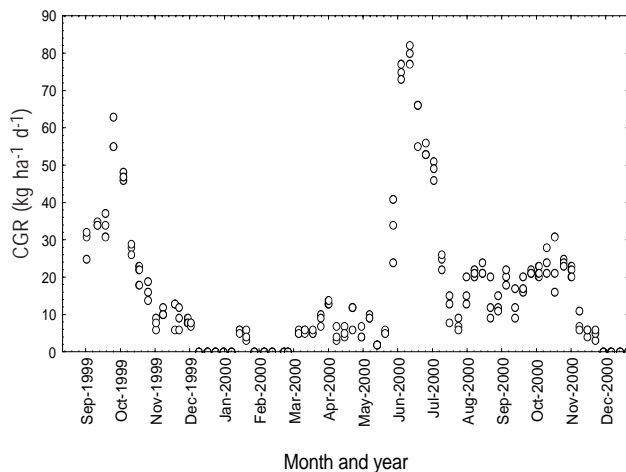
On the other hand, CGR in G2 varied from 6 kg ha⁻¹ d⁻¹, with large cumulative GDD, SR, and HTUs, with scarce PREC events (mid summer [intra-estival] drought), with dry winds blowing from the southeast, up to 83 kg ha⁻¹ d⁻¹, with accumulation of GDD, SR, HTUs, and high ET, but also with PREC events that increased soil water availability, therefore promoting buffel grass growth. CGR was considered low to null in G3.

When looking at CGR throughout the time (Figure 2), two peaks (September 1999 and July 2000) can be seen. At the end of the curve a 3rd, smaller peak (November 2000) corresponding to growth observations with humidity availability but insufficient GDD accumulation can be seen. Two valleys exist, reflecting winter 1999 and early spring 2000, characterized by scarce PREC and low-to-medium cumulative GDD, resulting in null-to-scarce buffel grass growth.

Given the variability in atmospheric elements and soil moisture that prevailed throughout the year,

Figura 2. Tasa de crecimiento del buffel durante el tiempo de muestreo

Figure 2. Crop growth rate (CGR) of buffelgrass observations during the sample period



Este comportamiento puede explicarse por la escasa acumulación de GDD que se registra al final del año en la región, no obstante la ocurrencia de importantes eventos de PREC y, por consecuencia, incremento en HS20, la TCC del buffel responde hasta cierto límite, donde existe un techo que actúa como frontera de su posible crecimiento. El error estandard de la

and their impact on buffel grass growth, the best relationships were determined with the response variables (CGR, LAI, LS and DL) for G1 and G2 (Table 4). These groups gathered buffel grass growth observations.

G1 results showed that SM20 explained 77 % of CGR variability under a logistics model. This way,

Cuadro 4. Predicción de características de crecimiento con las variables del ambiente para los Grupos 1 y 2 conformados con el análisis de conglomerados, para pasto buffel

Table 4. Growth trait prediction using environmental variables for Groups 1 and 2 conformed with the conglomerates analysis for buffelgrass

Response Variable	Equation	R ²	SE
Group 1			
CGR	58.54 / (1 + 40.233 e ^(-0.216 SM20))	0.77 **	7.00
	55.937 / (1 + 63.19 e ^(-0.26 SM40))	0.77 **	6.90
	((7.2) (3848680200)+ (33.54) (PREC) ^{5.5}) / (3848680200+ (PREC) ^{5.5})	0.67 **	8.40
LAI	1.7581/(1+ 88.04 e ^(-0.244 SM20))	0.81 **	0.18
	1.574519 / (1+ 116.226 e ^(-0.285 SM40))	0.74 **	0.20
	1.2588 / (1+ 9.33427 e ^(-0.02977 PREC))	0.55 **	0.16
LS	1.0865 / (1 + 461.449 e ^(-0.854 SM20))	0.31 **	0.41
	0.69 (1.647 - e ^(- 0.051* PREC))	0.28 **	0.41
	1.05 / (1 + 148711.4 e ^(-1.6 SM40))	0.29 **	0.41
DL	1 / (-177.56 + 153.895 SM40 ^{0.0827})	0.66 **	0.06
	(18242001+958207.76 (SM20))/(506121.69 (SM20) + 2013829.7 (SM20) ²)	0.53 **	0.08
	1 / (5.112 + (0.007) (PREC) ^(1.55))	0.35 **	0.09
Group 2			
CGR	(12.856297)(1.0058064)(PREC)	0.85 **	9.40
	3888.5227 / (1 + 1393.9051 e ^(-0.15380891 SM20))	0.71 **	12.97
	641.066 / (1 + 158.77175 e ^(- 0.13152234 SM40))	0.45 **	17.70
LAI	(0.34316154) (1.004754) ^{PREC}	0.74 **	0.23
	(1.8554432 - 0.044992872 SM20) ^(- 1 / 0.35631614)	0.52 **	0.36
	(1.7707783 - 0.038248272 SM40) (-1 / 0.38748154)	0.29 **	0.38
LS	1 / (24.314307 - 3.7895066 Ln(GDD))	0.15 **	0.64
	1.7149 - 0.0018 (PREC)	0.06 **	0.68
	0.41 + 0.187 SM20 - 0.007 (SM20) ²	0.04 *	0.19
DL	1 / (-591.76 + 96.6 ln (GDD))	0.22 **	0.07
	1 / (-105.66 + 22.415 log(ET))	0.20 *	0.07

CGR = crop growth rate (kg ha⁻¹ d⁻¹); LAI = leaf area index; LS=leaf:stem ratio; DL = dead tissue:live tissue ratio; SM20=soil moisture at 20 cm; PREC = rainfall; ET = evapotranspiration.

R² = determination coefficient.

SE = standard error of the estimate.

SM20 = soil moisture at 20 cm; SM40 = soil moisture at 40 cm; GDD=growing degree days.

* (P<0.05); ** (P<0.01).

estimación (EE) registrado para este modelo fue alto (Cuadro 4).

La HS40 logra explicar en el mismo sentido el comportamiento de la TCC; sin embargo, la PREC explica menos del 70 % de la variabilidad de la TCC y EE fue el más alto de los tres mejores modelos reportados, todos de la familia sigmoide. El IAF fue mejor explicado por HS20 y > HS40 (R^2 0.70), ya que PREC explicó menos del 60 % de la variación de IAF. La HS20 logró el mejor ajuste con de un modelo logístico. Para HT los modelos reportados resultaron significativos, aunque se consideró a HS20 el mejor modelo, sólo logra responder por el 31 % de la variabilidad de HT, y el EE se observa elevado para todos los modelos que explicaron esta variable. En general, la razón MV declinó antes del 10 % de HS40 y se mantuvo constante después del 15 % de HS40. La ecuación que mejor explicó MV en función de HS40 fue un modelo rendimiento-densidad (modelo de Harris)^(29,30) (Cuadro 4). El estrés hídrico acelera la senescencia de las hojas y ocurre cuando el crecimiento se ve restringido por falta de agua disponible para las plantas en el suelo⁽³¹⁻³⁵⁾, lo que al parecer originó un incremento en MV. Cuando no existe estrés hídrico, la senescencia natural se origina por la propia fenología de la planta y el efecto del sombreado⁽³⁶⁾.

Para G2, la PREC fue responsable del 85 % de la variabilidad de la TCC, con un regular a alto EE, el modelo es del tipo exponencial, sin puntos de inflexión en los datos explorados. Las condiciones de GDD, RS y UHT durante el verano favorecen el crecimiento cuando convergen con eventos importantes de PREC. También la HS20 predice ($R^2 > 0.70$) la TCC. La PREC logró explicar el 86 % de la variabilidad del IAF con un regular estimador del error. Para G2, los modelos propuestos para explicar tanto HT como MV aunque resultaron significativos ($P < 0.05$), su R^2 fue baja.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La precipitación en la zona centro de estado de Tamaulipas es muy variable, no obstante, se puede predecir el comportamiento de la tasa de crecimiento del cultivo en pasto buffel con un cierto grado de

CGR increased as SM20 increased up to a breakpoint of 20 % SM20, where it approaches a final asymptotic point of 50 kg ha⁻¹ d⁻¹.

This behavior can be explained by the scarce cumulative GDD recorded at year end in the region, despite of the occurrence of important PREC events, hence increased SM20. Buffelgrass CGR responds up to a certain limit (ceiling) that acts as its maximum possible growth. The standard error of the estimate (SE) recorded for this model was high (Table 4).

In the same line, SM40 can explain the behavior of CGR. Nevertheless, PREC explains < 70% of CGR variability, while the SE was the highest of all three best models reported, all of them in the sigmoid class. LAI was best explained by both SM20 and SM40 (R^2 0.70), since PREC explained < 60 %> LAI variation. The best SM20 adjustment was obtained by a logistics model. For LS, the models reported were significant. Even though SM20 was considered to be the best model, it can only respond for 31 % LS variability, and the SE is high for all the models that explained this variable. Generally, the DL ratio declined before 10 % SM40, and it remained constant after 15 % SM40. The equation that best explained DL as a function of SM40 was a yield/density model (Harris' model)^(29, 30) (Table 4). Water stress speeds up leaf senescence, matching the time when growth is restricted by the limited water availability for plants in the soil⁽³¹⁻³⁵⁾. This seemed to result in increased DL. In the absence of water stress, natural senescence is the result of both plants' phenology and shading effect⁽³⁶⁾.

In G2, PREC was responsible for 85 % CGR variability, with a medium-to-high SE. The model is of the exponential type, with no breakpoints on the data analyzed. Summer GDD, SR, and UHT conditions promote plant growth when important PREC coexist. Similarly, SM20 predicts ($R^2 > 0.70$) CGR. PREC explained 86 % LAI variability with a medium SE. For G2, the models proposed to explain both LS and DL were significant ($P < 0.05$) but their R^2 was low.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

In central Tamaulipas rainfall is extremely variable. Nevertheless, buffel grass growth rate can be

confiabilidad en las estaciones de verano y otoño. El elemento que limitó el crecimiento del pasto Buffel durante el verano fue la precipitación y la capacidad de disponibilidad de humedad en el perfil del suelo. El buffel responde de manera secundaria en su tasa de crecimiento del cultivo a eventos de precipitación que ocurran a partir del mes de octubre hasta febrero, principalmente por la escasa acumulación de GDD y horas brillo solar. La razón hoja:tallo y razón tejido muerto:tejido vivo durante el verano responden de manera compleja a las condiciones del ambiente y no fue posible predecirlas en forma confiable con los datos recabados. Al inicio de la primavera no ocurrieron eventos de precipitación que incidieran de manera importante en el crecimiento del pasto por lo que no se encontró relación entre éste y las variables de humedad. Es recomendable ampliar la información de este trabajo para tener una gama de años malos, regulares y buenos en cuanto a precipitación, eventos de heladas, etc.

predicted up to a certain level of reliability during summer and fall. The elements limiting growth in summer were rainfall and soil moisture availability profile. Buffel grass growth responds secondarily to rainfall events from October to February, mainly due to scarce cumulative GDD and sunshine hours. Leaf:stem ratio and dead tissue:live tissue ratio responds in a complex manner to environmental conditions. These two ratios could not be reliably predicted using the data gathered. During early spring no rainfall events occurred as to exert an important impact on buffel grass growth, hence no relationship was found between both rainfall and humidity/moisture variables. Extending the information reported herein in order to obtain data (rainfall, frosting events, etc.) in a range of poor, mean and good years is recommended.

End of english version

LITERATURA CITADA

1. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación en el Estado de Coahuila; Subdelegación Agropecuaria. Anuario estadístico de Coahuila de Zaragoza. Edición 2004. Ganadería [en línea]. Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/USIEG/anuarios/coahuila/Ganaderia.xls>. Consultado 12 de enero del 2006.
2. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación en el Estado de Nuevo León; Subdelegación Agropecuaria. Anuario estadístico de Nuevo León. Edición 2004. Ganadería [en línea]. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/USIEG/anuarios/nuevo_leon/Ganaderia.xls. Consultado 12 de enero del 2006.
3. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación en el Estado de Tamaulipas; Subdelegación Agropecuaria. Anuario estadístico de Tamaulipas. Edición 2004. Ganadería [en línea]. Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/USIEG/anuarios/tamaulipas/Ganaderia.xls>. Consultado 12 de enero del 2006.
4. Hanselka CW. Buffelgrass-South Texas Gonder Grass. *Rangelands*. 1988; 10(6):279-281.
5. Saldívar FA, Ecosistemas del zacate Buffel en Tamaulipas. En: *Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel*. Simposium Internacional. Séptimo congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales, SOMMAP. Cd. Victoria, Tam. México. 1991;42-51.
6. Ibarra FF, Martín MR, Cajal C, Lizárraga del C MG, Gastelum E, Sau MN, Velásquez M. The important of Buffelgrass to the use of native rangelands/recommendations for its establishment and management. In: *Regional Research*. 4th. International Symposium on livestock [In Spanish]. Hermosillo, Sonora, México. 1987:96-122.
7. Díaz SH, Saldívar FA, López DU. Pasture forage production in Northeastern Mexico. In: *Management of Grazinglands in Northern Mexico and South Texas*. Workshop. Laredo, Texas. 1998:61-67.
8. Saldívar FA. Ecosistemas del zacate Buffel en Tamaulipas. En: *Simposium Internacional del zacate Buffel (Aprovechamiento integral del zacate Buffel)*. 1991.
9. Ibarra FF, Efecto del suelo y clima en el establecimiento y persistencia del zacate Buffel en México y sur de Texas. En: *Simposium Internacional del zacate Buffel (Aprovechamiento integral del zacate Buffel)*. 1991
10. Sweeney FC, Hopkinson KM. Vegetative growth of nineteen tropical and subtropical pasture grass and legumes in relation to temperature. *Tropical Grasslands* 1975;(9):209-217.
11. Ibarra FA, Martín MR. Establecimiento del zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) En: *Guía práctica para el establecimiento, manejo y utilización del zacate Buffel* 1995;15-30.
12. Anslow RC, Green JO. The seasonal growth of pasture grasses. *J. Agric Sci* 1967;68:109-122.
13. Morgan JA, Brown RH. Photosynthesis and growth of bermudagrass swards. II. Growth patterns as estimating by harvest and gas exchange techniques. *Crop Sci* 1983;23:352-357.
14. Roberts AH, Thomson NA. Seasonal distribution of pasture production in New Zealand. *N Z J Exp Agric* 1984;12:83-92.
15. Beltrán-López S, Hernández-Garay A, García-Moya E, Pérez-Pérez J, Kohashi-Shibatha J, Herrera-Haro JG, *et al.* Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en un invernadero. *Agrociencia* 2005;39(2):137-147.

PATRÓN DE CRECIMIENTO DE PASTO BUFFEL

16. Ramírez AL. Producción estacional del pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en la región Norte-Centro de Yucatán [resumen]. Reunión nacional de la Asociación Mexicana de Producción Animal. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 1987:94.
17. Gutiérrez CJ. Producción estacional y dinámica interespecifica de una mezcla de especies forrajeras perennes irrigadas [tesis maestría]. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila. 1993.
18. Rajput RP. Response of soybean crop to climate and soil environments. [Doctoral thesis]. IARI, New Delhi, India. 1980.
19. Cox JR, Martin MH, Ibarra FA, Fourie JH, Rethman NFG, Wilcox DG. The influence of climate and soils on the distribution of four African grasses. *J Range Manage* 1988;41(2):127-139.
20. Martin RM-H, Cox RJ, Ibarra F. Climatic effects on Buffelgrass in the Sonoran Desert. *J Range Manage* 1995;48:60-63.
21. Keulen HVan, Wolf J. Modelling of agricultural production: Weather, soils and crops. Simulation monographs. Centre for agricultural and documentation, Wageningen, The Netherlands. 1986.
22. SAS Institute Inc. User's guide. Statistics. Version 6. Forth Edition. SAS Inc. Carey. North Carolina. E.U.A. 1995.
23. Rodrigues LR, Rodrigues JD. Ecofisiología de plantas forrajeras. In: Ecofisiología da produção agrícola. Castro PRC, Ferreira SO, Yamada T editors. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Brazil. 1994:203-230.
24. Aitken I. Flowering time, Climate and Genotype. The Adaptation of Agricultural Species to Climate through Flowering Responses. Australia: Melbourne Univer Press; 1974.
25. Briske DD, Richards JH. Plant responses to defoliation. A physiological, morphological, and demographic evaluation. In: Wildland plants: Physiological ecology and developmental morphology. Bedunah DJ, Sosebee RE editors. Denver. CO. *Soc Range Manage* 1995:635-670.
26. White LD, Wolfe D. Nutritional value of common Buffelgrass. In: Runge, ECA, Schuster JL editors. Buffelgrass: Adaptation, management and forage quality symposium. Texas Agr Exp Sta MP-1575. College Station, TX. 1985:13-24.
27. Whiteman PC. Pasture plant physiology. In: Management of improved pastures. University of Queensland, St. Lucia. 1975:1-18.
28. McWilliam JR. Response of pasture plants to temperature. In: Plant relations in pastures. Wilson RJ editor, CSIRO, Australia. 1978:17-34.
29. Farazdaghi H, Harris PM. Plant competition and crop yield. *Nature* 1968;217:289-290.
30. Landsberg JJ. Some useful equations for biological studies. *Expl Agric* 1977;13:273-286.
31. López DU, Cruz CC, Becerra DG. Crecimiento y desarrollo del zacate Buffel bajo diferentes condiciones de estrés hídrico, 2. Fase adulta [resumen]. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Cd. Victoria, Tamaulipas. 1991:297.
32. Humphreys LR. Environmental adaptation of tropical pasture plants. First Ed. MacMillan publishers LTD editors. Great Britain. 1981.
33. Bonachela CS. A model of a perennial grass (*Andropogon gayanus*) for West Africa (PGWA): description and user's guide. Rapports PSS No. 2. Wageningen, Netherlands. 1995.
34. Peake DCI, Henzell EF, Stirk GR, Peake A. Simulation of changes in herbage biomass and drought response of Buffel grass (*Cenchrus ciliaris* cv. Biloela) in southern Queensland. *Agro Ecosystems* 1979;5:23-40.
35. Street HE, Helgi Ö. The Physiology of flowering plants. Their growth and development. American Elsevier Publishing Company, Inc. New York, NY. 1970.
36. Hodgson J. Grazing management (Science into practice). First ed. UK: Longman Group; 1990.

