

LAS CURVAS DE DILUCIÓN DE LA PROTEÍNA COMO ALTERNATIVA PARA LA EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES

Protein dilution curves as an alternative for the evaluation of tropical grasses

J Juárez-Hernández ✉, ED Bolaños-Aguilar

(JJH) Petroleum Multiple Services S. A. de C. V. Rosaura Priego 5. Col. P. E. Calles. C. P. 86170. Villahermosa, Tabasco. mvzjuarez2006@yahoo.com.mx (EDBA) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP.

Ensayo recibido: 03 de abril de 2005, aceptado: 16 de abril del 2007

RESUMEN. El objetivo fue conocer la importancia de usar las curvas de dilución de la proteína para la evaluación de pastos tropicales. Se encontró que las curvas de dilución de la proteína fueron desarrolladas y usadas para conocer el estado nutricional de la planta en diferentes condiciones ambientales de crecimiento. Actualmente ha sido propuesto su uso en programas de selección para obtener genotipos con el mayor contenido de proteína por unidad de materia seca producida. Lo anterior es debido a que el contenido de proteína y la producción de materia seca están correlacionados negativamente, lo que dificulta la selección de pastos. Las curvas de dilución de la proteína permiten la evaluación simultánea de la producción de materia seca y el contenido de proteína en los pastos y resuelven el problema de la relación negativa entre estos dos factores. Recientes trabajos de investigación han reportado que las curvas de dilución de la proteína son una metodología alternativa para seleccionar pastos con alto contenido de proteína por cada unidad de materia seca acumulada debido al crecimiento de la planta.

Palabras clave: Materia seca, nitrógeno, modelos dinámicos, *Brachiaria*.

ABSTRACT. The objective of this study was to determine the importance of using protein dilution curves to evaluate tropical grasses. The protein dilution curves were developed and used to determine the nutritional state of a plant under different environmental conditions for growth. At present, it has been proposed they be used in selection programs to obtain genotypes with the greatest protein content per unit of dry matter produced. This is because the protein content and the production of dry matter are negatively correlated, which makes it difficult to select grasses. The protein dilution curves make it possible to simultaneously evaluate the dry matter production and the protein content in the grasses, and solve the problem of the negative correlation between these two factors. Recent research has reported that the protein dilution curves constitute an alternative method for selecting grasses with a high protein content per unit of accumulated dry matter produced by the plant growth.

Key words: Dry matter, nitrogen, dynamic models, *Brachiaria*.

INTRODUCCIÓN

La producción de rumiantes se basa en el uso de forrajes como una de sus principales fuentes de alimentación (Lemaire *et al.* 2000), por lo que se han utilizado gramíneas forrajeras para corte o para pastoreo (Orskov 1993), en la producción de carne o leche en bovinos principalmente. La cantidad y calidad de los pastos tropicales depende de diferentes factores, los cuales pueden ser inherentes al ambiente y/o a la especie (McIlroy 1991; Cruz & Moreno 1992; Lemaire *et al.* 2000). Por otra parte, las evaluaciones de forrajes tropicales consideran diversas variables de producción y de nutrición (Muchovej & Mullahey 1997; Gates *et al.* 2001), pero cada una

de ellas es analizada de forma independiente. Dichas evaluaciones se han basado en la metodología propuesta por Toledo & Schultze-Kraft (1982). Los resultados reportados muestran que a una mayor edad de corte del pasto corresponde una mayor producción de materia seca y un menor contenido de proteína (Abaunza *et al.* 1991; Costa & Cruz 1994; Villarreal 1994). La producción de materia seca y el contenido de proteína son dos de las variables que mayormente han sido utilizadas en la evaluación de pastos, sin embargo, ambas variables se correlacionan negativamente. Lo anterior significa que si un pasto se selecciona por su producción forrajera, esto puede ir en detrimento de su valor en proteína, y viceversa. De ahí la importancia de ofrecer

alternativas que permitan evaluar simultáneamente la producción de materia seca y el contenido de proteína en pastos tropicales. La presente tiene el objetivo de conocer la importancia del uso de las curvas de dilución de la proteína en la evaluación de pastos tropicales.

IMPORTANCIA ECONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PASTOS TROPICALES

La población ganadera de bovinos en México es superior a 30 millones de cabezas (SIAP 2003), se cuenta con aproximadamente 110 millones de hectáreas destinadas a la ganadería, de las cuales más del 50 % pertenece a regiones tropicales; después de la agricultura, la ganadería representa la actividad de mayor importancia en el sector primario de la economía en México (INEGI 2000). En el Sureste de México y en particular en el estado de Tabasco, región representativa del trópico húmedo, la ganadería se basa principalmente en el uso directo de los pastos. En esta localidad la superficie dedicada a la ganadería es superior a 1.6 millones de hectáreas, de las que más de la mitad corresponde a pastos no nativos (INEGI 1999). La producción bovina en dicha entidad genera más del 54 % del ingreso del sector pecuario y se desarrolla con cerca de 20 000 productores (De Dios 2001).

De acuerdo a Enríquez *et al.* (1999), los pastos utilizados en regiones tropicales pueden ser clasificados por el tipo de suelo en donde pueden ser utilizados. Así se tienen gramíneas para suelos inundables, para suelos no inundables y para suelos de baja fertilidad. Como ejemplo de gramíneas para suelos inundables se tienen: *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria mutica*, *Brachiaria arrecta*, *Echinochloa polystachya*, *Hemarthria altissima*, entre otras. Para suelos no inundables se destacan *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria dictyoneura*, *Cynodon dactylon*, *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon plectostachyus*, *Digitaria decumbens*, *Hyparrhenia rufa*, *Panicum maximum* y *Pennisetum purpureum*. Para suelos de baja fertilidad son los géneros *Brachiaria*, *Axonopus*, *Paspalum* e *Hyparrhenia*. Dada su plasticidad e importancia económica *Brachiaria*, *Panicum* y *Paspalum* son los

géneros más difundidos.

En los últimos 25 años el género *Brachiaria* ha cobrado importancia debido a su impacto económico, llegando a ocupar 70 millones de hectáreas en Brasil, dicha importancia económica se debe en parte a su exitoso establecimiento en áreas degradadas (Miles *et al.* 1996; Holnam *et al.* 2005). Esto último puede deberse a que este género tiene su origen en suelos de Sabana de África, teniendo además importancia ecológica (INEGI 2000).

Las *Brachiaria* de primera generación, en México y Centroamérica liberadas a finales de los años 80 e inicios de los 90, son las de mayor impacto, y recientemente las de segunda generación (híbridos de *Brachiaria* como el pasto Mulato) que en México representan más del 6.5 % de las praderas permanentes, principalmente en sistemas de producción de doble propósito (Holnam *et al.* 2005). El género *Panicum* también está ampliamente distribuido en regiones tropicales (Costa & Cruz 1994), donde se destaca el pasto Guinea (*P. maximum*) (Chacón-Moreno & Sarmiento 1995; Goncalves *et al.* 2003) y algunos de sus genotipos mejorados como Mom-baza, Tanzania, Tobiata y Coloniaio (Heinemann *et al.* 2005).

Paspalum representa un género cuyas especies nativas son predominantes en la composición botánica de praderas del trópico húmedo en México, junto con el género *Axonopus* (Enríquez *et al.* 1999). *Paspalum notatum* es una de las especies de mayor importancia económica en la ganadería por su alto valor nutritivo, producto de su elevada proporción hoja/tallo, así como también por su capacidad para tolerar bajas temperaturas gracias a una selección que ha buscado mejorar su adaptación a este tipo de estrés (Gates *et al.* 2001); además de que este pasto permite una adecuada producción animal principalmente en la época de Nortes (octubre a febrero) en el Sureste de México (Juárez *et al.* 2004). Sin embargo, siempre ha existido el problema de estacionalidad productiva y de reducida calidad en los pastos tropicales, por lo que resulta necesaria la selección de nuevas especies mediante criterios que garanticen maximizar las ganancias sin comprometer la producción de materia seca y el contenido de proteína.

EFFECTO DEL MEDIO Y DEL GENOTIPO EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA Y EL CONTENIDO DE PROTEÍNA EN PASTOS TROPICALES

En los pastos tropicales la producción de materia seca en la parte aérea depende del balance entre la tasa fotosintética y la tasa de respiración de la planta (Taiz & Zeiger 2002). La importancia de considerar la producción de materia seca en lugar de la producción de biomasa fresca (materia verde), es que se pueden comparar forrajes con diferente contenido de humedad y en diferentes condiciones ambientales. Por otro lado, la materia seca se incrementa conforme avanza la edad o crecimiento de la planta, siendo mayor la tasa de crecimiento de las especies tropicales cuando se registra la máxima precipitación pluvial (Abaunza *et al.* 1991; Villarreal 1994; Velasco *et al.* 2001). La consecuencia de esto último es una estacionalidad en cuanto a la producción de materia seca durante el año, es decir hay menor producción de materia seca en la época de escasa precipitación pluvial (época Seca) y también con menores temperaturas como en la época de Nortes. Una de las estrategias sería optimizar la utilización del excedente forrajero presente en la época de lluvias a través de los diferentes medios de conservación disponibles.

La estacionalidad de la producción forrajera se evidencia cuando los pastos pasan de la época de mínima precipitación a la época de máxima precipitación, por ejemplo, en *Andropogon gayanus* se incrementa su producción de materia seca de 2.26 a 11.34, en *Brachiaria dictyoneura* de 1.99 a 10.99, en *B. humidicola* de 1.91 a 7.81, en *B. decumbens* de 1.63 a 5.17, en *B. ruziziensis* de 1.07 a 4.17, en *Panicum maximum* de 1.24 a 5.21, en *Cynodon nlemfuensis* de 0.97 a 3.52 (Ayala & Basulto 1992) y en *Brachiaria radicans* de 1.2 a 2.4 t ha⁻¹ (Fernández *et al.* 2001). Estos cambios productivos en la producción de forraje de estos pastos muestran el efecto del medio, ya que un mismo pasto modifica su producción al pasar de una condición ambiental a otra como en el caso de la época del año y la fertilización (Juárez 2005). Para garantizar sustentabilidad, de lo anterior se destaca la importancia de un adecuado manejo de los sistemas de producción bovina en base a la planeación a lo largo del

año y atendiendo las necesidades nutricionales de mantenimiento y producción.

Por otra parte, a medida que se prolonga la edad de corte la producción de biomasa aumenta y se reduce el contenido de proteína (Abaunza *et al.* 1991; Costa & Cruz 1994; Villarreal 1994; Martín 1998; Velasco *et al.* 2001). El efecto del ambiente sobre la producción de forraje y el contenido de proteína se observa principalmente cuando las condiciones ambientales no son limitantes. Por ejemplo, Juárez (2005) reportó tasas de crecimiento de 0.133 t d⁻¹ cuando las condiciones edáficas y térmicas no fueron limitantes, mientras que en la época de mínima precipitación pluvial las mismas fueron de 0.032 t d⁻¹. El hecho de considerar únicamente el contenido de proteína puede resultar erróneo, ya que no se considera simultáneamente a la síntesis de forraje siendo que estos dos factores tienen una relación negativa. En la época de máxima precipitación pluvial del año se ha reportado una disminución en el contenido de proteína durante el crecimiento de las pasturas (Villarreal 1994). Por ello, algunos autores planteaban que al tener una menor reducción, el contenido de proteína se "concentra" en la época de mínima precipitación pluvial del año, y por el contrario al sufrir una mayor reducción, el contenido de proteína cruda sufre una "dilución". Se ha demostrado que hablar de "concentración" de la proteína en la época de mínima precipitación y de "dilución" en la época de máxima precipitación pluvial es erróneo, ya que independientemente de la época del año, el fenómeno biológico que se presenta es el mismo; Lemaire *et al.* (1985), Greenwood *et al.* (1990) y Marino *et al.* (2004) entre otros han denominado a dicho fenómeno "dilución del nitrógeno (N)", o lo que es lo mismo, dilución de la proteína (N x 6.25).

Cuando se analiza la producción de materia seca en diferentes genotipos de una misma especie sobresale el efecto del genotipo como puede observarse en la Tabla 1 y en la Figura 1. En esta última se muestra que a cada edad de corte el incremento en la producción de materia seca es diferente entre genotipos de *Brachiaria humidicola*, lo cual es importante por ser posiblemente indicativo de la plasticidad de dicho pasto.

La variación entre genotipos de una especie es producto de la característica sintética de las especies forrajeras, como fue demostrado en un estudio

Tabla 1. Producción de materia seca en genotipos de pastos tropicales.
Table 1. Dry matter production in genotypes of tropical grasses.

Genotipo	Producción de materia seca (t ha ⁻¹)	Referencia
<i>Cynodon dactylon</i> cv. Tifton-68	13.39	Hussey & Pinkerton (1990)
<i>Cynodon dactylon</i> cv. Local	12.23	"
<i>Cynodon dactylon</i> cv. Brazos	11.96	"
<i>Cynodon dactylon</i> cv. Coastal	11.31	"
<i>Cynodon dactylon</i> cv. Tifton-44	9.81	"
<i>Cynodon dactylon</i> cv. NK-37	8.10	"
<i>Paspalum notatum</i> cv. Pensacola	2.74	Muchovej & Mullahey (1997)
<i>Paspalum notatum</i> cv. Argentina	2.84	"
<i>Paspalum notatum</i> cv. Paraguay	3.06	"
<i>Paspalum notatum</i> cv. Tifton-7	3.35	"
<i>Paspalum notatum</i> cv. Tifton-9	3.70	"
<i>Pennisetum purpureum</i> cv. Mott	8.25	Macon et al. (2002)
<i>Pennisetum</i> sp. Híbrido S41	10.60	"
<i>Pennisetum</i> sp. Híbrido S4	7.40	"
<i>Pennisetum</i> sp. Híbrido 360	6.05	"
<i>Andropogon gayanus</i>	1.30	Juárez et al. (2004)
<i>Brachiaria decumbens</i>	3.30	"
<i>B. brizantha</i> × <i>B. ruziziensis</i>	3.20	"
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	2.80	"
<i>Brachiaria brizantha</i>	3.00	"
<i>Panicum maximum</i>	1.85	"
<i>Paspalum notatum</i>	1.55	"
<i>Brachiaria humidicola</i>	2.75	"

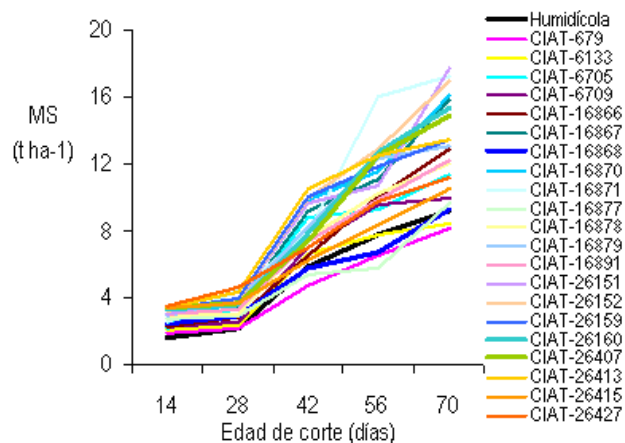


Figura 1. Producción de materia seca en diferentes genotipos de *Brachiaria humidicola*.

Figure 1. Dry matter production for different genotypes of *Brachiaria humidicola*.

de variabilidad genética inter e intraespecífica en forrajeras de clima templado (Bolaños-Aguilar *et al.* 2000). En cuanto a otras variables de respuesta, Kathju *et al.* (2001) en distintos genotipos de *Pennisetum glaucum* mostraron que, bajo las mismas

condiciones ambientales, existieron diferencias en la tasa neta de fotosíntesis, el contenido de clorofila, los carbohidratos solubles, el contenido de proteína soluble, los aminoácidos libres y el área foliar de los materiales evaluados.

Cuando se analiza el contenido de proteína entre diferentes genotipos de pastos tropicales, estos presentan diferencias entre los géneros y especies evaluadas (Tabla 2). Las diferencias entre hábitos de crecimiento, morfología y metabolismo carbonado determinan, entre otros factores, la variabilidad en el contenido de proteína de los pastos (Herrera 1983; Taiz & Zeiger 2002; Venuto *et al.* 2003). Ello explica las diferencias que se dieron entre las principales especies utilizadas en el trópico de la Tabla 2 y evaluadas bajo las mismas condiciones ambientales; lo que demuestra el efecto del genotipo sobre la producción y la calidad de forrajes tropicales.

Por otra parte, la relación negativa que existe entre la producción de forraje y el contenido de proteína, crea la necesidad de metodologías alternativas que permitan ponderar simultáneamente ambas variables. Al respecto, Lemaire & Salette (1984) indicaron que una simple comparación entre

Tabla 2. Contenido de proteína en genotipos de pastos tropicales.
Table 2. Protein content in genotypes of tropical grasses.

Genotipo	Contenido de proteína cruda (% MS)	Referencia
<i>Panicum maximum</i>	9.80 a 10.50	Costa & Cruz (1994)
<i>Paspalum notatum</i> cv. Pensacola	9.80 a 11.00	Muchovej & Mullahey (1997)
<i>Paspalum notatum</i> cv. Tifton-9	5.40 a 7.08	Muchovej & Mullahey (1997)
<i>Andropogon</i> spp.	2.30 a 8.60	Martín (1998)
<i>Axonopus</i> spp.	4.70 a 11.40	Martín (1998)
<i>Brachiaria</i> spp.	4.00 a 14.90	Martín (1998)
<i>Cynodon</i> spp.	5.70 a 13.80	Martín (1998)
<i>Digitaria</i> spp.	4.00 a 14.70	Martín (1998)
<i>Echinochloa</i> spp.	6.70 a 15.80	Martín (1998)
<i>Panicum</i> spp.	5.40 a 18.80	Martín (1998)
<i>Paspalum</i> spp.	4.30 a 13.00	Martín (1998)
<i>Pennisetum</i> spp.	5.10 a 17.70	Martín (1998)
<i>Brachiaria brizantha</i> x <i>Brachiaria ruziziensis</i>	11.71 a 16.11	Juárez <i>et al.</i> (2005)

Proteína=N x 6.25.

el contenido de proteína en un instante dado, no tiene ningún sentido biológico si no es considerada la producción de materia seca en forma simultánea. Una metodología alternativa que permite analizar el contenido de proteína y la producción de materia seca en forma simultánea es a través del uso de las curvas de dilución de la proteína.

CURVAS DE DILUCIÓN DE LA PROTEÍNA

La proteína cruda es una de las variables de la composición bromatológica de los pastos tropicales que mayor importancia tienen en el valor nutritivo de estos, lo cual está dado por su correlación con otras variables nutricionales y también del crecimiento (Jiménez *et al.* 2004; Juárez *et al.* 2005). Actualmente, es posible determinar el contenido de proteína en un alto número de genotipos de forma rápida y económica, utilizando la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) (Norris *et al.* 1976; Shenk *et al.* 1981; Avila *et al.* 2004; Juárez 2005; Ramírez *et al.* 2005).

Si se toma en cuenta el incremento en edad de los pastos tropicales, resulta que el contenido de proteína se reduce al aumentar la producción de materia seca. Originalmente, la dilución de la proteína (N x 6.25) fue planteada como tal por investigadores del área de fisiología vegetal, quienes postularon que para alcanzar una máxima tasa de crecimiento del cultivo, debían suministrarse las dosis óptimas de fertilizante nitrogenado, y así podrían alcanzar dicha tasa de crecimiento (Lemaire & Salette 1984; Greenwood *et al.* 1990). A este nivel adecuado de nitrógeno se le denominó "contenido de nitrógeno

crítico", y se definió como el mínimo contenido de nitrógeno necesario para alcanzar una máxima tasa de crecimiento en la planta (Greenwood *et al.* 1990). La dilución de la proteína, fue descrita matemáticamente por un análisis de regresión bivariado con la producción de forraje como la variable dependiente y el contenido de proteína cruda (N x 6.25) como la variable independiente. Se determinó un modelo de regresión no lineal, específicamente a un modelo potencial del tipo $y=ax^b$, y se le denominó curva de dilución de la proteína (Justes *et al.* 1994; Cruz & Lemaire 1996).

Luego entonces, las curvas de dilución se desarrollaron para determinar los contenidos o concentraciones críticas de N en diversos cultivos (Justes *et al.* 1994; Cruz & Lemaire 1996) y con ello conocer el estado nutricional de la planta. La ecuación de las curvas de dilución de la proteína es la siguiente:

$$N = \alpha PMS^{-\beta}$$

Donde N es el contenido de nitrógeno en la planta expresado en porcentaje de la materia seca (% MS), α es la concentración crítica de N (% MS), PMS es la producción de materia seca ($t\ ha^{-1}$) y β es el coeficiente de dilución del N y se define como la disminución en el contenido de N en planta por cada unidad de materia seca acumulada.

De las curvas de dilución surgió el índice de nutrición de nitrógeno, el cual consiste en dividir el contenido de N del cultivo en estudio en un instante dado entre la concentración crítica de N (α). Si el resultado es mayor a uno entonces hay un exceso de N en el cultivo y en consecuencia un consumo de

lujo del nutriente disponible (ya sea de origen edáfico o del fertilizante). Si el resultado fuera igual a uno existe una adecuada nutrición del cultivo, sin excesos ni deficiencias. Por el contrario, cuando el resultado es menor a uno, está presente un déficit de N y en consecuencia no se obtendrá la máxima tasa de crecimiento del cultivo (Lemaire & Meynard 1997).

En la actualidad, esta metodología ha sido evaluada para poder ser utilizada como identificador de aquellos pastos que presenten el menor coeficiente de dilución de la proteína ($N \times 6.25$), es decir, la menor disminución de proteína por unidad de materia seca acumulada, y sería de gran interés el utilizar esta metodología como herramienta en programas de mejoramiento genético de pastos tropicales.

Las curvas también son afectas por el medio y el genotipo. Los parámetros obtenidos para las curvas de dilución de la proteína muestran un efecto del medio (Tabla 3) y del genotipo (Tabla 4).

Tabla 3. Efecto del medio sobre los parámetros de las curvas de dilución de la proteína.

Table 3. Effect of the environment on the parameters of the protein dilution curves.)

Medio	α	$-\beta$	Referencia
Año			
1975	41.25	0.57	Lemaire & Salette (1984)
1976	50.37	0.71	Lemaire & Salette (1984)
1977	44.25	0.71	Lemaire & Salette (1984)
1980	34.12	0.48	Lemaire & Salette (1984)
1981	56.81	0.70	Lemaire & Salette (1984)
1982	42.06	0.64	Lemaire & Salette (1984)
Corte			
1	30.00	0.31	Lemaire <i>et al.</i> (1985)
2	28.75	0.33	Lemaire <i>et al.</i> (1985)
3	29.37	0.29	Lemaire <i>et al.</i> (1985)
Fertilización (kg N ha ⁻¹)			
80	13.75	0.44	Justes <i>et al.</i> (1994)
10	13.75	0.44	Justes <i>et al.</i> (1994)
0	28.93	0.25	Colnenne & Meynard (1999)
250	28.00	0.25	Colnenne & Meynard (1999)
0	9.12	0.23	Marino <i>et al.</i> (2004)
0	16.51	0.16	Juárez <i>et al.</i> (2004)
200	18.55	0.11	Juárez <i>et al.</i> (2004)
Época			
Nortes	18.35	0.63	Juárez (2005)
Secas	14.93	0.45	Juárez (2005)
Lluvias	15.84	2.45	Juárez (2005)

α : Concentración crítica de proteína cruda (% MS); β : coeficiente de dilución. Proteína=N x 6.25.

Esto demuestra que el medio ejerce un importante efecto aún bajo condiciones no limitantes de

fertilidad y de humedad (Lemaire & Salette 1984). Con respecto a la fertilización como factor también del medio debe mencionarse que cuando se aplican fertilizantes nitrogenados en exceso, es decir por encima de las necesidades nutricionales del cultivo, puede tenerse consumo de lujo y pérdida de nutrientes. Esto último reviste de importancia porque dentro de un contexto de sustentabilidad se debe garantizar evitar los efectos secundarios al realizar labores culturales que representen un riesgo ambiental, tales como la aplicación excesiva de fertilizantes (Lampkin 1998; Enríquez *et al.* 1999; Benzing 2001; Pérez & Pacheco 2004). Lo anterior es importante sobre todo en suelos ácidos de baja fertilidad, como los de sabana y de transición a sabana, que existen en el estado de Tabasco, los cuales cubren una superficie de 128 000 ha (INEGI 2000).

En la Tabla 4 se muestra que las curvas de dilución de la proteína presentan diferentes parámetros entre especies y dentro de una misma especie, tales diferencias muestran las necesidades nitrogenadas en la planta para alcanzar una máxima tasa de crecimiento (α) y cuál de los genotipos tiene una mayor reducción de la proteína con el incremento de la acumulación de materia seca (β).

Se observa que los pastos tropicales presentan un menor contenido crítico de proteína, lo que significa que su producción forrajera es más eficiente por cada unidad de materia seca producida por unidad de proteína en la planta si se comparan sus parámetros α contra otros genotipos como *Medicago sativa*, *Lolium multiflorum* y *Triticum aestivum*. Cabe destacar que no necesariamente genotipos con mayor contenido proteico exigen mayor nitrógeno edáfico para sintetizar materia seca si se toma en cuenta su eficiencia en el uso del nitrógeno como fue demostrado por Marino *et al.* (2004).

En cuanto al coeficiente de dilución (β), con cada incremento unitario de la producción de materia seca, los pastos tropicales como *Andropogon gayanus*, *Brachiaria humidicola*, *B. brizantha* x *B. ruziziensis*, *Panicum maximum* y *Paspalum notatum*, presentan una menor reducción en su contenido de proteína a lo largo del período de crecimiento. Lo anterior es importante porque en condiciones tropicales, lo deseable es contar con pastos que tengan la menor dilución de la proteína; es decir, que mantengan un valor de proteína aceptable a lo largo del

Tabla 4. Efecto del genotipo sobre los parámetros de las curvas de dilución de la proteína.
Table 4. Effect of the genotype on the parameters of the protein dilution curves.

Genotipo	α	$-\beta$	Referencia
<i>Medicago sativa</i> cv. Lutèce	29.37	0.30	Lemaire <i>et al.</i> (1985)
<i>Medicago sativa</i> cv. Europe	31.25	0.44	Lemaire <i>et al.</i> (1985)
<i>Medicago sativa</i> cv. Magali	33.12	0.43	Lemaire <i>et al.</i> (1985)
<i>Medicago sativa</i> cv. Maris-Kabul	32.5	0.35	Lemaire <i>et al.</i> (1985)
<i>Triticum aestivum</i>	33.44	0.44	Justes <i>et al.</i> (1994)
<i>Lolium multiflorum</i>	25.44	0.38	Marino <i>et al.</i> (2004)
<i>Brachiaria brizantha</i> x <i>B. ruziziensis</i>	17.37	0.24	Juárez (2005)
<i>Brachiaria humidicola</i>	15.65	0.25	Juárez (2005)
<i>Panicum maximum</i>	22.00	0.27	Juárez (2005)
<i>Paspalum notatum</i>	19.83	0.32	Juárez (2005)

α : Concentración crítica de proteína cruda (% MS); β : coeficiente de dilución. Proteína= $N \times 6.25$.

crecimiento de la planta, y de esta manera se contribuye a garantizar la sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuarios en tales condiciones. En la Figura 2 se presentan las curvas de dilución de la proteína correspondientes a algunos genotipos de la Tabla 4 donde se observa que en la parte superior se localizan *Medicago sativa*, *Triticum aestivum* y *Lolium multiflorum*, de ellos tres el *T. aestivum* presentó la mayor dilución de la proteína, lo cual puede demeritarlo contra *M. sativa* y *L. multiflorum*.

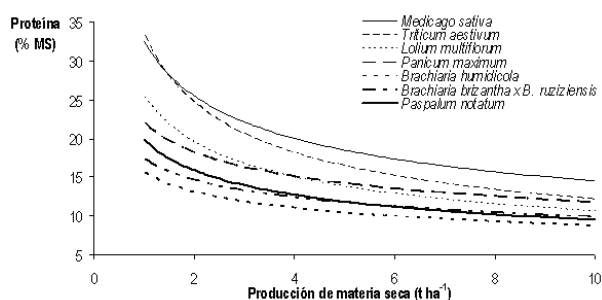


Figura 2. Curvas de dilución de la proteína en diferentes genotipos.

Figure 2. Protein dilution curves for different genotypes.

El efecto del medio y del genotipo sobre las curvas de dilución de la proteína es evidenciado en lo contrastantes que resultan éstas entre forrajes de clima templado y forrajes tropicales, con los últimos localizados en la parte inferior.

En la Figura 2 se observa que entre pastos tropicales existen diferencias en sus curvas de dilución de la proteína, *Panicum maximum* y *Paspalum notatum* presentaron la menor dilución de la proteína, debido principalmente a su menor producción de

materia seca lo que origina una menor "dilución" de la proteína en la materia seca de la planta. En *P. notatum* esta menor dilución también fue debida a su alta relación hoja/tallo (Gates *et al.* 2001; Juárez *et al.* 2004), por ser en la hojas donde se encuentra el mayor contenido de proteína.

De acuerdo a la Figura 2, el *Brachiaria humidicola* tuvo la mayor dilución de la proteína, explicado por su alta producción de materia seca lo que ocasionó tal "dilución". A pesar de la baja calidad que presenta esta especie, presenta una alta aceptabilidad por los ganaderos en Tabasco, México (Pastrana *et al.* 1992; Jiménez *et al.* 2004), esto debido a su agresividad en su crecimiento, adaptación a suelos con problemas de drenaje y a su alta producción de materia seca. Por ello la importancia de incluir esta especie en programas de mejoramiento genético usando como herramienta a las curvas de dilución de la proteína. Finalmente debe mencionarse que los parámetros de las curvas de dilución de la proteína han sido obtenidos con modelos empíricos que no incluyen explícitamente el tiempo, y la dilución de la proteína no es estática, sino que por ser un fenómeno biológico presenta una dinámica. De ahí la importancia del estudio de la dilución de la proteína a través de modelos matemáticos que consideren e incluyan el tiempo, como son los modelos dinámicos.

De la Tabla 4 se observa que posiblemente las curvas de dilución de la proteína obtenidas mediante modelos empíricos permitan estudiar el estado nutricional de una pastura desde su perspectiva como demandante de proteína. Sin embargo, cuando el

objetivo sea estudiar en detalle la dilución de la proteína, los modelos mecanísticos pueden resultar de gran ayuda, debido a que éstos permiten modelar el fenómeno biológico a través de sistemas de ecuaciones (Vargas-Villamil 2003). Esto último ha sido obviado en las curvas de dilución de la proteína, sin embargo puede ser uno de los principales factores que las modifican y por ello las curvas de dilución de la proteína serían más adecuadas si éstas se desarrollaran con modelos mecanísticos dinámicos.

En la Figura 3 se presentan las curvas de dilución de la proteína obtenidas por Juárez (2005) mediante modelos mecanísticos dinámicos en similares condiciones edafoclimáticas para los pastos Chontalpo (*Brachiaria decumbens*), Mulato (*B. brizantha* x *B. ruziziensis*), Insurgente (*Brachiaria brizantha*), Guinea (*Panicum maximum*), Remolino (*Paspalum notatum*), Dictyoneura (*Brachiaria dictyoneura*) y Humidícola (*Brachiaria humidicola*); en estos últimos dos pastos puede observarse que sus curvas presentan una menor dilución de la proteína a la vez que alcanzan una mayor producción de materia seca, es decir que su adecuado tenor proteico no fue en detrimento de su producción forrajera. Finalmente en la producción animal tropical, la proteína y la producción de materia seca de los recursos forrajeros no pueden contraponerse por ser ambos necesarios para la alimentación del rumiante, por ello las curvas de dilución de la proteína permiten discriminar genotipos forrajeros con un adecuado valor proteínico y de biomasa.

Por lo anterior se concluye que las curvas de

dilución de la proteína son una alternativa como metodología en programas de mejoramiento genético para seleccionar pastos con mayor contenido de proteína por cada unidad de materia seca acumulada (menor dilución). La selección de genotipos tropicales basado en curvas de dilución de la proteína contribuirá al uso sustentable de los recursos naturales con una mayor eficiencia en el uso de nutrientes.

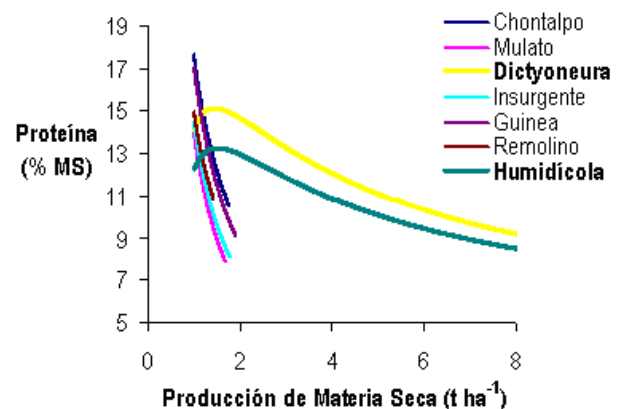


Figura 3. Curvas de dilución de la proteína en diferentes genotipos de pastos tropicales.

Figure 3. Protein dilution curves in different genotypes of tropical grasses.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la UJAT la beca como egresado y al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias por permitirle participar en una de sus líneas de investigación.

LITERATURA CITADA

- Abaunza MA, Lascano CE, Giraldo H, Toledo JM (1991) Valor nutritivo y aceptabilidad de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales en suelos ácidos. *Pasturas Tropicales* 13 (2): 2-9.
- Avila P, Lascano CE, Miles JW, Ramírez G (2004) Calibración de NIRS para N en *Brachiaria*. En: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Reporte anual 2003 del proyecto IP-5. Cali (Colombia). 1.
- Ayala A, Basulto J (1992) Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en la región oriental de Yucatán, México. *Pasturas Tropicales* 14 (1): 36-40.
- Benzing A (2001) Agricultura orgánica. Villingen-Schwenningen (Alemania): Necker Verlag. 682 pp.
- Bolaños-Aguilar ED, Huyghe C, Julier B, Ecalte C (2000). Genetic variation for seed yield and its components in alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations. *Agronomie* 20 (3): 333-346.
- Chacón-Moreno E, Sarmiento G (1995) Dinámica del crecimiento y producción primaria de gramínea forrajera tropical, *P. maximum* (tipo común), ante diferentes frecuencias de corte. *Turrialba* 45 (1-2): 8-18.
- Costa LD N, Cruz OJR (1994) Evaluación agronómica de accesiones de *Panicum maximum* en Rondonia, Brasil. *Pasturas tropicales* 16 (2): 44-47

- Cruz P, Moreno JL (1992) Crecimiento potencial comparado de una gramínea natural (*Dichanthium aristatum*) y una cultivada (*Digitaria decumbens*) sometida a variaciones de fotoperíodo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 26 (3): 323-330.
- Cruz P, Lemaire G (1996) Diagnosis of the nitrogen status of grass stands. *Tropical Grasslands* 30 (1): 166-173
- De Dios VOO (2001) *Ecofisiología de los bovinos en sistemas de producción del trópico húmedo*. Villahermosa (México): Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 376 pp.
- Enríquez QJF, Meléndez NF, Bolaños-Aguilar ED (1999) *Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México*. Libro Técnico Número 7. Isla (México): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 262 pp.
- Fernández JL, Benítez DE, Gómez I, Cordoví E, Leonard I (2001) Dinámica de crecimiento del pasto *Brachiaria radicans* vs Tanner en las condiciones edafoclimáticas del valle del Cauto en la provincia de Granma. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 35 (4): 375-380.
- Gates RN, Mislevy P, Martin FG (2001) Herbage accumulation of three bahiagrass populations during the cool season. *Agron J.* 93 (1): 112-117.
- Goncalves CA, Dutra S, Rodrigues FJA (2003) Producao de leite em pastagem de *Panicum maximum* cv. Tobiata son níveis de suplementacao de concentrado no nordeste paraense, Brasil. *Pasturas Tropicales* 25 (2): 2-11.
- Greenwood DJ, Lemaire G, Gosse G, Cruz P, Draycott A, Neeteson JJ (1990) Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals Bot.* 66: 425-436.
- Heinemann AB, Fontes AJ, Paciullo DSC, Rosa B, Macedo R, Moreira P, Aroerira LJM. 2005. Potencial productivo e composicao bormatológica de seis gramíneas forrageiras tropicais sob doas doses de nitrogenio e potássio. *Pasturas Tropicales* 27(1): 34-41.
- Herrera RS (1983) La calidad de los pastos. En: Ugarte J, Herrera RS, Ruiz R, García R, Vázquez CM, Senra A (editores). *Los pastos en Cuba*. Tomo 2. La Habana (Cuba): Insituto de Ciencia Animal. 59 pp.
- Holnam F, Rivas L, Argel PJ, Pérez E (2005) Impacto de la adopción de pastos Brachiaria: Centroamérica y México. Disponible en: <http://www.ilri.cgiar.org/html/Adopci%C3%B3ndepastos%20BrachiariaenCA%20Mex-final.pdf> (consultado el 13/05/05).
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (1999) *Anuario Estadístico del estado de Tabasco*. Villahermosa (México): INEGI.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2000) *Estadísticas del medio ambiente, México 1999*. Aguascalientes (México): INEGI.
- Jiménez OMM, Sánchez HD, Granados ZL, Barrón AM, Quiroz VJ (2004) Calidad del pasto humidícola (*Brachiaria humidicola*) con fertilización orgánica e inorgánica en suelos ácidos. *Memorias de la XL Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Mérida (México): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 164.
- Juárez HJ, Bolaños-Aguilar ED, Reinoso PM (2004) Content of protein per unit of dry matter accumulated in tropical pastures. Winter. *Cuban Journal Agricultural Science* 38 (4): 415-422.
- Juárez HJ (2005) Estudio agrofisiológico y nutricional de la producción de materia seca y contenido de proteína en pastos tropicales. Tesis de Doctorado. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba. 109 pp.
- Juárez HJ, Bolaños-Aguilar ED, Aranda IEM, Reinoso PM (2005) Productive and nutritional performance of *Brachiaria brizantha* x *B. ruziziensis* (ruzi grass) in humid tropical conditions. *Cuban Journal Agricultural Science* 39 (4): 599-607.
- Justes E, Mary B, Meynard JM, Machet JM, Thelier-Huche L (1994) Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals Bot.* 74 (4): 397-407.
- Kathju S, Burman U, Garg BK (2001) Influence of nitrogen fertilization on water relations, photosynthesis, carbohydrate and nitrogen metabolism of diverse pearl millet genotypes under arid conditions. *J Agric Sci.* 137 (3): 307-318.

- Lampkin N (1998) Agricultura ecológica. Madrid: Mundi Prensa. 724 pp.
- Lemaire G, Salette J (1984) Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4 (5): 423-430.
- Lemaire G, Cruz P, Gosse G, Chartier M (1985) Etude des relations entre la dynamique de prélèvement d'azote et la dynamique de croissance en matière d'un peuplement de luzerne (*Medicago sativa* L.). *Agronomie* 5 (8): 685-692.
- Lemaire G, Meynard JM (1997) Use of the nitrogen nutrition index for the analysis of agronomical data. In: Lemaire G (editor). *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Berlin (German): Springer Berlag. 45 pp.
- Lemaire G, Hodgson J, de Moraes A, Carvalho PCF, Nabinger C (2000) *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Cambridge (UK): Commonwealth Agricultural Bureau International.
- Marino MA, Mazzanti A, Assuero SG, Gastal F, Echeverría HE, Andrade F (2004) Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agron J.* 96 (3): 601-607.
- Martín PC (1998) Valor nutritivo de las gramíneas tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 32: 1-10.
- McIlroy RJ (1991) *Introducción al cultivo de los pastos tropicales*. Ciudad de México: Limusa. 168 pp.
- Miles JW, Maass BL, Do Valle CB (editors) (1996) *Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement*. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical. 288 pp.
- Muchovej RM, Mullahey JJ (1997) Evaluation of five bahiagrass cultivars in southwest Florida. *Proc XVIII International Grassland Congress*. Winnipeg (Canada).
- Norris KH, Barnes RF, Moore JE, Shenk JS (1976) Predicting forage quality by near infrared reflectance spectroscopy. *J. Anim. Sci.* 43: 889-896.
- Orskov ER (1993) *Reality in rural development aid with emphasis on livestock*. Bucksburn (UK): Rowett research services. 88 pp.
- Pastrana AL, Meléndez NF, Amaya HS (1992) Pasto *Brachiaria humidicola*: una nueva opción para producir forraje en Tabasco. Folleto técnico numero 1. Área Pecuaria. Huimanguillo (México): Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 31 p.
- Pérez CR, Pacheco AJ (2004) Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán. *Revista Ingeniería (UADY)* 8 (1): 33-42.
- Ramírez RE, Anaya EAM, Mariscal LG (2005) Predicción de la composición química del grano de sorgo mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS). *Téc.Pecu. Méx.* 43 (1): 1-11.
- Shenk JS, Landa I, Hoover MR, Westerhaus MO (1981) Description of near infrared reflectance spectro-computer for forage and grain analysis. *Crop Sci.* 21: 335-344.
- SIAP. Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2003) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). En: www.sagarpa.gob.mx
- Taiz L, Zeiger E. 2002. *Plant physiology*. 3rd Ed. Sunderland (USA): Sinauer Associates Inc. 690 pp.
- Toledo JM, Schultze-Kraft R (1982) Metodología para evaluación agronómica de pastos tropicales. Toledo JM (editor). *Manual para la evaluación agronómica*. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical. 91 pp.
- Vargas-Villamil LM (2003) Desarrollo de un modelo dinámico mecanístico para la estimación de parámetros de crecimiento bacteriano ruminal mediante una técnica de doble ajuste (tesis de doctorado). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán (México).
- Velasco ZME, Hernández-Garay A, González HVA, Pérez PJ, Vaquera HH, Galvis SA (2001) Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto Ovilla (*Dactylis glomerata* L.). *Téc Pecu Méx* 39 (1): 1-14.
- Venuto BC, Burson BL, Hussey MA, Redfearn DD, Wyatt WE, Brown LP (2003) Forage yield, nutritive value, and grazing tolerance of Dallisgrass biotypes. *Crop Sci.* 43 (1): 295-301.
- Villarreal M (1994) Valor nutritivo de gramíneas y leguminosas forrajeras en San Carlos, Costa Rica. *Pasturas Tropicales* 16 (1): 27-31.