

Caracterización de la dinámica de producción de materia seca del kikuyu (*pennisetum clandestinum*) asociado con árboles y en pastoreo para producción de leche en el trópico alto colombiano

Juan Fernando Vela Jiménez* / Marcel Vargas Roncancio**

RESUMEN

En el altiplano cundiboyacense se estudió la dinámica de crecimiento en kilogramos de MS/ha/año de una pradera con kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en zona de ladera y plana, y en asociación con barreras rompe-vientos con pino (*Pinus radiata*) y alisos (*Alnus acuminata*). Se evaluó la calidad del forraje y su composición biológica, al aumentar los días de rebrote durante una época de baja precipitación (E1) y otra de alta (E2), con interacción animal (CA) y sin ella (SA). Se generó información para diseñar una estrategia de pastoreo eficiente en la unidad productiva del estudio. La calidad se determinó por medio de análisis químico proximal (PC y FDN) y por determinación de Energía Bruta (EB). La acumulación de de MS y la tasa de crecimiento se definió por medio de aforos, usando la metodología propuesta por Hodgson (1990). Los datos de acumulación de MS se utilizaron para parametrizar una ecuación de la curva de crecimiento de la pradera, usando iteración de regresión no lineal con base en el algoritmo de Marquardt. El modelo de crecimiento sigmoideo usado fue $Y = Y_{max} / (1 + \beta X^k)$. Durante la época de mayor

precipitación, el contenido de PC fue mayor y el de FDN menor. La pradera asociada al bosque de alisos (*Alnus acuminata*) tuvo un mayor contenido de PC y menor de FDN, tanto en la época 1 como en la 2. El contenido de EB fue igual en la mayoría de las muestras. La proporción de hojas vivas del total de la MS disminuyó en 8,6%, por cada 15 días, en el aumento de la edad de la pradera. Usando esta información, con la acumulación de MS, se estimó la cantidad de MS disponible para la alimentación del hato. La mayor cantidad de MS se acumuló en la época de lluvias, con la interacción animal y en las zonas planas. Las praderas sin animales y cosechadas con tijeras a ras de suelo se empradizaron. La rotación que maximizó la acumulación de MS durante la época 1 se acerca a los 50 días y durante la época 2 se acercó a los 30 días. Esta información se uso para diseñar una estrategia de manejo eficiente de praderas y .

Palabras clave: Tasa de crecimiento de forraje, *Pennisetum clandestinum*, calidad y cantidad de forraje, estrategia de pastoreo, lechería en praderas.

* MV, MBA, MsAgrSc. Docente investigador de la Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

** Médico Veterinario Zootecnista. Especialista en Reproducción. Docente del SENA, Yopal, Casanare.

Fecha de recepción: 10 de diciembre de 2008.

Fecha de aprobación: 17 Febrero de 2009.

CHARACTERIZATION OF THE DYNAMICS OF DRY MATTER PRODUCTION OF A SWARD OF KIKUYU (*PENNISETUM CLANDESTINUM*) WITH TREES AND UNDER GRAZING CONDITION IN A DAIRY SYSTEM IN THE TROPICAL HIGHLANDS OF COLOMBIA

ABSTRACT

A one year experiment was carried out in the central highlands of Colombia in order to measure the biological composition, nutritional value, DM (dry matter) production of a kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sward under various conditions. These conditions included high and low rainfall, with and without animal interaction, on hills and plains, with and without trees. The results were used to design an efficient grazing system. The quality of the forage was determined through proximal chemical analysis and by determining GE (gross energy). The accumulation of DM and growth rate was defined by using a gauging measure as proposed by Hodgson (1990). Biological composition was determined by manual dissection of the paddock. Accumulated DM data was used to formulate the parameters of an equation to represent the paddocks' growth curve, using iteration of non linear regression based on Marquardt's algorithm. The model of sigmoidial growth used was $Y = Y_{max} / (1 + \beta X(X)^k)$. During the time of highest rainfall, CP (crude protein) content was higher and NDF (neutral detergent fiber) lower. The paddock associated with the forest (*Alnus acuminata*) had a hig-

her content of CP and lower of NDF, in both seasons. Gross energy content was equal in the majority of samples. The proportion of leaves, in a Kilogram of DM, decreased by 8,6% for every 15 days of increase in the age of the paddock. Using this DM accumulation information it was possible to estimate the quantity of DM available for the feeding of the herd. The highest accumulation of DM happened during the rainy season and in the paddocks with animals interaction and in the flat areas. The grass' growth pattern in the paddocks without animals and where grass was harvested using clippers down to the ground behave as a loan. The rotation that maximized the accumulation of DM during the first season was at approximately 50 days, in the second season it was closer to 30 days. This information constituted the basis to design a strategy of efficient paddock use, and to establish a plan of seasonal calving.

Keywords: forage growth rate, *Pennisetum clandestinum*, quality and quantity of forage, grazing strategy, milk production in paddocks.

INTRODUCCIÓN

La leche que se obtiene en Colombia en las zonas ganaderas, ubicadas entre los 2.200 y los 2.900 m.s.n.m., se produce a partir de praderas que están compuestas, en gran proporción, por kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). De acuerdo a Corpoica (1997), citado por Mila (2001), las praderas de esta gramínea, a pesar de su gran uso, en el 80% de los casos no reciben ningún tipo de manejo y son sobrepastoreadas, lo que disminuye su productividad. Agravando el problema, el intervalo de cosecha es de 90 a 120 días, lo que produce pérdidas de materia seca hasta de 4.720 kg de MS/Ha/año (Argüelles, 1994). La razón de esta situación, que ha desprestigiado al kikuyo, es el poco conocimiento disponible sobre su dinámica de crecimiento en el diseño de estrategias eficientes de pastoreo (Mila, 2001).

En sistemas especializados de producción ganadera, con animales de alto mérito genético, como la lechería intensiva en el trópico de altura colombiano –realizada a partir de pasturas como fuente principal de energía para producción– es crítico conocer la disponibilidad estacional de pasto, definida por la tasa de crecimiento por hectárea en un día. Esta información debe ser el punto de partida de un análisis de producción y de su proyección en el tiempo, necesaria para planear la alimentación de los animales a partir de la oferta estacional de forraje, generada por las praderas, durante un año (Crabbe, 1992; Acuña, 1982 –citado por Pagliaricci *et ál.* 2000–).

El nivel de producción anual de un hato lechero en pastoreo, medido en litros de leche por hectárea, además de su potencial genético, depende de la cantidad y calidad de forraje consumido diariamente por cada animal. Este consumo voluntario, regulado por diferentes interacciones fisiológicas, que diferentes autores han explicado ampliamente (Fisher, 2002; Ingvarsen y Andersen, 2000; Sheperd y Combs, 1998;

Van Soest, 1996; Baile y McLaughlin, 1987), puede ser modificado alterando la interacción planta-animal, por medio de diferentes estrategias de pastoreo que definen el volumen y la calidad de forraje diario adjudicado a cada animal (Pinheiro, 2006). La meta de estas estrategias es alcanzar el nivel máximo de producción y de consumo de forraje por animal, estando este último determinado por la relación que existe entre digestibilidad de la fibra, la capacidad de fermentación ruminal y la velocidad de evacuación de la partícula del rumen (Van Soest, 1996). Estos factores determinan los límites físicos del consumo voluntario en rumiantes y, en última instancia, el tamaño efectivo del rumen (Forbes, 2003; Allen, 1996). Según Baile y McLaughlin (1987), cuando se va a considerar el consumo por animal, adicional a los factores gastrointestinales, también se deben considerar los factores directamente relacionados con el tipo de alimentación y con las propiedades físicas del alimento que afectan la cantidad y los patrones de consumo.

La meta de los profesionales que diseñan estrategias de manejo de praderas, para garantizar que el proceso productivo ganadero sea eficiente, es lograr que la mayor cantidad posible de energía solar captada y contenida en las plantas (corriente de entrada), se transforme en carne y leche (corriente de salida productiva) durante el ciclo anual de producción (Hughes, 1992). El primer paso para lograr este propósito es caracterizar la dinámica de producción de materia seca de la pradera en condiciones estables de manejo, durante las diferentes épocas del año, por días de rebrote, para identificar el momento de cosecha que maximice la materia seca producida, aproveche su mayor rendimiento por unidad de tiempo y evite la maduración y senescencia de las hojas, con la consecuente pérdida de calidad (Cacho, 1993). El conocimiento obtenido mediante tal análisis puede garantizar la definición de una estrategia de pastoreo a través del año que: 1) sea capaz de maximizar la

producción de materia seca total, 2) equilibre la oferta estacional de forraje, con los requerimientos variables de la población animal (carga animal adecuada) y 3) identifique los momentos críticos que debe considerar el plan de alimentación, como la disminución de la oferta con respecto a la demanda animal o los cambios en la calidad del forraje ofrecido que afecten los niveles de fermentabilidad en relación con el balance energía-proteína en rumen (Turner *et ál.* 2006; Holmes, 1990). Se puede decir que un plan de manejo de praderas es eficiente cuando garantiza que la hectárea produzca el máximo volumen posible de materia seca, evita pérdidas de hojas por senescencia y logra que los animales consuman y digieran la mayor cantidad posible del forraje producido (Van Houtert y Sykes, 1999). Tal estrategia debe hacer uso de una herramienta que permita crear una interfase entre la oferta forrajera y el requerimiento variable de la población animal, tal como el presupuesto nutricional anual propuesto por Crabbe (1992).

Aunque la investigación sobre producción de forraje no es reciente, según afirma Frame (1993), citado por Pagliaricci *et ál.* (2000), cuando indica que a partir de 1919 se presentan avances en el estudio de técnicas para medir la producción de praderas, usando diferentes métodos de cosecha –y como se puede constatar en guías técnicas publicadas para llamar la atención sobre las variables que se deben considerar en este tipo de investigaciones por el Joint Committee of American Society of Agronomy, American Dairy Science Association and American Society of Animal Production (1943)–, es sólo en las últimas décadas que el conocimiento generado se está utilizando de forma aplicada para diseñar planes productivos eficientes, de los que sobresalen los trabajos realizados en Nueva Zelanda; en los hatos neozelandeses es una práctica de rutina evaluar regularmente el crecimiento del forraje durante la estación de producción (Korte *et ál.* 1987).

Teniendo en consideración que existen diferentes factores que afectan el crecimiento y la acumulación de forraje, al igual que la calidad de éste, a saber: las estrategias de uso de praderas (rotación, pastoreo continuo, corte), las condiciones climáticas (pluviosidad, temperatura y luminosidad) y las estrategias de manejo (fertilización, riego, enmiendas), se hace necesario definir un modelo matemático que represente cambios en el crecimiento y acumulación de la materia seca de forraje en una hectárea, en el tiempo, para poder determinar el mejor momento de la cosecha, evitando que esta curva alcance la asíntota, en la cual el uso de recursos adicional no logra aumentar el producto físico total (Kay y Edwards, 1994). Según Cacho (1993), en este punto la tasa de muerte de material vegetal y de crecimiento se igualan, y la lignificación del forraje disminuye la calidad (contenido de energía por unidad de volumen). El mismo autor representó el crecimiento del pasto por una ecuación de crecimiento sigmoidea logística que contiene tres parámetros; dichos parámetros se pueden estimar estadísticamente de resultados experimentales o de forma algebraica a partir de modelos fisiológicos de simulación y se relacionan con la capacidad máxima de producción de una pradera, la tasa de crecimiento de acuerdo a variables climáticas y a factores inherentes al crecimiento de cada especie forrajera.

Tal ecuación representa una pradera bien establecida que, cuando es pastoreada y luego se deja crecer libremente, acumula de forma lenta biomasa inicialmente; más adelante, mientras que las reservas vegetales se movilizan para reconstruir el área de las hojas, la tasa de crecimiento de la planta aumenta en tanto crece el área con capacidad fotosintética. A medida que las plantas crecen, la sombra comienza a tener efecto y se disminuye la tasa de acumulación de masa vegetal. Cuando el tejido senece, la tasa de acumulación neta tiende a cero.

Esta ecuación se puede representar así:

$$G = \frac{dY}{dt} = \alpha \frac{Y^2}{Y_{max}} \left(\frac{Y_{max} - Y}{Y} \right)^{\gamma}$$

Donde Y representa acumulación de materia seca y Y_{max} representa la capacidad máxima de la pradera para acumular materia seca, en la que el tejido no fotosintético ha incrementado al punto que las pérdidas respiratorias igualan las ganancias. Entonces, Y_{max} representa la producción potencial de forraje. Este parámetro cambia con diferentes condiciones climáticas. Cerca al Ecuador es de esperarse que Y_{max} sólo sea afectado significativamente por niveles de precipitación. El parámetro α determina el nivel máximo de crecimiento. Mientras que el parámetro γ es específico para cada especie y determina cuándo una planta alcanza la tasa máxima de crecimiento.

El presente estudio tuvo por objetivo cuantificar los cambios en la producción de materia seca y el valor nutricional de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), en condiciones de pastoreo con bovinos de leche y en asociación con árboles (*Pinus radiata* y *Alnus acuminata*) para caracterizar la dinámica de crecimiento de la especie; lo anterior con el propósito de diseñar posteriormente una estrategia de pastoreo adaptada a las condiciones del lugar de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en predios de la unidad productiva La Cañada, ubicada en el Municipio de Tuta (Boyacá), en la vereda de San Nicolás, a los 5°41'55" N 73°10'13" O, 180 kilómetros al norte de Bogotá, a una altura de 2.560 m.s.n.m., con una temperatura pro-

medio de 13 °C, un promedio de precipitación pluvial de 957 m.m. y estacionalidad bimodal (Figura 1); además, con variaciones anuales cíclicas cada 3 a 4 años (Figura 2). Estas características corresponden al ecosistema bosque seco montano bajo (BSMB), de acuerdo a la clasificación de Holdridge (1963).

FIGURA 1. COMPORTAMIENTO DE LLUVIAS EN TUTA, BOYACÁ. IDEAM, REPORTE ESTACIÓN LA COPA Y LA CAÑADA (1999 A 2004). PROMEDIO ANUAL Y REPORTES MÁXIMOS Y MÍNIMOS POR MES.

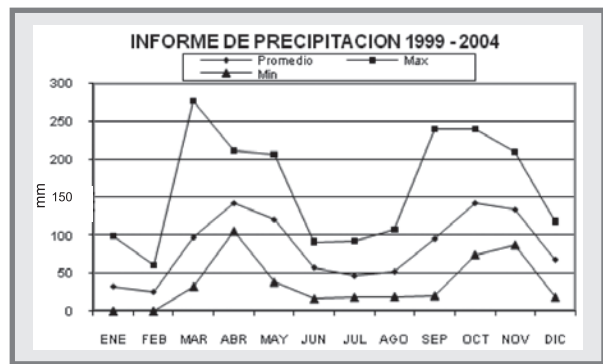
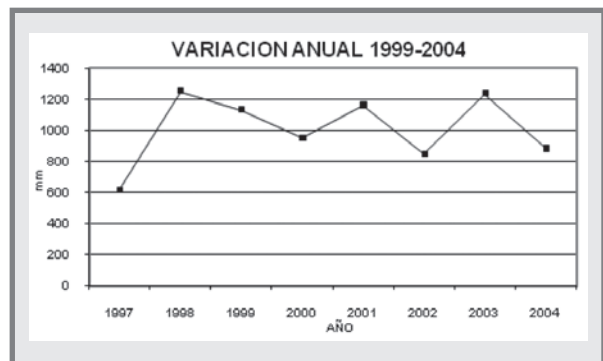


FIGURA 2 COMPORTAMIENTO DE LLUVIAS EN TUTA, BOYACÁ. IDEAM, REPORTE ESTACIÓN LA COPA Y LA CAÑADA. PRECIPITACIÓN ANUAL 1999-2004.



MANEJO DE PRADERAS Y ANIMALES UTILIZADOS

Durante el estudio las praderas fueron pastoreadas por un hato en ordeño de 37 vacas *Bos taurus*, resultado de los cruces de las razas Normando y Ayrshire, y Holstein-Friesian y Jersey. El nivel productivo en litros, a 300 días, para la tercera lactancia del primer cruce fue de 4.600 lt y para el segundo cruce de 6.500. El peso de ambos cruces fue de 480 ± 25 kg. El hato se mantuvo, durante el tiempo que se realizó el estudio y se alimentó con la biomasa producida por la pradera, entre un 80 a 95% del total de la dieta. El alimento suplementario se suministró para satisfacer los requerimientos del hato, al variar la producción de biomasa. Se determinó que estos requerimientos fueron constantes al presentarse partos a lo largo del año. La carga animal fue de $2,43 \pm 0,06$ vacas por hectárea.

El pastoreo fue de tipo rotacional en franjas, definiendo el área diaria destinada a los animales con cercas eléctricas temporales. En promedio se realizaron 8,1 rotaciones en el año, con un periodo de descanso de 45 días. La altura de la pradera pos-cosecha no fue fija, sino a la altura que tuviera suficiente material fotosintético (hojas) para garantizar la rápida recuperación de la pradera. La adjudicación de forraje para las vacas se determinó en cinco ciclos diarios, dispensando áreas variables de terreno, de acuerdo a la biomasa pre y pos-pastoreo. Esta información se obtuvo del proceso de caracterización previo al inicio del presente estudio.

EVALUACIÓN DE LA PRADERA

La toma de muestras se realizó entre septiembre de 2002 y junio de 2003, exceptuando los meses de enero y febrero, temporada de las heladas, fenómeno que desintegra la biomasa de los forrajes, reiniciando nuevos ciclos de crecimiento; efecto similar al creado por el pastoreo o la cosecha de la gramínea. Durante este tiempo se identificaron dos épocas diferentes, de acuerdo al nivel de precipitación pluvial: seca (época 1: de septiembre de 2002 a febrero de 2003, con una precipitación media de 37,5 m.m. mensuales) y lluviosa (época 2: de marzo a junio de 2003 con una precipitación media de 94,5 m.m. mensuales). Las muestras se tomaron en la pradera pastoreada por animales (CA) y en lotes, dentro del potrero, sin acceso de animales (SA). Igualmente se comparó el efecto causado por la topografía de la unidad productiva: zona plana y zona de ladera. Los potreros del estudio ubicados en la zona plana se identificaron con los números 36 y 9, estando integrado el primero a una barrera de viento con pino (*Pinus radiata*). Los potreros del estudio ubicados en la zona de ladera se identificaron con los números 21A y 19, estando el primero integrado a un cultivo de alisos (*Alnus acuminata*) de nueve años de edad, sembrados en tresbolillo a una distancia de 3 m. Los potreros 9 y 19 no estaban integrados a ningún sistema silvícola y los potreros de ladera no tuvieron la interacción con animales. La Tabla 1 presenta el análisis de suelos de los potreros al inicio del proyecto.

TABLA 1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO EN LOS DIFERENTES POTREROS DEL ESTUDIO, AÑO 2001

Lote	Text.	B.T.	M.O%	PH	Ca Meq/100	K Meq/100	Mg Meq/100	P Ppm	S Ppm	Zn Ppm	CIC Meq/100	Ca/mg	Ca/k	Mg/k	(Ca+mg)/k
36	FA	8,77	7,05	5,63	5,35	0,78	2,29	4	5,58	13,30	14,10	2,34	6,86	2,94	9,79
9	FA	8,77	7,05	5,63	5,35	0,78	2,29	4	5,58	13,30	14,10	2,34	6,86	2,94	9,79
19	FA	5,39	6,68	5,45	3,85	0,32	0,87	4	1,33	3,5	14,36	4,43	12,03	2,72	14,75
21A	FA	5,39	6,68	5,45	3,85	0,32	0,87	4	1,33	3,5	14,36	4,43	12,03	2,72	14,75

Fuente: Microfertisa WF.

La masa de forraje en la pradera (kg/MS/ha) se determinó cada 15 días (77 muestras en total), por medio de mediciones directas (destruictivas), usando el marco metálico de 0,0625 cmts², 16 veces aleatoriamente para recolectar una muestra de 1 mt² según la técnica descrita por Hodgson (1990). En los lotes se cosecharon los cuadrantes de 1 mt² cada 15 días hasta completar 90 días de rebrote. En ambos casos las muestras se tomaron a ras de suelo.

La totalidad de las muestras de forraje obtenidas se separaron manualmente en tallos, materia muerta y hojas vivas (para determinar la proporción utilizable de la muestra, de acuerdo a lo propuesto por Mila (2001). Luego se secaron a 95 °C/48 horas en una estufa de aire forzado para la determinación de la materia seca. De cada muestra se obtuvo una porción de 300 gramos de MS para el análisis químico proximal, que fue realizado por el laboratorio de nutrición de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), en Bogotá.

Tanto la determinación de la masa del forraje como del valor nutritivo de las muestras se sometieron a un análisis de varianza, con un diseño de bloques al azar y un arreglo factorial de 2x2x2x2, usando el paquete estadístico SAS.

La tasa de crecimiento (kg/MS/ha/día) se calculó midiendo la diferencia entre la masa de la muestra (n+1) y (n), dividida entre los días transcurridos en las muestras.

PARAMETRIZACIÓN DE LA ECUACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO

Usando los resultados de acumulación de MS de forraje, durante el rebrote en cada potrero, de acuerdo a las diferentes épocas del estudio, se determinaron las curvas de crecimiento con el uso de un modelo no lineal, a pesar de ser más difícil de especificar

y estimar. En primer lugar se planteó un modelo *a priori* para determinar parámetros y establecer sus valores iniciales.

El ajuste de la curva de tasa de crecimiento se realizó por iteración de regresión no lineal, con base en el algoritmo de Marquardt. Dicho método es usado cuando los parámetros están muy correlacionados o la función objetivo no se ajusta de forma óptima a una función cuadrática; este algoritmo es robusto al cambio de los valores iniciales.

El modelo de crecimiento sigmoideo usado fue el propuesto por Cacho (1993): $(y=Y_{max}/(1+\beta x(x)^k))$.

RESULTADOS

CALIDAD DEL FORRAJE

La calidad se evaluó usando las variables: energía bruta (calorías/gramo), fibra detergente neutra y porcentaje de proteína total. Para el análisis se compararon los POT36CA y POT9CA, POT36SA y POT9SA, POT36CA y POT36CA, POT9CA y POT9SA, y los potreros de ladera POT19SA y POT21ASA.

Proteína total:

Para las praderas de la zona plana, sin el efecto del pastoreo animal (POT36SA y POT9SA), de acuerdo a las diferentes épocas se presentó una diferencia significativa ($p=0,009$), con un nivel de proteína mayor para la época de lluvias (14,1%) que para la época seca (10,3%). Igualmente, se encontró una diferencia significativa ($p=0,0148$) entre las praderas de la zona plana sin árboles, con y sin la interacción animal (POT9CA y POT9SA), durante las diferentes épocas, presentándose un nivel de proteína mayor para la época de lluvias (13,4%) que para la época seca (9,5%). El caso de los potreros de ladera (POT19SA y POT21ASA) fue similar al de la zona plana, en cuanto al efecto del clima sobre el contenido de proteí-

na del forraje ($p=0,0133$); sin embargo, también se presentó una diferencia significativa entre poteros ($p=0,0001$). Los niveles de proteína para la pradera, asociada al bosque de Alisos (*Alnus acuminata*), fueron de 18,8% en la época de lluvias y de 16,6% en la época seca. Para la otra pradera fueron de 13,4% en la época de lluvia y de 9,2% en la época seca.

Energía bruta:

El contenido de energía bruta presentó una diferencia significativa entre las praderas de la zona plana ($p=0,0387$), presentándose un nivel de energía bruta mayor en el potrero que excluyó la interacción con los animales (4133,05 cal/gr).

Porcentaje de FDN:

En cuanto al contenido de FDN, para las praderas de la zona plana, sin árboles, se presentó una diferencia significativa en las diferentes épocas ($p=0,0005$) y entre poteros ($p=0,0013$), con un menor contenido de FDN para el potrero con interacción con animales y durante la época de lluvias (74,7%).

Para las praderas ubicadas en la ladera (POT19SA y POT21ASA) se presentó una diferencia significativa

entre poteros ($p=0,0008$), con un menor contenido de FDN en los poteros asociados con el bosque de Alisos (72,8%).

Al analizar la relación existente entre los contenidos de energía bruta, proteína total y FDN, relacionados con los días de rebrote, no se vio una tendencia clara que determinara una tendencia identificable; únicamente se observó una relación inversa entre la edad de rebrote con el contenido de energía bruta por kilogramo de MS.

COMPOSICIÓN BIOLÓGICA Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE (MS)

En las condiciones de manejo de praderas de la unidad productiva se encontró una disminución de 42,85% en la proporción de hojas vivas y vaina de hojas para cada lote, para cada época y con o sin animales, al aumentar los días de rebrote. La Tabla 2 presenta los porcentajes para cada potrero, esta información se constituyó como un elemento básico para diseñar una estrategia eficiente de uso de praderas.

TABLA 2. PROPORCIÓN DE HOJAS EN LAS MUESTRAS DE MS DE FORRAJE

Días de rebrote	POT36CA-SA		POT9CA-SA		POT21ASA		POT19SA	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
15	64%	82%	41%	58%	64%	74%	43%	69%
30	59%	70%	40%	50%	63%	70%	39%	59%
45	47%	54%	39%	40%	58%	65%	34%	41%
60	36%	34%	38%	30%	51%	56%	28%	20%
75	25%	20%	35%	20%	40%	45%	22%	10%
90	15%	12%	28%	12%	30%	34%	15%	8%

Los parámetros definitivos para definir la curva sigmoidea de acumulación de MS, producidos por el análisis de Marquardt, se presentan en la Tabla Nro.3.

Estos fueron utilizados para calcular la producción acumulada esperada de MS (kg/ha) por días de rebrote, en cada uno de los poteros (Tablas Nro.4 y 5).

TABLA 3. PARÁMETROS DEFINITIVOS PRODUCIDOS POR SAS

Potrero y época	BETA	KAPPA	YMAX
POT36CA E1	2,2799	-0,4068	8.639,51
POT36CA E2	5,2734	-0,6595	8.577,39715
POT36SA E1	64,6913	-0,9971	9.021,5015
POT36SA E2	39.884,5	-2,3766	9.024,66413
POT9CA E1	7,7279	-0,7323	9.051,809
POT9CA E2	6,16	-0,5968	9.051,8093
POT9SA E1	1.810,6	-2,0016	9.058,809
POT9SA E2	171.007	-0,4138	9.064,0154
POT21ASA E1	749,9	-1,1647	9.061,2894
POT21ASA E2	218,4	-1,0009	8.426,9306
POT19SA E1	1.567,7	-2,2616	8.698,105
POT 19SA E2	461,8	-0,9474	8.675,9284

TABLA 4. PRODUCCIÓN ESPERADA DE MATERIA SECA (KG/HA). ÉPOCA 1

Días de rebrote	POT36 CA E1	POT36 SA E1	POT9 CA E1	POT9 SA E1	POT21A SA E1	POT19 SAE1
1	2.634,08	137,33	1.037,11	1.264,22	12,07	5,54
15	4.915,31	1.687,28	4.386,25	4.405,8	274,55	981,5
30	5.497,59	2.838,96	5.518,48	4.495,3	593,18	2.532,26
45	5.819,40	3.676,93	6.133,54	4.512,3	915,06	3.381,9
60	6.037,03	4.314,31	6.533,67	4.518,2	1.229,85	3.784,4
75	6.199,07	4.815,53	6.819,68	4.521,0	1.533,10	3.989,7
90	6.326,83	5.220,07	7.036,56	4.522,5	1.822,84	4.104,3

TABLA 5. PRODUCCIÓN ESPERADA DE MATERIA SECA (KG/HA). ÉPOCA 2

Días de rebrote	POT36 CA E2	POT36 SA E2	POT9 CA E2	POT9 SA E2	POT21A SA E2	POT19 SAE2
1	1.367,26	0,23	1.264,22	500,75	38,41	18,75
15	4.552,73	138,99	4.070,53	1.378,28	542,81	237,70
30	5.499,51	678,01	5.003,32	1.747,84	1.020,49	447,01
45	6.005,12	1.584,23	5.535,43	1.996,80	1.443,77	640,90
60	6.333,34	2.677,50	5.896,82	2.188,29	1.821,40	822,65
75	6.568,51	3.768,33	6.164,73	2.345,20	2.160,36	994,13
90	6.747,55	4.738,90	6.374,34	2.478,72	2.466,28	1.156,58

La cantidad disponible de MS/año de forraje, por cada época y edad de rebrote, se calculó utilizando la información presentada en las Tablas 3, 4 y 5 (Tablas 6 y 7). En éstas se puede observar que la edad de rebrote que maximiza la producción de MS es menor en la época de lluvias ($42 \pm 14,4$ días) que en la época seca ($48 \pm 9,6$ días). También se puede obser-

var que la mayor producción de MS en la pradera, asociada al bosque de Alisos (*Alnus acuminata*), se alcanza a los 60 días de rebrote, independientemente de la época. Para los días de rebrote 15, 30, 45, 60, 75 y 90 se definió el número de cosechas en 24,3; 12,2; 8,1; 6,1; 4,9 y 4,1, respectivamente.

TABLA 6. DISPONIBILIDAD (HOJAS VIVAS Y VAINAS) DE MATERIA SECA (KG/HA/AÑO) POR DÍAS DE REBROTE. ÉPOCA 1

Días de rebrote	Rotaciones anuales	POT36CA	POT36SA	POT9CA	POT9SA	POT21ASA	POT19SA
15	24,3	76.547,8	26.276,6	43.760,2	43.955,2	4.275,7	10.269,9
30	12,2	78.927,1	40.758,0	53.713,2	21.877,2	9.093,4	24.058,7
45	8,1	66.554,5	42.051,8	58.207,3	14.273,8	12.914,5	27.979,3
60	6,1	52.884,4	37.793,4	60.414,7	10.444,6	15.262,4	25.784,3
75	4,9	37.711,0	29.294,5	58.080,9	7.700,8	14.922,2	21.358,0
90	4,1	23.092,9	19.053,3	47.942,4	5.135,5	13.306,7	14.980,6

TABLA 7. DISPONIBILIDAD (HOJAS VIVAS Y VAINAS) DE MATERIA SECA (KG/HA/AÑO) POR DÍAS DE REBROTE. ÉPOCA 2

Días de rebrote	Rotaciones anuales	POT36CA	POT36SA	POT9CA	POT9SA	POT21ASA	POT19SA
15	24,3	90.842,1	2.773,3	57.448,7	13.750,6	9.774,2	3.991,0
30	12,2	93.675,0	11.548,7	60.873,7	8.506,2	17.382,3	6.417,6
45	8,1	78.907,3	20.816,7	53.878,2	6.316,5	22.835,6	6.394,0
60	6,1	52.397,8	22.151,8	43.046,8	5.058,6	24.819,6	4.003,6
75	4,9	31.966,7	18.339,2	30.001,7	3.994,7	23.655,9	2.419,0
90	4,1	19.702,8	13.837,5	18.613,1	2.814,7	20.404,4	2.251,5

La producción de las praderas con animales en la zona plana (POT36CA y POT9CA) presentó una tendencia de crecimiento similar en cada una de las épocas, pero con una variación en la acumulación de MS anual y tasa de crecimiento, a los 45 días, entre los dos potreros en la época dos, siendo mayor la de la pradera asociada a la barrera de pinos, comparada con el potrero descubierto (78907,3 vs. 53878,2 kg/MS/ha/año y 103,1 vs. 94,9 kg/MS/ha/día).

La producción en las praderas en que se eliminó la interacción animal (POT36SA y POT9SA) fue menor que en las praderas con la interacción presente. En estas mismas praderas la producción en la época de baja precipitación fue mayor que en la época de alta precipitación. La tendencia de la curva de crecimiento fue más lineal que sigmoidea.

La producción de los potreros de ladera (POT21ASA y POT19SA) fue menor que la de los potreros de la zona plana. El potrero asociado al bosque de alisos (*Alnus acuminata*) fue menor en la época de baja precipitación, de 12914,5 kg/MS/ha/año, y la del potrero descubierto fue de 27979,3 kg/MS/ha/año. En la época de alta precipitación la situación se invirtió, llegando a 22835,6 kg/MS/ha/año la producción de la praderas asociada al bosque.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La calidad y cantidad de forraje producido depende de múltiples variables que cambian a través del tiempo en una misma pradera (Bernal, 1994). En el trabajo de diseñar estrategias de pastoreo eficientes es necesario conocer los factores que determinan su estado productivo, con el propósito de entender cómo se establece el estado del sistema. Con esta línea de base, se puede planificar la corriente de entrada y predecir la corriente de salida del sistema. A partir de este punto se puede diseñar un plan de alimentación capaz de satisfacer los requerimientos de la población bovina, mantenida en cada una de las hectáreas en las que se produce la biomasa de forraje.

CALIDAD DEL FORRAJE

El mayor impacto negativo sobre el contenido de PC (%) se dio por efecto de la baja precipitación. La asociación de la pradera con alisos (*Alnus acuminata*) amortiguó este efecto. La barrera de pinos (*Pinus radiata*) no tuvo ningún efecto sobre la PC. El efecto del clima sobre el contenido de PC parece ser importante en zonas con diferencias marcadas entre estaciones y sin irrigación. En el estudio realizado por Lemus *et ál.* (2001) en el altiplano mexicano, con un régimen de lluvias mono modal, con pocos meses de baja precipitación y con irrigación, no se presentaron diferencias significativas. Sin embargo,

en Nueva Zelanda, con un clima templado y claras diferencias en los niveles de precipitación y sin irrigación, se presenta una variación en el contenido de PC (Fleming, 1996).

El contenido de FDN fue menor en presencia de animales y en la época de lluvias en los potreros de la zona plana sin árboles. Igualmente, fue bajo en la pradera asociada al bosque de alisos (*Alnus acuminata*). En pastoreo este factor es relevante, al ser considerado como limitante para el consumo voluntario de pasto (Van Soest, 1994). El efecto de la presencia de animales se puede deber al aporte de materia orgánica al suelo hecha por la materia fecal y la orina (Sadeghian *et ál.* 1998).

A partir de esta información, diseñar un plan de alimentación requiere considerar los niveles de PC en las épocas de baja precipitación. Asimismo, es importante considerar la integración de árboles fijadores de nitrógeno en suelo para disminuir el impacto de las lluvias sobre este indicador y sobre la FDN.

COMPOSICIÓN BIOLÓGICA Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE (MS)

La disminución de la porción utilizable (hojas vivas) por parte del rumiante disminuyó en todas las praderas evaluadas en un 42,8%, de los 15 a los 90 días de rebrote. Dicha variación indica la importancia de considerar este indicador en el momento de diseñar estrategias de pastoreo. En el proceso de envejecimiento de la pradera, la disminución en la porción utilizable de la MS se da en 8,6% cada 15 días de rebrote. Cuando se calcula la proporción de hojas vivas del total de la MS acumulada, se puede afirmar que para maximizar la producción de MS es necesario variar los días de rotación de la pradera. Se puede concluir que al aumentar los días de rebrote, la proporción de hojas vivas de la MS acumulada disminuye.

Desde la perspectiva de quien diseña un plan de pastoreo, este resultado invita a dar un paso más en el análisis de la calidad nutritiva de las praderas. Evaluar solamente la porción que, se asume, va a consumir el animal, de acuerdo a lo recomendado por Cuesta (1994), no permite maximizar la eficiencia de utilización del forraje. Esta eficiencia se logra entendiendo la dinámica de crecimiento de la pradera y la variación de su composición biológica en el tiempo.

En este estudio, durante la época de baja precipitación, la pradera de la zona plana –con la barrera de pinos y con la interacción animal– maximizó la producción con rotaciones de 30 días (78927,1 kg/MS/ha/año). La pradera sin la interacción de los árboles maximizó la acumulación de biomasa a los 60 días de rebrote (60414,7 kg/MS/ha/año). Durante la época de mayor precipitación, ambas praderas alcanzaron la mayor acumulación de MS/ha/año con una rotación de 30 días (93675,0 y 60873,7 kilogramos para las praderas POT36CA y POT9CA, respectivamente). Llama la atención que la producción de POT9CA alcanza producciones similares durante las dos épocas, pero con una diferencia en los días de rotación, siendo de 60 días para la época 1 y de 30 días para la época 2.

Cada una de las praderas en las zonas de ladera alcanzaron la máxima acumulación de MS anual a los mismos días de rebrote, en las dos épocas del estudio, 60 días para la pradera asociada al bosque de alisos (*Alnus acuminata*) y 45 días para la pradera sin esta asociación.

En general, las praderas que no tuvieron la interacción con los animales en pastoreo tuvieron una acumulación menor de MS que las praderas con esta

interacción. Esta situación se puede deber a la ausencia de integración de materia orgánica, procedente de orina y materia fecal, a la pradera.

En POT19SA y POT9SA se observa, durante las dos épocas, un crecimiento lineal. Estas praderas fueron cosechadas en lotes con cuadrantes y el crecimiento puede ser el resultado del corte de cada cuadrante a ras de suelo con tijeras de jardinería, lo que induce al kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a empujar. Lo que explica la baja producción de MS en POT19SA, época 2, a los 45 días (6349,0 kg/MS/ha/año).

De acuerdo a lo propuesto por Milligan *et ál.* (1987), esta información es la base para elaborar un plan gerencial de alimentación de rumiantes en pastoreo –al estimar la cantidad de MS producida en un año en las hectáreas del sistema, en cada una de las épocas– para determinar la cantidad de animales que se pueden mantener durante el año, cubriendo sus requerimientos de mantenimiento y producción. Igualmente, para diseñar planes de producción que sincronizan los requerimientos animales con la oferta estacional de forraje. Garzón y Castillo (2008) evaluaron el impacto de establecer el sistema de partos estacionales sobre las principales variables de producción, encontrando un aumento del 25% en la producción de litros de leche por hectárea al año.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Rectoría y Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) por la financiación de este estudio. Igualmente, a Ingeborg Zenner de Polanía por promover este estudio y a Sandra Barreto por su valioso apoyo en el análisis estadístico.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, M. (1996). Physical Constraints on Voluntary Intake of Forages by Ruminants. *Journal of Animal Science*, 74, 3063-3074.
- Argüelles, M. G. (1994). *Curso básico sobre especies forrajes en Colombia*. Bogotá: Unisalle.
- Baile, C. A. y McLaughlin, C. L. (1987). Mechanisms Controlling Feed Intake in Ruminants: A Review. *Journal of Animal Science*, 64, 915-922.
- Bernal, J. (1994). *Pastos y forrajes tropicales: producción y manejo*. (3ª ed.). Bogotá: Banco Ganadero.
- Cacho, O. J. (1993). A Practical Equation for Pasture Growth under Grazing. *Grass and Forage Science*, 48, 387-394.
- Crabbe, C. (1992). *Feed Planning for Dairy Farmers. Feed Planning for Dairy Farmers-Animal Industries Workshop*. Canterbury, Nueva Zelanda: Lincoln University.
- Cuesta, A. (1994). Recolección, preparación e identificación de muestras para análisis de calidad nutritiva. En: *Curso nacional de ganadería de leche especializada*. Ministerio de Agricultura, ICA. Mosquera, Cundinamarca: Ediciones Producciones.
- Fisher, D. S. (2002). A Review of a Few Key Factors Regulating Voluntary Feed Intake in Ruminants. *Crop Science*, 42, 1651-1655.
- Fleming, P. H. (1996). *Farm Technical Manual*. Department of Farm and Horticulture Management. Canterbury, New Zealand: Lincoln University.
- Forbes, J. M. (2003). The Multifactorial Nature of Food Intake Control. *Journal of Animal Science*, 81, 139-144.
- Garzón, A. y Castillo, H. (2008). *Evaluación del impacto de la implementación de un plan de partos estacionales bimodales sobre el desempeño pro-ductivo de un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano*. Trabajo de Grado en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bogotá: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Hodgson, J. (1990). *Grazing Management*. London: Longman Group Limited.
- Holmes, C. W. (1987). Pastures for Dairy Cows. En A. M. Nicol (Ed.), *Feeding Livestock on Pasture. New Zealand Society of Animal Production Occasional Publication*, 10 (pp. 133-143)Nro.. New Zealand: New Zealand Society of Animal Production.
- Hughes, T. P. (1992). Manipulating Feed Supply. Feed Planning for Dairy Farmers-Animal Industries Workshop. Canterbury, New Zealand: Lincoln University.
- Ingvarsen, K. L. y Andersen, J. B. (2000). Integration of Metabolism and Intake Regulation: A Review Focusing on Periparturient Animals. *Journal of Dairy Science*, 83, 1573-1597.
- Joint Committee of American Society of Agronomy, American Dairy Science Association and American Society of Animal Production (1943). Preliminary Report on Pasture Investigations Technique. *Journal of Dairy Science*, 26(4), 352-369.
- Kay, R. D. y Edwards, W. D. (1994). *Farm Management. Series in Agricultural Economics*. (3ª ed.). New York: McGraw Hill.
- Lemus, V., García, J. G., Lugo, S. G., Valencia, E. y Villagrán, B. (2002). Desempeño de una pradera irrigada en clima templado establecida para el pastoreo de bovinos de leche. *Veterinaria México*, 33(1), 11-26.
- Mila, J. A. (2001). *Análisis de la dinámica de crecimiento de pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum) en pradera recuperada por escarificación*

- mecánica y fertilización con compost*. Tesis de Grado Maestría en Ciencias Agrarias. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Milligan, K. E., Brookes, I. M. y Thompson, K. F. (1987). Feed Planning on Pasture. En A. M. Nicol (Ed.), *Feeding Livestock on Pasture. New Zealand Society of Animal Production. Occasional Publication*, 10, (75-88). New Zealand: New Zealand Society of Animal Production.
- Pagliaricci, H. R., González, S., Ohanian, A. E. y Pereyra, T. W. (2000). Caracterización del crecimiento y la producción de cereales forrajeros invernales en Córdoba, Argentina. *Agricultura Técnica*, 60(3), 224-235. Chile.
- Pinheiro, L. C. (2006). *Pastoreo racional Voisin: tecnología agroecológica para el tercer milenio* (1ª ed.). Buenos Aires: Editorial Hemisferio Sur.
- Sadeghian, S., Rivera, J. M. y Gómez, M. E. (1998). "Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los andes colombianos" [en línea]. Conferencia electrónica FAO-CIPAV: Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica, disponible en: <http://virtualcentre.org/es/ele/conferencias1/siavosh6.html>, recuperado: noviembre 20, 2008.
- Sheperd, A. C. y Combs, D. K. (1998). Long-Term Effects of Acetate and Propionate on Voluntary Feed Intake by Midlactation Cows. *Journal of Dairy Science*, 81, 2240-2250.
- Turner, L. R., Donaghy, D. L., Lane, P. A. y Rawsley, R. P. (2006). Changes in Physiology and Feed Quality of Paire Grass during Regrowth. *Agro-nomy Journal*, 98, 1326-1332.
- Van Houtert, M. F. y Sykes, A. R. (1999). Enhancing the Profitability of Pasture-based Dairy Production in the Humid Tropics through Improved Nutrition. *Preventive Veterinary Medicine*, 38, 147-157.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2ª ed.). New York: Cornell University Press.